



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE PELÍCULAS  
ELABORADAS A BASE DE QUITOSÁN Y  
ADITIVOS, SOBRE AGUACATES VARIEDAD  
HASS (*PERSEA AMERICANA MILL*) DURANTE  
EL ALMACENAMIENTO.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**  
P R E S E N T A N :  
**AIDA ELIZABETH LEYVA GONZALEZ**  
**EDGAR ISRAEL RUIZ CASAS**

ASESORAS: DRA. SUSANA PATRICIA MIRANDA CASTRO  
M. EN C. ALMA VIRGINIA LARA SAHAGON



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

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
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:

Efecto del tratamiento de películas elaboradas a base de quitosán  
y aditivos, sobre aguacates variedad Hass (Persea Americana Mill)  
durante el almacenamiento.

que presenta la pasante: Aída Elizabeth Leyva González  
con número de cuenta: 09951194-0 para obtener el título de:  
Ingeniera 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 30 de Abril de 2004

PRESIDENTE	<u>Dra. Susana Patricia Miranda Castro</u>	
VOCAL	<u>IBQ. Saturnino Maya Ramírez</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MC. Julieta González Sanchez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MC. María Guadalupe López Palacios</u>	



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

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:

Efecto del tratamiento de películas elaboradas a base de quitosán y aditivos, sobre aguacates variedad Hass (Persea Americana Mill) durante el almacenamiento.

que presenta el pasante: Edgar Israel Ruiz Casas
con número de cuenta: 09203063-7 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 30 de Abril de 2004

- PRESIDENTE Dra. Susana Patricia Miranda Castro
VOCAL IBQ. Saturnino Maya Ramírez
SECRETARIO Dra. María Andrea Trejo Márquez
PRIMER SUPLENTE MC. Julieta González Sanchez
SEGUNDO SUPLENTE MC. María Guadalupe López Palacios

## MI MÁS SENTIDO AGRADECIMIENTO PARA:

Mi MAMÁ por darme toda su confianza, cariño y apoyo durante toda su vida, por ser la pieza más grande y valorada que tengo, por enseñarme el valor del trabajo y la dedicación, por que nunca podré pagarle todas las enseñanzas y el AMOR que me ha dado, sacrificando con esto gran parte de su vida y esfuerzo, pero sobre todo por estar a mi lado SIEMPRE.

Mi PAPÁ por depositar en mí sus esperanzas, ilusiones y confianza, dándome grandes enseñanzas, AMOR y experiencias de vida para ser de mí una mejor persona y por esforzarse para estar conmigo el mayor tiempo posible.

EDGAR porque gran parte de nuestro amor esta impreso en esta tesis, por compartir este tiempo, lugar y espacio conmigo; pero sobre todo por tu paciencia y apoyo incondicional.

Mis AMIGOS (Edgar, Gina, Roberto, Yarery, Jorge, Iván y Miguel) por ser los hermanos que nunca tuve, por estar conmigo en las buenas y en las malas por dejarme aprender de ustedes y sobre todo porque junto a ustedes he aprendido el valor de la amistad y ahora sé que el lazo que se ha formado entre nosotros perdurará para siempre.

Mi ASESORA PATY porque además de brindarnos toda la ayuda necesaria para la realización de esta tesis ha sido como una segunda madre compartiendo con nosotros su experiencia, sus consejos pero sobre todo su AMOR Y SU CONFIANZA estando con nosotros en los momentos que más necesitábamos de su cariño y apoyo.

Mi ASESORA VIKI por dedicarnos gran parte de su tiempo ayudándonos, enseñándonos y compartiendo con nosotros toda su sabiduría.

Mi FAMILIA que me han brindado siempre su ayuda y apoyo cuando más lo he necesitado.

A. Elizabeth Leyva González

Agradezco a:

Mis PADRES, por dejarme ser libre, por la educación, respeto y amor que me brindaron y sobre todo por la fe que depositaron en mí

Mis hermanos CARLOS Y LUZ, por su inteligencia y su ayuda para poder salir adelante.

ELIZABETH, por su amor, cariño y respeto; por su paciencia y ayuda en los momentos difíciles; por ser como eres y por hacerme como soy.

MELA, y mis tíos GONZALO y JUANITA, por su ayuda infinita, los ánimos y por todo aquello que necesité.

Mis amigos: Elizabeth, Gina, Yarery, Iván, Miguel, Salvador, Eduardo, Roberto y Jorge. Por ser mi familia cuando no la tuve cerca, por ser lo que son y por su infinito apoyo.

Mis Asesoras PATY y VIKI, por su ayuda incansable para la realización de esta Tesis, por su amistad, confianza y enseñanzas.

Todos mis PROFESORES, por ser una pieza fundamental en mi desarrollo profesional.

Mis tíos Mario y Elvira por su apoyo.

Toda mi familia, Tíos, Primos y Abuelos, por creer en mí.

Todos Aquellos que olvide pero que a pesar de todo están presentes en mí.

**¡GRACIAS!**

Atentamente: Edgar Israel Ruiz Casas

Agradecemos también el apoyo proporcionado para la realización de esta Tesis a:

La asociación de aguacateros del Estado de Michoacán.

Huertas de Aguacates Oregel Hermanos, en especial a:  
GILDARDO OREGEL TEJEDA

AGUAMICH, en especial a:  
Alejandro Bautista Villegas.

Por todas sus atenciones y facilidades.

Edgar y Elizabeth

# Índice General

Índice General	1
Índice de Tablas.	3
Índice de Figuras.	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	7
General	7
Particular 1	7
Particular 2	7
CAPÍTULO I.	8
ANTECEDENTES DEL AGUACATE	8
ANTECEDENTES TÉCNICOS	9
Historia del Aguacate en el Mundo.	9
El aguacate como cultivo en México	10
Clasificación botánica	10
Composición química del aguacate variedad <i>Hass</i> .	12
Cambios asociados a la maduración.	14
Plagas	25
Enfermedades	25
Fisiopatías	27
Daños mecánicos	28
PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN	29
Producción mundial y nacional de aguacate	29
Comercialización mundial y nacional de aguacate	34
CAPÍTULO II.	39
PELÍCULAS Y CUBIERTAS COMESTIBLES Y BIODEGRADABLES	39
Definición de película biodegradable	40
Películas y recubrimientos a base de quitosán	41
Películas y recubrimientos a base de quitosán y ácidos grasos	45
Películas y recubrimientos a base de quitosán y plastificantes en el efecto de almacenamiento.	46
Películas y recubrimientos a base de quitosán y surfactantes en el efecto de almacenamiento.	48
Neutralización de películas a base de quitosán.	49
Aplicación de películas de quitosán	50
CAPÍTULO III.	51
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	51

Cuadro metodológico.	52
Obtención de materia prima	53
Evaluación de pruebas físicas y químicas	56
CAPÍTULO IV.	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
Pérdida de peso	63
Dureza	66
Conductividad eléctrica	71
Contenido de aceite	73
Contenido de humedad	75
Actividad de agua.	77
Visualización de presencia de daños por senescencia	79
CONCLUSIONES	81
LITERATURA CITADA	83
Fuentes Multimedia	90
APÉNDICE 1	91
APÉNDICE 2	94

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Composición química.	12
Tabla 2. Carbohidratos	12
Tabla 3. Lípidos	12
Tabla 4. Valor vitamínico y aporte nutricional	13
Tabla 5. Valor mineral y aporte nutricional	13
Tabla 6. Contenido de carotenoides	14
Tabla 7. Tasa de respiración para aguacate	24
Tabla 8. Superficie cultivada de aguacate en el mundo.	30
Tabla 9. Producción mundial de aguacate.	31
Tabla 10. Exportaciones de aguacate en el mundo.	32
Tabla 11. División de los aguacates por grupos y lotes	53
Tabla 12. Formato de registro de resultados	61
Tabla 13. Tasas de pérdida de peso por película	63
Tabla 14. Comparación de promedios en refrigeración del índice de penetración.	67
Tabla 15. Comparación de los promedios a temperatura ambiente del índice de penetración.	69
Tabla 16. Diferencias entre aguacates dañados y no dañados con distintos tipos de película.	79
Tabla 17. Anova para datos a temperatura de refrigeración del índice de penetración.	94
Tabla 18. Anova para datos a temperatura ambiente del índice de penetración.	94
Tabla 19: Anova para datos de contenido de humedad	94
Tabla 20: Anova para datos de contenido de aceite	95
Tabla 21: Anova para datos de conductividad eléctrica	95
Tabla 22: Anova para datos de actividad de agua	96

## Índice de Figuras.

Figura 1. Etapas del desarrollo de frutos.	15
Figura 2. Rutas primarias de pérdidas de agua en un producto fresco	16
Figura 3. Parámetros que afectan la pérdida de agua.	17
Figura 4. Cambios de la fruta con respecto al tiempo.	21
Figura 5. Comportamiento de la tasa de respiración en función de la temperatura.	22
Figura 6. Aguacate con <i>Stenomema catenifer</i>	25
Figura 7. Afectación de <i>Colletotrichum gloesporioides</i> en planta y aguacate.	26
Figura 8. Pudrición de la cicatriz del pedúnculo en aguacate.	26
Figura 9. México: evolución de las exportaciones de aguacate a EUA	36
Figura 10. México: estructura de las exportaciones de aguacate en 2002	37
Figura 11. Representación de transferencia de gases y vapor a través del empaque de un fruto.	41
Figura 12. Estructura química de la quitina a) y del quitosán b).	42
Figura 13: Proceso de elaboración de la película de quitosán.	54
Figura 14: Proceso de elaboración de la película de quitosán compuesta.	55
Figura 15. Tasas de pérdida de peso	64
Figura 16. Efecto de las películas sobre el índice de penetración a través del tiempo en refrigeración.	67
Figura 17. Efecto de las películas sobre el índice de penetración a través del tiempo a temperatura ambiente.	69
Figura 18. Efecto de las películas sobre la conductividad eléctrica a través del tiempo.	71
Figura 19. Efecto de la temperatura sobre la conductividad eléctrica a través del tiempo.	72
Figura 20. Efecto de las películas sobre el contenido de aceite a través del tiempo.	73
Figura 21. Efecto de las películas sobre el contenido de humedad a través del tiempo.	76
Figura 22. Efecto de las películas sobre la actividad de agua a través del tiempo.	77
Figura 21. Diferencias entre los aguacates que presentaron daño por senescencia en cada tratamiento.	80

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de películas a base de quitosán sobre aguacates variedad *Hass* en algunas de sus propiedades físicas y químicas durante su almacenamiento a dos condiciones de temperatura y humedad relativa durante 56 días de experimentación.

Se emplearon 3 grupos de aguacates los cuales fueron cubiertos con solución de quitosán, quitosán compuesta y sin cubrir.

Las condiciones de almacenamiento fueron al principio a temperatura de refrigeración, durante un tiempo determinado en un rango de 5-7°C y posteriormente a temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ ) hasta cumplir siete días. La humedad relativa de refrigeración fue de un rango de 70-95% y la ambiental de  $65 \pm 5\%$ .

Los parámetros físicos evaluados en los aguacates fueron: dureza, pérdida de peso y conductividad eléctrica. Los parámetros químicos evaluados fueron: contenido de aceite, contenido de humedad y actividad de agua.

Los resultados obtenidos nos indican que la aplicación de la película de quitosán compuesta a temperatura de refrigeración muestran una menor pérdida de humedad, una mayor firmeza, y en cuanto a los parámetros restantes no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) con respecto al control, logrando bajo estas condiciones de almacenamiento 56 días de vida útil con una buena calidad comestible y libre de enfermedades postcosecha.

## INTRODUCCIÓN

México es el mayor productor de aguacate en el mundo, el cultivo se extiende por todo el país y actualmente es un cultivo en expansión. El crecimiento de la producción de aguacate apunta a superar los niveles registrados en años anteriores a 2004 (75).

El aguacate posee valiosas propiedades alimenticias por su alto contenido de aceite, además de su contenido de hidratos de carbono, proteínas, vitaminas y minerales (29). Por ello la importancia de la vida postcosecha es de vital importancia ya que, pueden ocurrir pérdidas, tanto en calidad como en cantidad, esas pérdidas pueden ser del 20 al 50 por ciento en los países en desarrollo, como lo es México. El aguacate contiene poco menos de 80 por ciento de agua en su composición, es un fruto climatérico con altas tasas de respiración y liberación de bióxido de carbono y etileno, por tanto, está sujeto a los efectos de deshidratación, así como también puede sufrir daños mecánicos. También es susceptible al ataque de bacterias y hongos, dando como resultado pudriciones de origen patológico (77).

Por lo anterior, una de las intenciones de la tecnología de postcosecha es reducir las pérdidas mencionadas, para lo cual es necesario entender los factores biológicos y ambientales involucrados en el deterioro del producto, utilizando aquellos procedimientos de tecnología postcosecha que retardarán la senescencia del producto y mantendrán su calidad (69).

El presente trabajo presenta la evaluación de una alternativa postcosecha la cual, está basada en la aplicación de películas cubrientes de quitosán para alargar la vida útil del aguacate sin que se modifiquen sus características comestibles.

# OBJETIVOS

## GENERAL

Comparar el efecto de la aplicación de películas a base de quitosán y aditivos, en aguacates variedad *Hass* (*Persea americana Mill*) sobre algunos parámetros físicos y químicos, durante el almacenamiento en dos condiciones de temperatura y humedad relativa.

## PARTICULAR 1

Evaluar los parámetros físicos (dureza, pérdida de peso y conductividad eléctrica) durante el almacenamiento en dos condiciones de temperatura y humedad relativa, en aguacate variedad *Hass* (*Persea americana Mill*) tratados con diferentes películas a base de quitosán.

## PARTICULAR 2

Evaluar los parámetros químicos (contenido de humedad, actividad de agua y contenido de aceite) durante el almacenamiento en dos condiciones de temperatura y humedad relativa, en aguacate variedad *Hass* (*Persea americana Mill*) tratados con diferentes películas a base de quitosán

## **CAPÍTULO I.**

### **ANTECEDENTES DEL AGUACATE**

## ANTECEDENTES TÉCNICOS

### HISTORIA DEL AGUACATE EN EL MUNDO.

El aguacate es originario de México, Centroamérica y el norte de América del sur, lugares de donde se difundió al mundo. El aguacate no fue llevado a otras regiones del mundo sino hasta el siglo XVII, donde su desarrollo y reconocimiento como cultivo de alto nivel productivo lo llevaron a su explotación (47). En Centroamérica se encuentran las zonas de máximo cultivo (México, Guatemala, Antillas, Colombia, Venezuela, Perú) de donde se ha extendido a Argentina, Chile y Brasil (62).

Los españoles introdujeron el aguacate en las Antillas y los portugueses en Brasil, donde ya se cultivaba en el siglo XVII. No se sabe cuándo fue llevado a Florida, también por los españoles, donde los cultivos en cantidad no empezaron hasta 1833; en California no se cultivó hasta 1871. En el siglo XVIII, los mismos españoles, a través del Jardín Botánico de Orotava, lo introdujeron en las Islas Canarias y de allí a España, donde empezó a cultivarse en las zonas litorales del Mediterráneo de la provincia de Granada; algún ejemplar aislado llegó a plantarse, como curiosidad, en todas las regiones mediterráneas, llegando hasta Barcelona.

Los franceses empezaron sus ensayos de cultivo del aguacate en el Jardín Botánico de Hamman (Argelia), donde se cultiva extensamente, pero también se puede encontrar algún ejemplar en el sur de Francia. Además de las zonas citadas, actualmente se cultiva en Tahití y en la Isla de Madera; en Italia, en Sicilia y en Calabria. En 1930 empezó a ensayarse su cultivo en la U.R.S.S., a orillas del Mar Negro; más modernamente, se han establecido numerosas plantaciones en Israel (62).

## EL AGUACATE COMO CULTIVO EN MÉXICO

La evidencia más antigua sobre el consumo de aguacate por humanos fue encontrada en una cueva localizada en Coxcatlán, Puebla, México que data de 10,000 años A. C., y se estima una antigüedad de los cotiledones entre 8,000 y 7,000 años A. C. (62). También se han encontrado evidencias de cotiledones de aguacate de la raza mexicana en las cuevas de Mitla, Oaxaca, México que datan de cerca de 700 años A. C. (63). Se puede apreciar que el aguacate era muy conocido por nuestras civilizaciones antiguas y que formaba parte de la dieta alimenticia. En el código Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: aoacaquauitl, tlacacoloacatl y quilaoacatl, de los cuales es probable que correspondan a las tres razas que actualmente se conocen.

A principios de siglo, se describieron varios tipos de aguacate como: Dulce Largo, Dulce Grande, Verde Precoz de San Ángel, Morado de Chalco, Negro de San Ángel, Morado de San Ángel, etc., menciona varios tipos en el Distrito Federal e indica que en San Ángel, en la población de Tizapán, ha sido notable siempre por las hermosas huertas y la bondad de sus frutos sobre todo el barrio conocido Aguacatitlan. La estadística sobre superficie y producción de este cultivo se menciona que entre 1927 y 1949 el incremento en cuanto a superficie y producción fue del orden de 43 y 35% (56).

## CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Los aguacates cultivados pertenecen a la especie *Persea gratissima* (Gaertn), también llamada *Persea americana* Mill (7). En la sistemática vegetal, su situación es:

- Orden: Ranales.
- Suborden: Magnólineas.
- Familia: Lauráceas.
- Género: *Persea*.

## Género

El género *Persea* se subdivide en dos secciones:

- EUPERSEA: Comprende una sola especie productora de frutos de gran tamaño y es oriunda de América Central: *Persea gratissima*, los aguacates.
- ALSEODAPHNE: Comprende nueve especies con frutos de pequeño tamaño, esféricos u oblongos, algunos de ellos cultivados como ornamentales: *Persea chinensis*, *Persea breviflora*, *Persea indica*, originarios del sudeste de Asia; *Persea carolinensis*, originario de los países meridionales de Norteamérica; *Persea longipes* y *Persea floccosa*, que han sido probadas como posibles patrones donde injertar los aguacates con el fin de lograr una mayor resistencia a las diversas enfermedades de las raíces, sin haber conseguido resultados positivos (7).

Se conocen más de quinientas variedades de *Persea gratissima*, cuyas características generalmente son las siguientes:

- Son ÁRBOLES de porte alto (de hasta diez metros), pero que puede ser más reducido según el clima, el suelo y las técnicas de cultivo empleadas. De rápido crecimiento, tienen el tronco recto, la corteza lisa, de color claro en las ramas jóvenes y grisáceas en las más viejas; las ramificaciones son erguidas, formando ángulo de 60° con el tronco principal. La raíz semidura y muy ramificada, es poco profunda (7).
- El FRUTO, globoso, ovoide o piriforme, es una drupa de tamaño variable, que puede alcanzar hasta 10 cm longitud y un peso comprendido entre 200 y 1000 gramos. Según la variedad, el epicarpio puede estar constituido por una fina y lisa película o una corteza gruesa y correosa, de una coloración entre el verde, el gris y el violeta. El mesocarpio, a su vez, está formado por una pulpa de consistencia blanda, de color blanco amarillento que pasa a verde en la proximidad de la piel (7).

➤ La SEMILLA, que está más o menos adherida al mesocarpio, es globosa, está protegida por una cáscara dura y contiene un jugo lechoso (7).

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUACATE VARIEDAD HASS.

Estudios han demostrado que el aguacate tiene un aporte de energía, lípidos, vitaminas y minerales mayor en comparación con otros frutos.

Tabla 1. Composición química.

Detalles	Porción comestible	Agua g	Cenizas g	Proteína g	Grasa g	Fibra g	CHOS g	Valor de Energía	
								Kcal.	KJ
Pulpa	53%	74.0	0.8	1.6	13.5	2.5	7.6	144	593

Fuente: Holland B. y cols. (29).

Tabla 2. Carbohidratos

Detalles	Total de azúcar g	Azúcares individuales g/100g					Fibra diet. g	Fracciones de Fibra Polisacáridos no celulósicos (g)			
		Glu	Fru	Suc	Mal	Lac		Celu	Solu	Insol	Lign
Piel y hueso	0.4	0.2	0.1	-	0	0	2.4	0.8	1.1	0.5	0.1

Fuente: Holland B. y cols. (29).

El aguacate es una fruta libre de colesterol a pesar de ser una importante fuente de energía.

Tabla 3. Lípidos

Detalles del Producto	Lípidos Totales g/100g				
	Grasas	Saturadas	Monoinsaturadas	Polinsaturadas	Colesterol
Pulpa	19.7	4.7	11.3	2.6	0
Piel y hueso	14.0	3.3	8.0	1.8	0

Fuente: Holland B. y cols. (29).

Tabla 4. Valor vitamínico y aporte nutricional

Vitaminas ( $\mu\text{g}$ )	Solo pulpa mg	Pesado con piel y hueso (mg)	RDA <sup>1</sup>	% de RDA cubiertas
Retinol	0	0	450 $\mu\text{g}$	4.7
Caroteno	16	11	450 $\mu\text{g}$	4.7
Vitamina D	0	0	5 $\mu\text{g}$	200
Vitamina E	3.2	2.27	9 mg	33
Vitamina K	8	5.5	110	7.3
Tiamina	0.08	0.06	1.4 mg	7.3
Riboflavina	0.17	0.12	1.6 mg	7.8
Niacina	1.2	0.9	16 mg	10
Triptofano	0.3	0.2	1.6 mg	10
Vitamina B <sub>6</sub>	0.38	0.27	2.1 mg	21.1
Ácido Fólico	8	6	200 $\mu\text{g}$	16
Ácido Pantoténico	1.10	0.78	5.5 mg	18.2
Biotina	3.6	2.6	100 $\mu\text{g}$	10
Vitamina C	7	5	50 mg	23.3

Fuente: Holland B. y cols. (29).

Tabla 5. Valor mineral y aporte nutricional

Minerales	Solo pulpa mg	Pesado con piel y hueso mg	RDA mg	% de RDA cubiertas mg
Na	3	2	3450	0.12
K	470	330	4900	9.45
Ca	11	8	800	1.25
Mg	2.4	17	300	13.66
P	35	25	800	5
Fe	0.4	0.3	15	7.06
Cu	0.35	0.25	1.7	20.58
Zn	0.2	0.1		
S	19	13		
Mn	0.1	0.1	3.5	65.71
I	2 $\mu\text{g}$	1 $\mu\text{g}$		

Fuente: Holland B. y cols. (29).

<sup>1</sup> Ingesta Diaria Recomendada

Tabla 6. Contenido de carotenoides

Detalles del Producto	Contenido de carotenoides µg por 100 g		µg por 100 g	µg por 100 g
	α-caroteno	β-caroteno	Caroteno	Retinol
Pulpa	4	14	16	3
Piel y hueso	3	10	11	2

Fuente: Holland B. y cols. (29).

### CAMBIOS ASOCIADOS A LA MADURACIÓN.

La vida de las frutas se ve limitada por múltiples factores. Entre ellos, el estado de madurez influye en gran medida sobre la calidad del producto final. En el aguacate, los procesos de maduración se caracterizan por un notable cambio en el color del fruto, debido a un descenso en el contenido de clorofilas, ocasionado por cambios en el pH (66), y a la síntesis de pigmentos antociánicos y carotenoides, todo esto provocado por la biosíntesis de etileno y por el proceso respiratorio que sufre el aguacate como fruto climatérico.

Los cambios de los compuestos pécticos son los responsables del ablandamiento del mesocarpio, también se debe a la degradación de las paredes celulares, así como un descenso en el contenido en ácidos orgánicos (66).

Estos cambios van acompañados de un rápido decrecimiento en la protopectina y un incremento en la pectina soluble en agua. Diversos estudios han demostrado que durante la maduración en el aguacate existe una disminución de la poligalacturonasa, que es la responsable en parte de este ablandamiento (70).

Durante el desarrollo y crecimiento del aguacate suceden una serie de cambios que conllevan a la adquisición de las características típicas del aguacate (ver Figura 1).



Figura 1. Etapas del desarrollo de frutos.

Fuente: Adaptado de Badui (3) y Arthey (1).

El aguacate tiende a ocupar todo el espacio que existe en su interior, este tipo de desarrollo es especial y diferente al de otras variedades de frutos.

El cambio en el peso de la fruta y la semilla va acompañado con la variación de ácidos grasos, humedad y azúcares. De tal forma dichas modificaciones han sido propuestas como indicadores de la maduración en el aguacate, o bien puede relacionarse ésta con la variación de las propiedades físicas del producto durante el desarrollo.

### *Pérdida de Agua.*

Existe difusividad de gases durante la maduración de frutos, por ello la principal causa de deterioro de un producto de almacenamiento es la pérdida de agua.

La mayoría de los aguacates presentan altos contenidos de agua y ésta se pierde principalmente en estado de vapor (y no en estado líquido) a través de rutas primarias tales como heridas, estomas y cutícula (Ver Figura 2), fenómeno conocido como transpiración.

El agua libre se encuentra en células estrechamente unidas entre sí y se mueve a través de espacios intracelulares interconectados, donde el agua se vaporiza y satura el ambiente intercelular (Humedad Relativa superior al 95%), por ende, lo que se tiene es vapor de agua saturado (67).

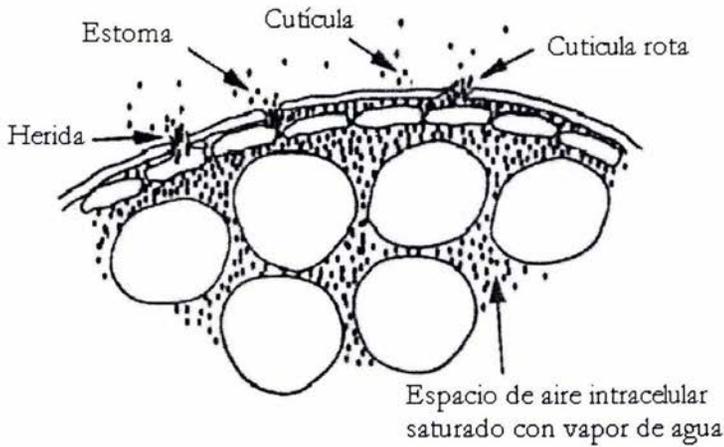


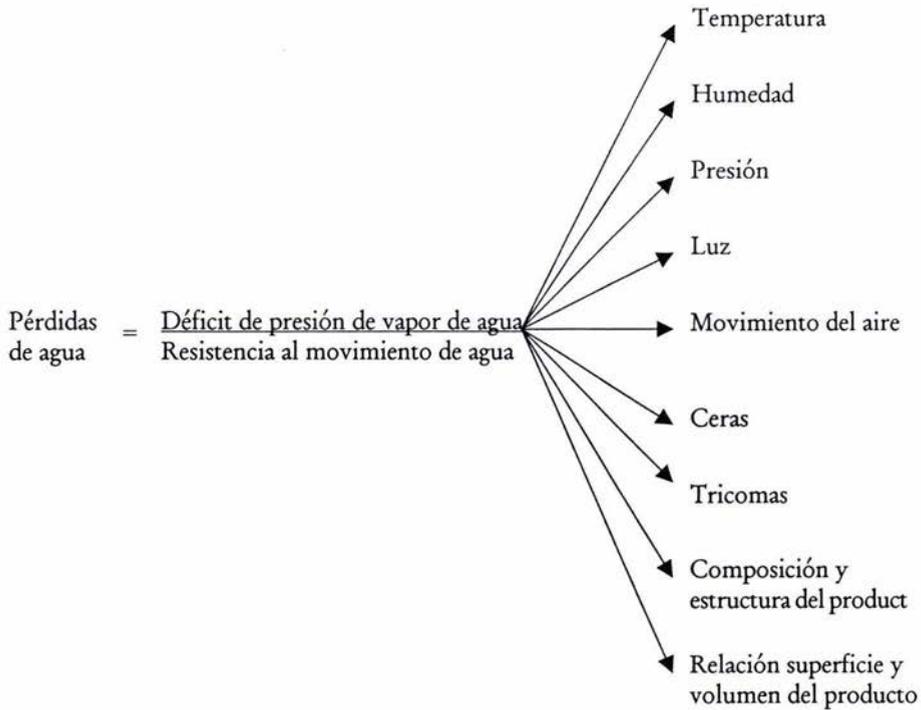
Figura 2. Rutas primarias de pérdidas de agua en un producto fresco

Fuente: Thompson, J.F., y cols. 1998. (67)

La mayor concentración de vapor de agua está localizada en el producto y esta concentración, a su vez, depende enteramente de la temperatura; de ahí que entre mayor diferencia de temperatura exista entre el producto y el aire circundante, mayor será el gradiente de concentración de vapor de agua y por lo tanto, la posibilidad de pérdida de agua. El aire húmedo es una mezcla de aire seco (alrededor de 87% de nitrógeno y 21% de oxígeno) y de otros gases 1% (dióxido de carbono y cantidades pequeñas de otros como neón, hidrógeno, helio, argón y vapor de agua 1-3% del peso total en el aire ambiental saturado).

Aunque la cantidad de vapor de agua en el aire es pequeña, siempre que exista un diferencial de concentración de vapor entre el aire inmediato y el espacio intracelular en un producto se ejerce una fuerza impulsora que va a mover el vapor de agua desde un espacio más concentrado hacia uno menos concentrado. Como en la mayoría de los casos existe mayor humedad en el espacio intracelular, el producto es el que tiende a perder agua (67).

En la Figura 3 se nota que la tasa de pérdida de agua depende de varios factores que tienen que ver con el déficit de presión de vapor y que establecen la resistencia a perder agua; es la combinación e interacción entre estos lo que nos permite entender la dinámica de pérdida de agua en un producto. El aumento de cada uno de ellos, propicia la pérdida de agua en forma de vapor (69).



**Figura 3. Parámetros que afectan la pérdida de agua.**

*Fuente: Thompson (67) y Universidad de California (69).*

La tasa de pérdida de humedad se encuentra gobernada o modulada, por la presencia de ceras y tricomas en la superficie del producto, su composición química y la relación de área superficial, de tal manera que el crecimiento de estos factores modulantes representa oposición a la pérdida de agua.

La reducción de temperatura tiene efectos sobre todos los factores que regulan el déficit de presión de vapor, mientras que los factores de resistencia al movimiento de agua son propios y particulares del producto (15,69).

El porcentaje de pérdida de humedad representa un indicador de pérdida de valor económico y calidad para diferentes productos. Si se toma en cuenta la relación entre área superficial y volumen del producto, es más propensa a perder agua una lechuga que un aguacate, dado que la primera tiene mayor área expuesta y el último más volumen. Si se combinan temperaturas seguras de almacenamiento y movimientos reducidos de aire se minimizan las pérdidas de agua (25).

### *Respiración de aguacate variedad Hass*

Las frutas se dividen en dos grupos de acuerdo con su producción de etileno; frutas climatéricas, por ejemplo plátanos, aguacates, pera, etc. y frutas no climatéricas, tales como las uvas, fresas, cítricos, etc. En las climatéricas, la maduración esta asociada con un incremento en la producción de etileno y una elevación de la tasa respiratoria que coincide con los cambios de color, sabor y textura asociados a la maduración.

A este aumento en la respiración se le llama respiración climatérica y señala el inicio de la senescencia. 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.

### *Respiración Climatérica.*

El periodo climatérico es una indicación del término natural de un periodo de síntesis y mantenimiento hacia el comienzo de la senescencia del fruto, debido a un incremento en la intensidad respiratoria, provocando la liberación de bióxido de carbono y etileno.

La actividad respiratoria aumenta proporcionalmente con la temperatura y el proceso madurativo puede acelerarse o retrasarse controlando la atmósfera que rodea a la fruta durante su almacenamiento, lo que ofrece enorme importancia comercial (1).

El etileno es la principal hormona que inicia la maduración de los frutos climatéricos, en particular a aquellos que tienen un aumento de respiración (climatéricos). En la maduración de frutos ocurren cambios significativos como pérdida y/o aparición de color, pérdida de firmeza, aumento de azúcares y disminución de ácidos (o un equilibrio entre ellos), y en algunos casos separación del fruto de la planta (28).

En general hay una asociación entre una alta tasa de respiración y la presencia de etileno así, tejidos en etapa de senescencia natural, daño mecánico o estrés presentan altas concentraciones de etileno.

Cuando los aguacates inician su etapa de maduración, muestran un aumento en la síntesis de etileno. Los frutos de aguacate no adquieren madurez de consumo en el árbol y la producción de etileno comienza después de la cosecha y aumenta con la maduración a más de  $100 \mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg} \cdot \text{h}$  a  $20^\circ\text{C}$  (28).

El etileno es una molécula muy simple compuesta de 2 carbonos y 4 hidrógenos, flamable e incoloro con cierto olor a éter. Es muy activa y puede ejercer sus efectos fisiológicos a concentraciones de 0.1 ppm. Junto con los grupos hormonales de auxinas, geberelinas y citocininas, el etileno es una hormona muy importante en el desarrollo de las plantas.

Debido a la característica del etileno de ser un compuesto gaseoso, por mucho tiempo no se le quiso aceptar como una hormona; sin embargo las distintas evidencias fueron demostrando que su síntesis y acción era crítica en ciertos procesos fisiológicos (28).

Los frutos, tienen capacidad de sintetizar etileno, debido a la descarboxilación de los ácidos málico y pirúvico liberando por una parte  $\text{CO}_2$  y por la otra produciendo acetaldehído y este a su vez etanol; el aumento en la cantidad de etileno se asocia con tejidos que estén en activa división celular, así como en aquellos que se encuentren bajo condiciones de estrés o en etapa de maduración (envejecimiento).

El crecimiento vegetativo ocurre por balance hormonal, donde el etileno actúa como inhibidor; sin embargo, sus funciones más importantes se relacionan con procesos degradativos de tejidos y sus múltiples consecuencias.

Por ser gas, el etileno se puede mover a través de todos los tejidos sea vivo o muerto y puede “salirse” o “entrar” de la planta y sus tejidos. Un ejemplo de esta salida-entrada hormonal ocurre en plantas u órganos en almacenamiento.

En plantas el precursor de la formación de etileno es el aminoácido metionina, mientras que en microorganismos lo son el glutamato y el cetoglutarato (28).

En la Figura 4, se ilustra el comportamiento de la respiración (tanto para frutas climatéricas como para no climatéricas) (28). Las frutas aún adheridas a la planta, crecen hasta un momento a partir del cual se inicia un proceso de maduración, acompañado por un cambio en la tasa de respiración (climaterio), en las frutas climatéricas, la tasa de respiración no aumenta luego de alcanzar su máximo crecimiento (Figura 4).

El climaterio va acompañado por un aumento en la tasa de producción de etileno, fenómeno que se presenta en las frutas climatéricas, si se controla la temperatura también se controla la tasa de producción de etileno (48).

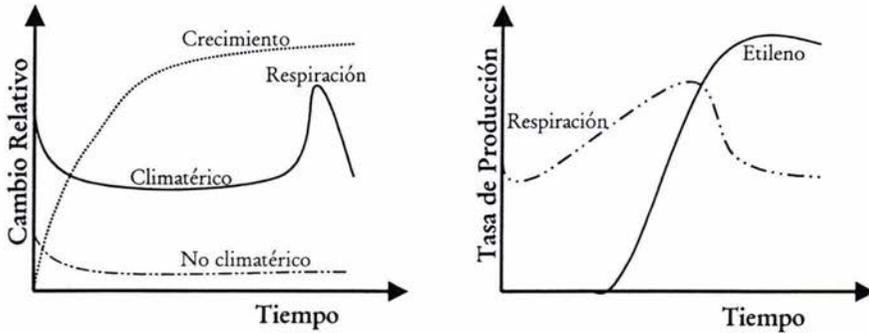


Figura 4. Cambios de la fruta con respecto al tiempo.

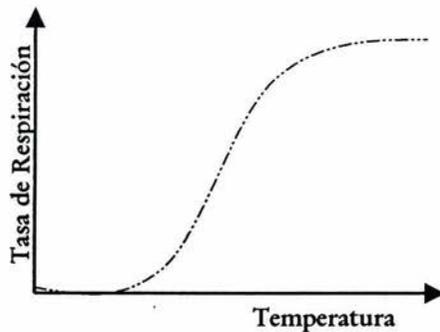
Fuente: Jobling (30) y Kays (32).

En la Figura 4, se muestran los cambios relativos de la fruta en crecimiento y la tasa de respiración con respecto al tiempo (a). La tasa de producción de respiración y etileno en función del tiempo para una fruta climatérica, se ilustran en la Figura (b).

Lo que acontece tanto con las frutas no climatéricas como con los vegetales, es que son productores de etileno en muy pequeñas cantidades y no responden incrementando su producción cuando son expuestos a ambientes con altas concentraciones de etileno (10). Se pueden así interpretar variantes entre la respuesta de productos con respecto al etileno. Por ejemplo, el aguacate es un fruto climatérico, con alta producción de etileno, pero de igual forma es igual de sensible al gas provocando su maduración; esto puede ser benéfico en tanto se acentúan sus características organolépticas (sabor, color y firmeza) y es atractivo para el consumidor, aunque se disminuye la vida útil para el distribuidor (32).

La sensibilidad en los productos no climatéricos puede interpretarse como disminución de sus características de calidad, mientras que en el caso de frutas climatéricas la sensibilidad está relacionada con la aceleración de los procesos de maduración, que exaltan sus características de calidad, pero que a su vez disminuye su vida útil (25).

El control de la temperatura en almacenamiento se constituye el principal parámetro ambiental por controlar, ya que la humedad y la composición atmosférica, esta directamente relacionado con procesos enzimáticos. Algunos de estos son los activadores de la respiración y están directamente relacionados con la temperatura; por ejemplo la actividad enzimática (principalmente de la polifenoloxidasa y de la L-fenilalanina amonialiasa) provoca incrementos de 2 a 2.5 veces la tasa de respiración por cada 10°C de incremento en la temperatura. A temperaturas mas elevadas, los incrementos en las tasas de respiración son lentos debido a una desnaturalización de las enzimas antes mencionadas (30).



**Figura 5. Comportamiento de la tasa de respiración en función de la temperatura.**

*Fuente: Packer (48).*

Lo anterior se explica en la Figura 5, donde en forma general se muestra la tendencia de variación en la temperatura y la tasa de respiración de un producto. A mayores temperaturas se presentan incrementos en las tasas hasta un punto donde no hay mas cambios a pesar de existir incrementos en temperatura. En caso contrario a temperaturas muy bajas las tasas disminuyen drásticamente (10).

La respiración tiene como funciones primarias la liberación de energía química almacenada en forma de azúcares, lípidos y otros sustratos, y la formación de esqueletos de carbono que pueden ser usados en varias reacciones de síntesis y

mantenimiento. Efecto de ella, se emplean los sustratos almacenados en el producto (almidón, celulosa, compuestos pécticos, grasas y hasta proteínas), se consume oxígeno del entorno y se produce dióxido de carbono, agua y calor, lo cual desemboca en una acción de autoconsumo (10).

No controlar la tasa de respiración trae como consecuencias:

- Pérdida de energía y con esta su menor capacidad en el tiempo para que pueda mantener su condición inicial (vida útil).
- Reducción del valor alimenticio total dado su inversión de reservas.
- Pérdida de peso como materia seca, (debido a la eliminación de dióxido de carbono) y pérdida de peso fresco por la eliminación de agua (este último es mínimo si se compara con el debido a la pérdida por transpiración).
- En el ambiente donde el oxígeno se agota con rapidez, puede deteriorarse el producto dado que no hay buena ventilación y se tienen entonces condiciones anaeróbicas (Ver Tabla 7).

El Incremento de temperatura en el ambiente, se da ya que la energía liberada en el proceso de respiración sirve para actividades normales del producto, el mayor porcentaje de esta es liberada al medio circundante, lo que requiere estar removiendo cantidades adicionales de energía (30).

Después de la maduración llega la senescencia o envejecimiento de tejidos, el cual es el conjunto de varios procesos degradativos de los tejidos, donde el etileno “dispara” la acción de enzimas que descomponen clorofila, pared celular, etc. y que se refleja como amarillamiento, flacidez, etc. La senescencia ocurre en todos los órganos (hoja, fruto, raíz), y puede ser simultánea a toda la planta, o solo parte de ella. La caída o abscisión de órganos es la última etapa de su degradación fisiológica natural (9). Se conoce que el

etileno es la hormona que regula el proceso al inducir la formación de una zona celular anatómicamente débil que se conoce como zona de abscisión suficiente.

*Tabla 7. Tasa de respiración para aguacate*

TEMPERATURA	5°C (41°F)	10°C (50°F)	20° (68°F)
mL CO <sub>2</sub> / kg· h	10-25	25-80	40-150
Calor Producido (BTU/ton/día)	1220-3050	3050-9760	4880-18000

*Fuente: UC Davis (69).*

*Temperatura óptima:*

La temperatura óptima es de 5-13°C (41-55°F) para aguacates verde-maduros (con madurez fisiológica o de cosecha), dependiendo del cultivar. Para aguacates con madurez de consumo la temperatura óptima es de 2-4°C (36-40°F). La temperatura de congelación es de 0.3 °C. Temperaturas inferiores a las recomendadas y demoras en extraer el calor de campo del producto aceleran el proceso de deterioro de la fruta limitando las posibilidades de mercadeo, ya que es posible que los síntomas no se hagan visibles durante el periodo de almacenamiento sino al someter los productos a la temperatura ambiente. Estos efectos incluyen ablandamiento, deshidratación, pudriciones, enfermedades fisiológicas, congelamiento (76).

*Humedad relativa óptima: 90-95%*

La humedad relativa del aire en las cámaras de almacenamiento afecta directamente la calidad de mantenimiento de los productos retenidos en ellas. Sí es demasiado baja, es probable que, en la mayoría de los aguacates ocurra una deshidratación; sí es demasiado alta, podría favorecer el desarrollo de putrefacción, especialmente en cámaras donde hay considerable variación de temperatura. El control del moho se vuelve particularmente difícil si la humedad relativa se aproxima al 100%, lo cual resulta en la

condensación de humedad. Los hongos de superficie podrían crecer sobre las paredes, techos y contenedores, así como en los productos almacenados (76).

## PLAGAS

### *Perforador del fruto (*Stenomema catenifer*)*

La larva se introduce en el fruto cuando está en desarrollo y perfora la piel y la pulpa. Para su combate, se recomiendan aplicaciones mensuales de insecticida, a partir del momento en que el fruto está recién cuajado con carbaril. También es muy importante recoger los frutos caídos, destruirlos y quemarlos (77).



Figura 6. Aguacate con *Stenomema catenifer*

Fuente: INFOAGRO (77).

## ENFERMEDADES

### *Antracnosis (Anthracnose)*

Es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* y aparece, cuando la fruta comienza a suavizarse, como manchas negras circulares, que se cubren de masas de esporas rosáceas en estadios más avanzados. La pudrición puede penetrar la pulpa e inducir pardeamiento y rancidez.

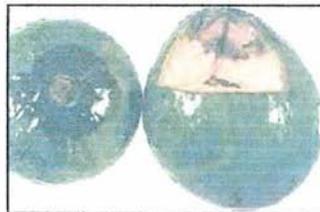


**Figura 7. Afectación de *Colletotrichum gloesporioides* en planta y aguacate.**

*Fuente: INFOAGRO (77).*

### *Pudrición de la Cicatriz del Pedúnculo (Stem-end Rot)*

Es causada por *Botryodiplodia theobromae* y aparece como un pardeamiento oscuro o una coloración negra que se inicia en el pedúnculo y avanza hacia la punta floral, finalmente cubre la fruta completa. *Dothiorella gregaria* es otra causa de pudrición de la cicatriz del pedúnculo en aguacates con madurez de consumo (77).



**Figura 8. Pudrición de la cicatriz del pedúnculo en aguacate.**

*Fuente: INFOAGRO (77).*

Los métodos de control incluyen buena sanidad de la huerta, aplicación efectiva de fungicidas postcosecha, manejo cuidadoso para minimizar los daños físicos, enfriamiento inmediato a la temperatura óptima recomendada para el cultivar y la conservación de esta temperatura durante el mercadeo (77).

## FISIOPATÍAS

### *Daño por Frío (Chilling Injury).*

El estudio y explicación de los daños por frío en aguacate, como en muchas otras frutas tropicales o subtropicales, es muy complejo e importante por sus repercusiones económicas y comerciales. La temperatura es el factor ambiental más efectivo para controlar la maduración del aguacate, sin embargo, para asegurar una conservación exitosa se requiere manejar correctamente este factor, esto se logra refrigerando el producto a temperaturas bajas, específicas para el aguacate (12).

No obstante, pueden sufrir daños por frío, aún a temperaturas muy por arriba del punto de congelación. Los principales síntomas externos en aguacates verde-maduros son picado de la piel, escaldado y ennegrecimiento cuando se les mantiene a 0-2°C (32-36°F) por más de 7 días antes de transferirlos a las temperaturas para la maduración de consumo. Los aguacates expuestos a 3-5°C (37-41°F) por más de dos semanas pueden presentar oscurecimiento interno de la pulpa (grisácea, manchada o pardeamiento de los haces vasculares), además de mostrar problemas para madurar y aumentar la susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos. El momento en que el daño por frío comienza a desarrollarse y la severidad con que se presenta dependen del cultivar, región productora y estado de desarrollo (madurez fisiológica-madurez de consumo) (76).

Sin embargo, estos síntomas sólo se hacen evidentes cuando los aguacates alcanzan su madurez de consumo, lo cual en ciertos casos ya es muy tarde para efectos de comercialización. Por otro lado, se ha propuesto que la producción de metabolitos como etanol y acetaldehído es un posible índice de daños por frío. Dentro de los diversos síntomas de daños por frío que pueden presentarse, está la alteración del metabolismo interno, lo que causa un incremento en los niveles de los productos de la respiración anaeróbica y otros metabolitos anormales, resultando la aparición de sabor

y aroma desagradables. El etanol es un metabolito final producido normalmente bajo respiración anaeróbica en muchas plantas superiores. Sin embargo, el etanol ha sido detectado como un componente normal del aguacate y muchas otras frutas maduras bajo condiciones aeróbicas (12).

Mientras se produce acetaldehído y etanol en respuesta al estrés causado por déficit de agua, enfriamiento, congelación y exposición al ozono, otras no lo hacen. Se ha demostrado que la producción de etanol por las plantas bajo estrés no requiere necesariamente de una baja disponibilidad de oxígeno (12). Se encontró que aguacates refrigerados a 2°C por 30 días en aire presentaron mayor contenido de etanol (como posible manifestación de daño por frío) que aguacates refrigerados a la misma temperatura y período, pero bajo atmósferas controladas.

### DAÑOS MECÁNICOS

El daño mecánico induce pérdidas de agua a través de heridas en la superficie del producto, facilita el ingreso de patógenos, acelera la respiración y con frecuencia también la producción de etileno, lo que causa mayor liberación de calor, una maduración más rápida y una vida útil reducida (67).

El daño mecánico se origina básicamente en:

- La compresión o fuerza de una masa de producto sobre otros productos que se encuentran en la base, situación que encontramos, por ejemplo, en el transporte a granel de aguacate hacia la planta empacadora.
- El impacto, que puede darse por choque fruta contra fruta, por ejemplo, cuando se maneja fruta horizontalmente en las plantas empacadoras, con transportadores de rodillos o bien por choque de la fruta con las paredes de un transportador en una curva o cambio de dirección.

- La vibración, que ocurre cuando transportamos fruta en caminos con topografía irregular, donde la fruta choca entre sí o bien contra las paredes del recipiente que la contenga.
- La resistencia de un producto a perder su forma (respuesta mecánica) depende del cultivar, el grado de hidratación celular, el estado de madurez, el tamaño y peso del producto, las características de la cáscara y también de la temperatura (32). En lo que respecta a la compresión y el impacto el producto atiende a resistir dichos daños en una mejor forma si no se ha reducido su temperatura de campo, mientras que la vibración es mejor soportada cuando a la fruta se le ha reducido su temperatura de campo (10).

## PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

### PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE AGUACATE

Ante el proceso mundial de globalización es de primordial interés conocer los aspectos involucrados en el proceso de comercialización encaminada al comercio nacional e internacional, de manera tal que se conozca la participación y las posibilidades de México ante tal tendencia mundial. El desarrollo de la industria del aguacate en México, en los últimos años se ha incrementado notablemente aunque existan dos corrientes en virtud del destino de la misma; por un lado, hay quienes opinan que es una industria incipiente, mal organizada y que esta saturada por los aumentos en la superficie destinada para la producción de esta fruta, lo cual se representa en baja rentabilidad por el bajo precio de venta en un mercado competitivo. Por otra parte, existe la opinión de que la industria aguacatera es pequeña, pero con grandes oportunidades de desarrollo sobre todo con la diversificación de mercados y presentación final del producto, es decir no limitarse únicamente a la venta de producto en fresco, si no también enfocar esfuerzos a la comercialización de productos procesados.

### *Producción Mundial de Aguacate*

Actualmente el aguacate se produce en 46 países, pero los principales son siete, éstos son México, Estados Unidos, Indonesia, República Dominicana, Colombia, Chile y Perú, de los cuales seis se encuentran ubicados en América (73). En 1994, México produjo 798,000 ton equivalente a la producción conjunta de Estados Unidos, República Dominicana, Brasil, Indonesia, Colombia, Venezuela e Israel (17), para el 2003, la producción fue aproximadamente de 2.8 millones de ton, donde la aportación de México fue sólo del 36%, lo cual representa un retroceso de ocho puntos porcentuales con respecto a la década pasada (41).

*Tabla 8. Superficie cultivada de aguacate en el mundo.*

Aguacates Superficie cultivada (Ha)	Año			
	2000	2001	2002	2003
Mundo	349,278	355,022	360,421	372,448
México	94,104	94,148	93,847	102,467
Indonesia	34,000	38,000	37,500	37,500
Estados Unidos de América	26,395	25,953	25,961	26,100
Chile	21,202	22,290	23,260	23,500
Colombia	13,204	13,846	13,921	14,000
Brasil	12,699	11,835	13,300	13,300
Camerún	12,500	12,500	13,000	13,000
República Dominicana	6,101	8,704	11,383	11,383
Perú	8,748	10,263	10,308	10,500
Etiopía	9,754	9,860	10,000	10,160
Portugal	10,000	10,000	10,000	10,000
Sudáfrica	12,380	10,000	10,000	10,000
China	8,000	8,000	8,500	9,000
República Democrática del Congo	8,401	8,241	8,083	8,083
España	8,759	8,700	8,000	8,000
Haití	7,300	7,300	7,500	7,500
Venezuela	6,834	5,878	6,277	6,277
Australia	6,000	6,000	6,000	6,000
Israel	5,811	5,707	5,700	5,700

Fuente: FAOSTAT

Tabla 9. Producción mundial de aguacate.

Aguacates Producción (Mt)	Año			
	2000	2001	2002	2003
Mundo	2,630,231	2,697,619	2,711,620	2,878,032
México	907,439	940,229	901,075	1,040,390
Estados Unidos de América	217,091	200,761	198,130	205,000
Indonesia	145,795	141,703	150,743	150,743
República Dominicana	81,736	111,058	147,534	147,534
Colombia	131,664	137,065	141,638	144,000
Chile	98,000	110,000	130,000	135,000
Perú	84,450	93,424	94,299	95,000
Brasil	86,146	88,000	89,000	89,000
Etiopía	78,032	78,880	80,000	81,280
China	70,000	74,500	75,000	80,000
España	55,500	65,300	68,000	68,000
Sudáfrica	81,512	69,533	66,476	66,476
República Democrática del Congo	62,500	61,310	60,143	60,143
Israel	81,303	85,868	55,000	58,000
Camerún	50,000	50,000	52,000	52,000
Venezuela	52,294	44,465	51,056	51,056
Haití	45,000	42,000	44,000	44,000
El Salvador	40,000	40,000	40,000	40,000
Filipinas	38,086	37,257	37,257	37,257
Guatemala	26,277	27,390	27,390	27,390

Fuente: FAOSTAT

Por otra parte, México registró un importante crecimiento del 134% en las exportaciones del fruto durante el ciclo 2000/01, ello a causa de una inesperada alza en la producción nacional del fruto. En el año del 2003, México registró un aumento del 14% (Tabla 9) en la producción con respecto al año anterior y registró un aumento del 10% (Tabla 8) en la superficie cultivada con respecto del 2002. Para el ciclo 2003/04, se proyecta que el comercio mundial de aguacate registre un aumento del 22%, como resultado de la mayor orientación del fruto para la exportación de los principales países productores, incluyendo a México, Chile, Israel, España y Sudáfrica; mientras que las ventas estadounidenses se mantendrían prácticamente sin cambios, esperándose un ligero crecimiento de 3,500 TM en este mismo ciclo (75).

Tabla 10. Exportaciones de aguacate en el mundo.

Aguacates Exportación (Mt)	Año				
	1996	1997	1998	1999	2000
Mundo	285,501	240,372	326,599	286,298	353,631
México	78,556	49,824	71,226	55,402	89,270
Chile	16,744	16,702	48,163	37,666	56,196
Israel	45,953	39,943	29,024	31,938	44,566
España	36,395	44,116	56,268	37,301	39,154
Sudáfrica	27,416	22,604	52,080	34,483	34,483
Francia	5,771	10,675	12,423	17,784	22,637
Resto	74,666	56,508	57,415	71,724	67,335

Fuente: SIAP (75).

De este modo la importancia del aguacate en el mercado internacional ha venido creciendo en forma sostenida, sobre todo en la década de los noventa, hecho que se corrobora al observar indicadores como producción, exportación e importación. La estructura del mercado mundial de aguacate se ha caracterizado por: (47)

- Ser cultivado por un total de 58 países en el mundo, distribuidos a lo largo de diversos continentes.
- Que la producción mundial de aguacate para el año 2003, se estimó en 2.8 millones de toneladas métricas, lo que significó un crecimiento de 3.7% con respecto al año anterior, y una tasa de crecimiento anual durante el periodo señalado de 3%.
- México, EEUU, Indonesia, Colombia y República Dominicana, son los países que en conjunto producen cerca del 58% del total mundial. A nuestro país le corresponde el 36.5% del total, lo que lo ubica como primer productor.

### *Producción Nacional de Aguacate*

A nivel nacional, son 29 estados que se dedican a la producción del aguacate (74), sin embargo, la explotación de aguacate a nivel comercial se practica solo en 16 Estados (59), entre los que participan Michoacán, Puebla, Chiapas, Estado de México, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Morelos, Guanajuato, Guerrero, Sinaloa, entre otros (41), estos estados destinan un total de 94,147 has de superficie cosechada durante el año 2003, lo que representa, alrededor del 90% del total de la superficie cultivada en el país (75).

En el año de 1975, México contaba con una superficie cosechada de 49 772 ha, con una producción de 254 135 ton. En 1985 se contó con una superficie aproximada de 70 000 ha y una producción de 550 000 ton (41).

En 1993 la misma se estima en 756 000 ton (74). En 1995, se reportó una producción de 772 952 ton, obtenidas en una superficie de 93 129 ha (59) y en 1996 la producción fue de 1 148 547 ton obtenidas en una superficie de 124 823 ha (41).

Por todo esto México se mantiene como el principal país productor de Aguacate del planeta, con un volumen en el 2003 de 1,040 mil TM, lo que representa alrededor del 36% del total mundial obtenido en dicho año. Además México tiene un rendimiento nacional que se calcula superior a las 9 toneladas por hectárea (47).

El principal Estado productor a nivel nacional y, además a nivel internacional, es Michoacán aportando el 77.65 % de la producción nacional. En Michoacán, la producción se desarrolla en seis regiones, las que a su vez incluyen varias zonas ó municipios, de los cuales únicamente Uruapan, Peribán, Arios de Rosales y Salvador Escalante son los municipios autorizados para exportar fruta hacia Estados Unidos.

## COMERCIALIZACIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE AGUACATE

La producción de aguacate no termina en la cosecha, el productor genera la materia prima que debe ser empacada y/o procesada, almacenada y transportada antes de ponerla a la disposición del consumidor, por lo que la comercialización es la fase final de la producción (14).

### *Mercado nacional*

La comercialización es el punto que une a productores y consumidores, indudablemente y a pesar de los bajos precios, el mercado interior del aguacate es una variable clave en la estrategia productiva y comercial mexicana (52). Asimismo, el proceso que requiere el aguacate en el mercado interno, no presenta grandes dificultades ya que el tiempo que dura desde el corte hasta su madurez óptima para el consumidor varía de 10 a 14 días, tiempo más que suficiente para trasladarlo desde su origen hasta cualquier parte del país (58).

En México, los Estados productores colocan sus cosechas en los principales centros de consumo: Distrito Federal, Monterrey, Torreón, Guadalajara, Cd. Juárez y Culiacán; siendo el primero, el principal centro de acopio. Cabe mencionar que estos centros también actúan como redistribuidores hacia otras ciudades del interior del país (72). Por lo general en nuestro país, la cosecha se comercializa en forma individual, aunque en algunos casos los productores se han integrado en Asociaciones (ASEAM y AGUAMICH), Cooperativas (CUPANDA, entre otras) y Sociedades Anónimas (MISSION, PUREPECHA, SAN LORENZO, CHIQUITA, entre otras), que realizan operaciones de exportación y mejoran en general los precios del producto en el mercado.

### *Demanda*

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 (75).

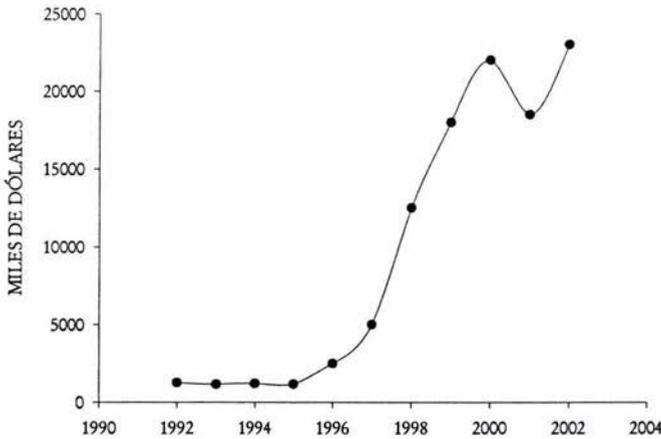
A principios de los 80's, la demanda creció aceleradamente desde un consumo per cápita de 7 kg en 1984. En los 90's, a pesar de los altibajos, el consumo por habitante alcanzó cifras de 8 a 9 Kg. per capita anuales. En la actualidad la demanda interna es alta y el fruto se cotiza alrededor de \$13.00 pesos el Kg. Por otro lado, el consumo de aguacate para productos procesados (pulpa y guacamole congelados), también ha aumentado significativamente (75).

### *Exportación*

En el mercado internacional, México se ubica como líder mundial en superficie sembrada con el 27.5% del total, en producción con 36%, tiene además el mayor consumo per cápita anual del mundo con cerca de 10 Kg por habitante, además de ser el principal exportador mundial con el 25% del total mundial (47).

A pesar del alto consumo interno, en los últimos años se pudo observar una tendencia hacia el aumento de los volúmenes exportados en respuesta a los atractivos precios que ofrece en mercado internacional y a las buenas condiciones climáticas que favorecen los rendimientos de los cultivos. Esto ha motivado a los productores mexicanos a mejorar el estado fitosanitario para tener un mejor acceso a los mercados extranjeros (74).

Hasta 1982 no existía el interés para la exportación, ya que el mercado mexicano ofrecía mejores precios con menores riesgos y con menores requisitos de calidad, exportándose sólo 192 toneladas y para el ciclo 1995-96 (temporada récord), la exportación se incrementó a 45,600 toneladas. El aumento fue de casi 24,000%, sin embargo, sigue siendo una actividad relativamente pequeña que no moviliza más del 6% de la producción total del aguacate michoacano.



**Figura 9. México: evolución de las exportaciones de aguacate a EUA**

*Fuente: SIAP (75).*

A pesar de que Estados Unidos mantenía cerrado el paso de aguacate mexicano, desde 1992 se han registrado embarques a este país (18,400 ton), aunque se considera que éstos van hacia otros países y que solo se encuentran en tránsito (Ver Figura 9). A partir de la temporada 1996-97, los principales destinos de aguacate de exportación han sido Francia, Reino Unido, Holanda, Alemania, Canadá, Japón y Guatemala (52). Pero en la actualidad ya existen un mayor número de destinos (Figura 10).

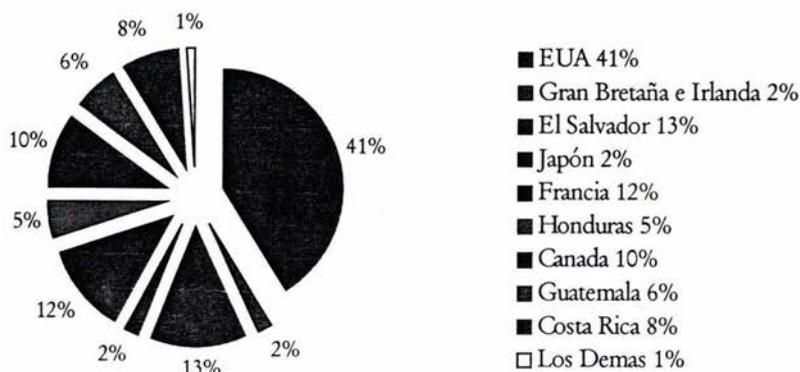


Figura 10. México: estructura de las exportaciones de aguacate en 2002

Fuente: SIAP (75).

El mercado norteamericano presenta amplias posibilidades de consumo para el aguacate, sobre todo si consideramos que el consumo per cápita es de menos de un kilogramo por persona, mientras que por otro lado, las importaciones norteamericanas de aguacate han ganado participación en el mercado de consumo doméstico. Por esto Chile es el principal competidor de México en el mercado norteamericano, nuestro país tenía un arancel de 7.9 centavos de dólar por libra que fue eliminado en el 2003, mientras Chile paga un arancel del 12.9 centavos de dólar por libra.

Por otro lado, el mercado de Estados Unidos ya es accesible al aguacate mexicano, por lo que a partir de la temporada de noviembre 1997-febrero 1998, este será distribuido a 19 Estados del Noreste y Alaska, después de 83 años de imponer una cuarentena fitosanitaria y 6 años de negociaciones, pero, bajo reglas muy estrictas que limitan seriamente el volumen, la temporada, la zona designada para exportar y los destinos a los que se puede exportar, además de pagar las cuotas de arancel que van de 7.9 centavos de dólares, el 12 % del volumen de noviembre a diciembre y de 6.6 dólares o 10 % del volumen para 1998 (75).

En el mes de octubre del 2001, el Servicio de Inspección y Salubridad Animal y Vegetal (APHIS, por sus siglas en inglés) del USDA, dio a conocer que se permitiría la expansión de los estados de la Unión Americana a los que se podrá introducir el aguacate mexicano, pasando de 19 estados (la zona noreste del país) a 31 estados. Entrando en efecto el día primero de noviembre del 2001 (20). No obstante, se espera que se dé un nuevo repunte en las exportaciones mexicanas de aguacate a su vecino del norte. Las cifras a febrero de 2002 señalan que las adquisiciones estadounidenses a nuestro país fueron por un volumen de 3,531.2 TM y un valor de 4.77 millones de US dólares.; ambos datos superaron a la del período similar inmediato anterior en 25.3% el primero y 25.0% el segundo. De hecho, la importancia que ha adquirido Estados Unidos para el aguacate mexicano, ha motivado que este país se tornara en el principal destino de las ventas mexicanas del producto, desplazando a países como El Salvador, Francia y Canadá, quienes tradicionalmente registraban los mayores volúmenes de venta del producto mexicano (75).

Asimismo, en México se realiza la industrialización de aguacate para exportación y, el procesamiento de la pulpa de aguacate se contempla como una alternativa para los periodos de máxima cosecha, a fin de comercializar toda la producción y también poder abastecer al mercado en época de escasez. Otra de las grandes ventajas que se tiene con la industrialización del aguacate, es que permite exportar en aquellos casos en que por restricciones fitosanitarias no se puede disponer de aguacate fresco. Según cifras del Banco Mexicano de Comercio Exterior (Bancomext), las exportaciones mexicanas definitivas de aguacate durante el 2002 a todos los destinos fueron por un volumen de 73,318 TM, y un valor de 81 millones de US dólares. A pesar de que el volumen comercializado fue inferior en comparación a las 89,270 TM comercializadas en el 2000, las divisas generadas el año anterior fueron mayores a las de 2000, las cuales registraron un valor total de 73.7 millones de US dólares (75).

## **CAPÍTULO II.**

# **PELÍCULAS Y CUBIERTAS COMESTIBLES Y BIODEGRADABLES**

### DEFINICIÓN DE PELÍCULA BIODEGRADABLE

Una película comestible 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 (34). Las películas y/o recubrimientos pueden cumplir con los requisitos involucrados en la comercialización de alimentos. Su propósito es inhibir la migración de la humedad, del oxígeno, del dióxido de carbono, de aromas y lípidos o como vehículo de ingredientes tales como antioxidantes, antimicrobianos, sabores y/o mejorar la integridad o las características de manejo del alimento (35). 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 esto reducir la actividad respiratoria (33).

Como se mencionó anteriormente una de las aplicaciones de estas películas es directamente a los frutos, ya que están sujetos a la transpiración (pérdida de agua) así como también a la respiración después de la cosecha, y como resultado, estos son expuestos a deterioros físicos y microbiológicos que pueden resultar en cambios indeseables (39, 49, 51, 53). Extender la vida de anaquel implica el lavado del producto, desinfectado, y aplicación de cubiertas protectoras dentro de las cuales algunas veces se incorporan conservadores (6, 39).

Una buena cubierta puede dar al fruto brillo, apariencia atractiva y reducir la pérdida de peso, pero al mismo tiempo puede afectar la respiración normal de la fruta causando condiciones anaeróbicas parciales, con resultados en la formación de productos propios de la respiración anaeróbica, por ejemplo etanol y acetaldehído, los cuales llevan a cambios indeseables en el sabor de la fruta (20, 39).

Por consiguiente la principal característica a considerar en la selección del material de empaque para frutos y vegetales en atmósferas modificadas son la permeabilidad al oxígeno, dióxido de carbono y agua (21), ver Figura 11. Los usos de cubiertas comestibles incluyen la aplicación en frutas y vegetales frescos, vegetales y frutos mínimamente procesados, nueces, cereales, y productos a base de cereales, dulces y productos heterogéneos (14, 64).

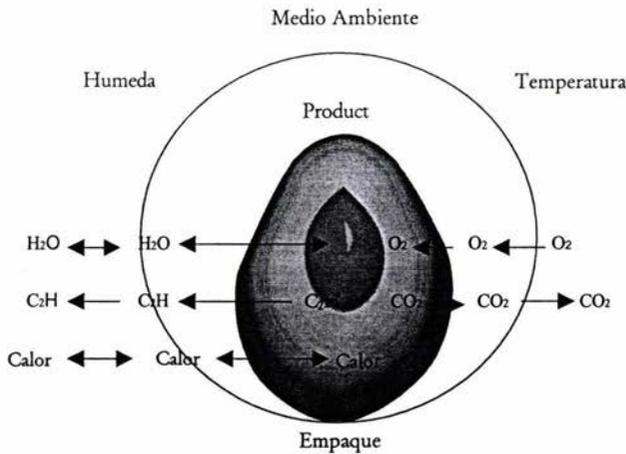


Figura 11. Representación de transferencia de gases y vapor a través del empaque de un fruto.

Fuente: Martín Polo (40).

### PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSÁN

La quitina es un polisacárido protéico, insoluble, que se constituye del exoesqueleto de los Artrópodos (crustáceos, algunos moluscos e insectos) y las paredes de las células de muchos hongos y algas (5, 45, 46, 61). Uno de los derivados más importantes de la quitina es el quitosán, el cual debido a sus propiedades ha sido estudiado en cientos de aplicaciones.

La quitina es un copolímero lineal compuesto de aproximadamente 70-90% de unidades de N-acetil glucosamina y 10-30% de unidades de D-glucosamina (8), conectadas a través de uniones  $\beta$  (1—4) (Figura 12). El quitosán pertenece a una familia de quitinas deacetiladas. En general, el quitosán tiene un contenido de nitrógeno mayor al 7% y un grado de acetilación menor a 0.40. La remoción del grupo acetilo es un tratamiento violento que generalmente se lleva a cabo con NaOH concentrado.

El peso molecular de estos polisacáridos puede ser tan alto como  $10^6$  Da (38), a menos de que algunos tratamientos especiales sean usados para degradarlos. Generalmente las cadenas individuales asumen una estructura lineal, las cuales tienen una torsión completa cada 10.1- 10.5 Å a lo largo del eje de la cadena.

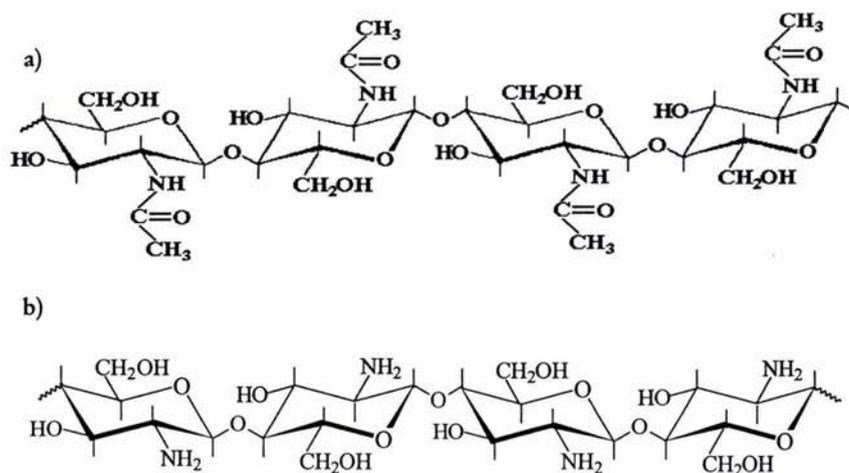


Figura 12. Estructura química de la quitina a) y del quitosán b).

Fuente: Butler (8).

El quitosán es de interés potencial como base de películas y recubrimientos comestibles porque tiene excelentes propiedades de barrera al oxígeno (9, 35).

Las cualidades del quitosán para formar películas dependen de la homogeneidad, del volumen del material y la degradación ácida durante la disolución. El quitosán, como muchas películas poliméricas de carbohidratos, tiende a exhibir permeabilidad selectiva a gases, esta propiedad particular está probablemente relacionada a la densidad de la estructura de la película (35).

Sin embargo, las películas de quitosán ofrecen baja resistencia a la transmisión de agua debido a su alta hidrofiliidad (8, 35), por ejemplo se ha encontrado que las películas de quitosán absorben grandes cantidades de agua en inmersión (100 a 250% de la masa inicial de la película) (9). Por consiguiente, la incorporación de materiales grasos es con el fin de proveer hidrofobicidad e incrementar la resistencia a la transmisión de agua.

Las isothermas sigmoidales también son características de las películas de quitosán. Las isothermas de sorción fueron expresadas como:  $y = a + b \exp c(x)$ , donde  $a = 2$ ;  $b = 1.48$ ;  $c = 0.15$ .

A altas presiones de vapor de agua, la sorción de humedad llega a incrementarse exponencialmente. El contenido de humedad en películas de quitosán a altas presiones de vapor de agua entre 16.3 y 19.9 mm Hg, es de 20 a 30% de la base seca, por tanto, existe una ganancia de humedad y un hinchamiento de la película.

### *Quitina y Quitosán como Agentes Antimicrobianos y Antibacterianos.*

El quitosán inhibe el crecimiento de una amplia variedad de “hongos” (1, 27). La explicación de este efecto es que el quitosán con sus grupos amino cargados positivamente, interactúan con los grupos fosfatos negativos de los ácidos nucleicos del material genético de los hongos (24, 36), en especial cuando los oligómeros de 7 unidades de quitosán inhiben el crecimiento de los hongos. Por otro lado en las plantas se induce la expresión de genes (23, 36), ya que se detectó un aumento en la producción de proteínas y enzimas (23, 24, 36), además de que se incrementan los

compuestos fenólicos asociados a la pared induciendo cambios en la permeabilidad de la membrana (23, 24, 36).

Sin embargo, no todos los hongos se ven inhibidos de igual manera ya que esto depende de su composición, así los que no se inhiben con él, tienen mecanismos de eliminación o degradación (23, 20). Se propone que cuando el quitosán se libera de la pared celular de patógenos fungales, debido a la acción de enzimas hidrolíticas de la planta hospedera, alcanza el núcleo del hongo e interfiere con la síntesis de RNA y proteína.

Por otro lado, el quitosán también tiene actividad bactericida, ya que él junto con otras poliaminas interactúa con la membrana celular para alterar la permeabilidad de la misma (55). Los agentes antibacterianos, han sido clasificados en diversos grupos dependiendo del “sitio blanco” o el sitio en donde interactúan con la célula para inhibir su función. Los agentes antibacterianos catiónicos, como el quitosán, podrían ser una alternativa particularmente en el sellado de heridas, actuando como película aislante y con características bacteriostáticas (1). Estos agentes tienen algunas ventajas sobre otros tipos de desinfectantes, esto es, por que poseen gran actividad antibacterial, amplio espectro y una baja toxicidad hacia las células mamíferas (18, 65). El sitio de acción de los biocidas catiónicos es la pared o la membrana celular de la bacteria (18, 31).

Salvador (57), en un experimento hecho *in vitro*, señala que el quitosán como inhibidor del crecimiento de los microorganismos que causan la antracnosis y la pudrición del pedúnculo para aguacates, se manifiesta desde la concentración de 0.25 hasta 2%, en un 100%. Como se había visto en el capítulo anterior estas dos son las enfermedades más comunes que afectan a los aguacates.

## PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSÁN Y ÁCIDOS GRASOS

Podemos decir que la unión de ácidos grasos con quitosán nos va a dar como resultado un aumento en la WVTR<sup>2</sup>, ya que aunque se disminuye el grosor de las películas, la relación grosor y WVTR son inversamente proporcionales (68).

Con el fin de reducir la permeabilidad al vapor de agua de las películas de quitosán, se produjeron películas de quitosán modificadas con ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos dado que estos últimos son usualmente buenos emulsificantes para estabilizar sistemas heterogéneos.

Los tres tipos de películas construidos con la adición de ésteres grasos, monoglicérido acetilado, propilenglicol monoestearato, y metil laurato, exhiben una estructura esponjosa. En la película de monoglicérido acetilado, la superficie y el interior son esponjosas. La película de propilenglicol monoestearato muestra una estructura muy similar en la sección transversal, pero el propilenglicol monoestearato muestra estructuras sólidas en la superficie.

La película de metil laurato tiene una superficie similar a la observada a la película de quitosán. Debido a estas estructuras porosas, las películas que contienen ésteres, exhiben pobre resistencia al vapor de agua.

Las características de permeabilidad generalmente correlacionan bien con la microestructura como también con las características físicas de la película. Sin embargo, no hay una explicación adecuada a las diferencias en la morfología entre el ácido láurico y el ácido palmítico en la matriz del quitosán.

---

<sup>2</sup> Velocidad de Transferencia al Vapor de Agua

Es sabido que las grandes cadenas de ácidos grasos existen en dos o tres formas polimórficas. Estas modificaciones en la forma cristalina, dependen de las siguientes condiciones: pureza del ácido, solvente usado, temperatura y velocidad de enfriamiento.

Se especula que existe una forma cristalina de ácido láurico en alineación con el polímero del quitosán, mientras que el ácido palmítico y esteárico no se ajusta con la estructura del quitosán. Interacciones análogas de éste tipo han sido mostradas en formaciones complejas entre amilosa y ácidos grasos saturados (22, 50, 54, 60, 71).

#### **PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSÁN Y PLASTIFICANTES EN EL EFECTO DE ALMACENAMIENTO.**

En general el uso de plastificantes provoca un aumento proporcional de WVTR, ya que el uso de componentes adicionales en la elaboración de películas induzca un aumento en el grosor de las mismas, lo cual modifica sus características físicas y químicas (68).

Con el fin de estudiar el comportamiento que tiene la permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, y las propiedades mecánicas de película de quitosán con el almacenamiento se produjeron películas de quitosán a dos diferentes concentraciones de plastificante (8). Solo pequeños cambios ocurren en las propiedades mecánicas o características de barrera de las películas con el tiempo de almacenamiento. Al incrementar la concentración de plastificante se tiene un efecto negativo sobre las propiedades de barrera mientras que se mejoran las propiedades mecánicas y de manejo (8, 42).

La baja concentración de plastificante no muestra cambios significativos en la permeabilidad al oxígeno después de 12 semanas de almacenamiento. La permeabilidad media al oxígeno de la concentración alta se incrementa ligeramente durante las dos primeras semanas. Usualmente tales incrementos en la velocidad de permeación es una señal de su deterioro (8). Las películas formadas con plastificante a la concentración de 0.25% tienen una fuerza de tensión en el rango de 19-35 MPa, mientras que para concentración de 0.50% están en el rango de 15-22 MPa. La fuerza de tensión de las

primeras, muestra un ligero incremento durante la cuarta y octava semana de almacenamiento pero disminuye a las 12 semanas de almacenamiento (8, 43). Las películas formadas con altas concentraciones de plastificantes tienen una disminución significativa en la fuerza de tensión. No se encontró correlación entre la fuerza de tensión y el espesor de las películas de quitosán (8).

Se realizó otro estudio para observar la conducta que siguen las películas de quitosán con plastificantes en la permeabilidad al vapor de agua y sus propiedades mecánicas. Este estudio reveló que al aumentar la concentración del plastificante disminuía la permeabilidad, siendo este valor de permeabilidad mayor al de la película de quitosán sola.

Este fenómeno puede explicarse en términos de que, al agregar un plastificante se aumenta el volumen libre y por consiguiente la permeabilidad, pero al incrementar la concentración del plastificante, es probable que se aumente la tortuosidad al interior de la matriz polimérica, haciendo más difícil la difusión de las moléculas de agua y por ende baje ligeramente la permeabilidad con respecto al uso del mismo plastificante, pero no bajando la permeabilidad mas allá que la película control.

En cuanto a las propiedades mecánicas en el caso del plastificante polietilenglicol muestra un descenso en la fuerza de tensión y en la elongación al incrementar la concentración, sin embargo, el sorbitol y el glicerol no muestran este comportamiento en la fuerza de tensión ya que aunque no muestran un descenso mínimo significativo con respecto a la película de quitosán sola tampoco muestran diferencias mínimas entre ellas.

En cuanto al comportamiento del sorbitol y glicerol para la prueba de elongación muestran un aumento al incrementar la concentración de plastificante, siendo los valores mas altos para las películas de glicerol, debido a que contienen más plastificante por mol, que las películas de sorbitol, por que el peso molecular del sorbitol (182.17) es

dos veces mayor al del glicerol (92.09). Puede verse entonces que cuando el tamaño molecular del plastificante es menor (glicerol) permite una influencia mayor sobre la propiedad mecánica de elongación, que la molécula de sorbitol (19).

En otra investigación se desarrolló una película de quitosán con glicerol en donde se obtuvieron uno de los valores mas altos en cuanto a permeabilidad efectiva (con valor de 0.4200 g.mm./h.m<sup>2</sup>.Kpa) y también en la evaluación de las propiedades mecánicas (elongación, fuerza de tensión y módulo elástico) (37).

### **PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS A BASE DE QUITOSÁN Y SURFACTANTES EN EL EFECTO DE ALMACENAMIENTO.**

Con respecto al uso de surfactantes en las películas de quitosán, éstos fueron adicionados a las películas esperando que la parte polar de los surfactantes quedara unida a la parte polar de la molécula de quitosán, y la parte no polar quedara orientada hacia fuera de la molécula de quitosán, impartiendo así, mejores propiedades de barrera a la humedad y, por consiguiente, se espera que la permeabilidad al vapor de agua disminuya con respecto al quitosán solo (19).

La tendencia de los surfactantes fue a disminuir la permeabilidad al vapor de agua, no obstante la concentración y el tipo es un factor importante. En cuanto a las propiedades mecánicas se puede decir que si influyen los tipos de surfactantes que se le agreguen, ya que pueden aumentarlas o disminuirlas, en un estudio hecho por Garnica (19), se señala que el tween 60 aumenta el valor de las propiedades mecánicas conforme aumenta la concentración y el tween 80 disminuye las propiedades mecánicas conforme aumenta la concentración. Esto puede estar asociado con el estado físico del tween a temperatura ambiente que puede depender del lípido presente en mayor proporción en cada uno de los surfactantes.

Para observar el comportamiento con aguacates durante el almacenamiento se produjeron películas de quitosán de 1 y 2%, ácidos grasos (láurico, fórmico y acético) y

surfactantes (tween 80) a un pH a 5.6. Primero se manejó una temperatura de 3-7°C, bajo estas condiciones se obtuvo una vida útil de 24 días, con pérdidas fisiológicas de peso alrededor del 10%.

Para complementar la experimentación desarrolló otro experimento bajo las mismas condiciones pero a temperatura de 27 +/- 2°C, con él cual se demuestra que se formó una película cubriente que responde inhibiendo el crecimiento de microorganismos, obteniendo una vida útil de 6 días (57).

También se desarrolló una película de quitosán con tween 80 en donde se obtuvieron uno de los valores mas altos en cuanto a permeabilidad efectiva (con valor de 0.4453 g.mm./h.m2.Kpa) y también en la evaluación de las propiedades mecánicas (elongación, fuerza de tensión y módulo elástico) (37).

#### NEUTRALIZACIÓN DE PELÍCULAS A BASE DE QUITOSÁN.

La molécula de quitosán es extremadamente hidrofílica y aunque se le han adicionado surfactantes para disminuir este efecto, en ocasiones no se logra por completo.

Para ello se utiliza una solución de NaOH al 1% para neutralizar todas las terminales hidrofílicas que existan en la molécula, y aunque, se logra un menor hinchamiento también castiga de sobremanera a las propiedades de permeabilidad al vapor de agua y a las propiedades mecánicas, ya que se han presentado valores aproximadamente 100% mayores de permeabilidad efectiva para las películas neutralizadas.

En el caso de elongación y fuerza de tensión la mayoría de películas no neutralizadas presentan valores de porcentaje mayores que los de las películas neutralizadas hasta un 1615% para la película de quitosán (37).

### APLICACIÓN DE PELÍCULAS DE QUITOSÁN

Las técnicas de aplicación de películas y cubiertas son: inmersión, espumado, rociado, empaquetamiento rápido individual, revestimiento y vaciado (14).

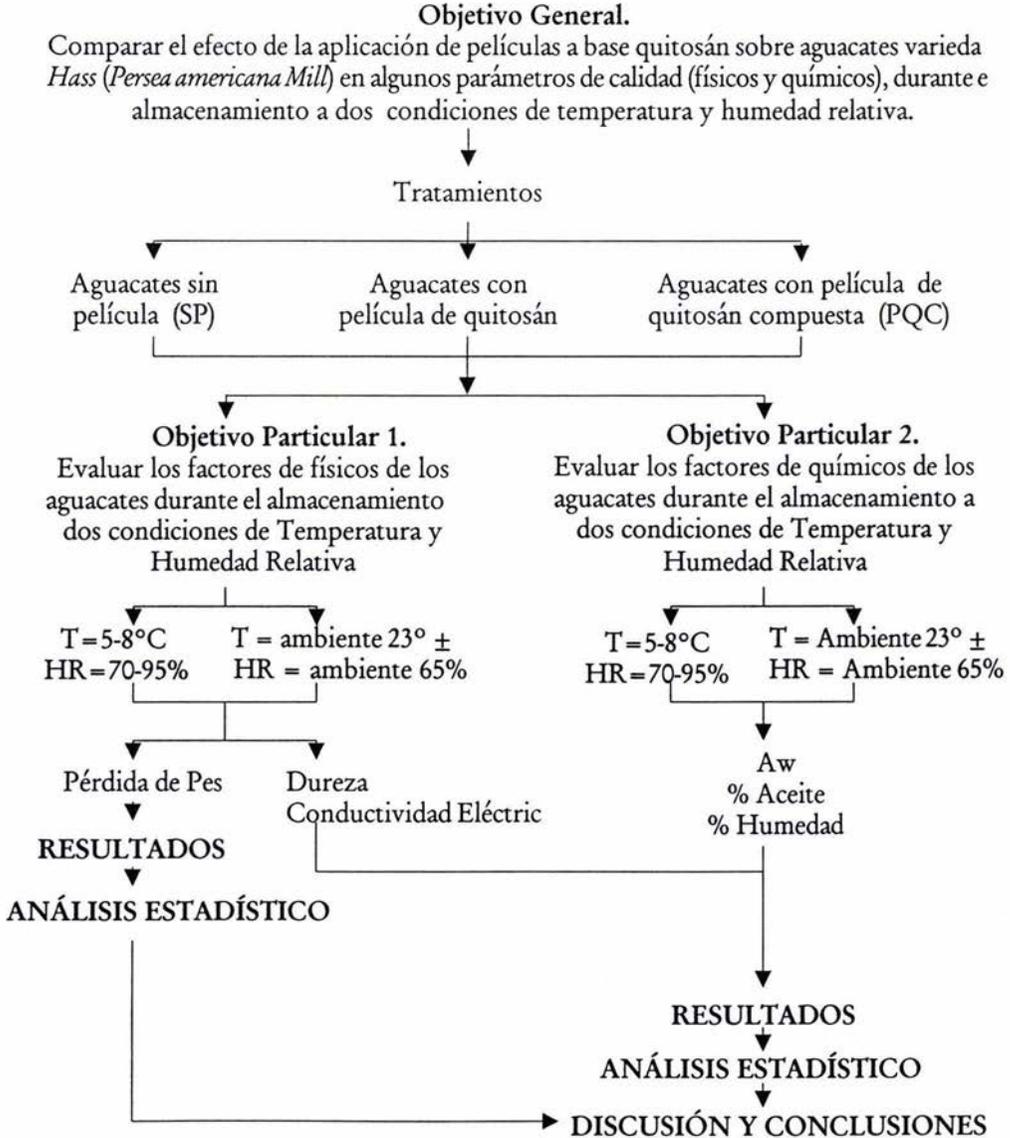
El quitosán está adquiriendo popularidad por su uso potencial como recubrimiento aplicado a la conservación postcosecha de frutas y hortalizas (4), por consiguiente, cubiertas de quitosán han sido efectivas en extender la vida de frutas frescas por modificación de la transferencia de oxígeno y bióxido de carbono. Fresas cubiertas con quitosán 1 y 1.5% utilizando ácido clorhídrico como solvente del quitosán y Tween 80 como agente humectante, conservaron la firmeza, con mayor acidez titulable y con retardo en la síntesis de antocianinas, comparadas con la fruta control (4).

Teniendo en cuenta las características antifúngicas del quitosán, al ser usado como cubriente de aguacates en refrigeración de 3 a 10 °C se obtuvieron 24 días de vida útil del fruto y un porcentaje de afección menor que el testigo.

Cubiertas de quitosán reducen la pérdida de peso, velocidad de respiración, pérdida de color, marchitamiento e infección fúngica de pimiento verde durante el almacenamiento a 13 y 20 °C a 85% de HR.

**CAPÍTULO III.**  
**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

## CUADRO METODOLÓGICO.



## OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

Los aguacates variedad *Hass* (*Persea americana Mill*) se colectaron directamente de tres explotaciones diferentes de la región de Uruapan Michoacán. En cada explotación se cortaron los aguacates con las siguientes características:

- Pedúnculo de por lo menos 3 cm.
- Tamaño homogéneo del fruto (11 cm de longitud en promedio)
- Mismo tiempo de maduración (3/4 sazón).

Se eligieron árboles cuyos frutos tuvieran el mismo estado de maduración. Con ayuda del personal encargado y un cuchillo se iban cortando de uno en uno depositándolos en cajas de plástico hasta tener la cantidad total de 135 aguacates.

El propósito de obtener aguacates de tres diferentes explotaciones provenientes de Uruapan Michoacán, es la de contar con una muestra representativa de la variedad *Hass*.

Posteriormente en el laboratorio los frutos se prepararon para darles el tratamiento deseado:

Para llevar a cabo la experimentación (Ver Tabla 11), se contó con 3 lotes de aguacates correspondientes a cada una de las explotaciones visitadas, que contenían 45 aguacates cada uno. Posteriormente cada lote se dividió en 3 grupos de 15 aguacates.

*Tabla 11. División de los aguacates por grupos y lotes*

Lote \ Grup	1	2	3
1	15	15	15
2	15	15	15
3	15	15	15
Total	45	45	45

A continuación se lavaron con agua potable para después recibir uno de los siguientes tratamientos:

- Grupo 1. No se trataron con películas cubrientes (SP). Esto se realizó con el fin de tener un grupo control que nos diera la información acerca del tiempo que tardan los aguacates en llegar a su periodo de senescencia.
- Grupo 2. Se trataron con una película cubriente formada únicamente por quitosán (PQ), la cual se preparó con una solución de ácido acético - agua al 1% y quitosán al 2% en 100 ml. Antes de obtener el volumen total, se ajustó el pH a 5.5 con NaOH.

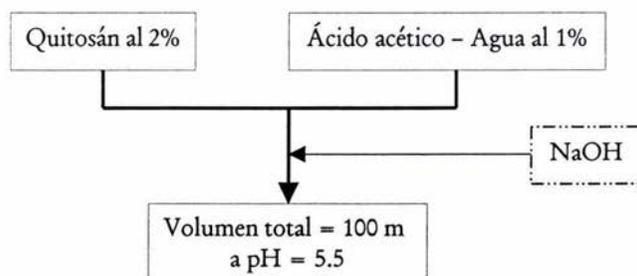


Figura 13: Proceso de elaboración de la película de quitosán.

- Grupo 3. Se trataron con una película cubriente (PQC), la cual inicialmente siguió la preparación de la PQ (ver Figura 13), sólo que al terminar se le agregaron otros agentes: glicerol al 0.3%, tween<sup>3</sup> 60 al 0.6% y ácido linoléico al 0.1%. Posteriormente se homogenizaron todos los componentes.

<sup>3</sup> Detergente surfactante con ácido esteárico.

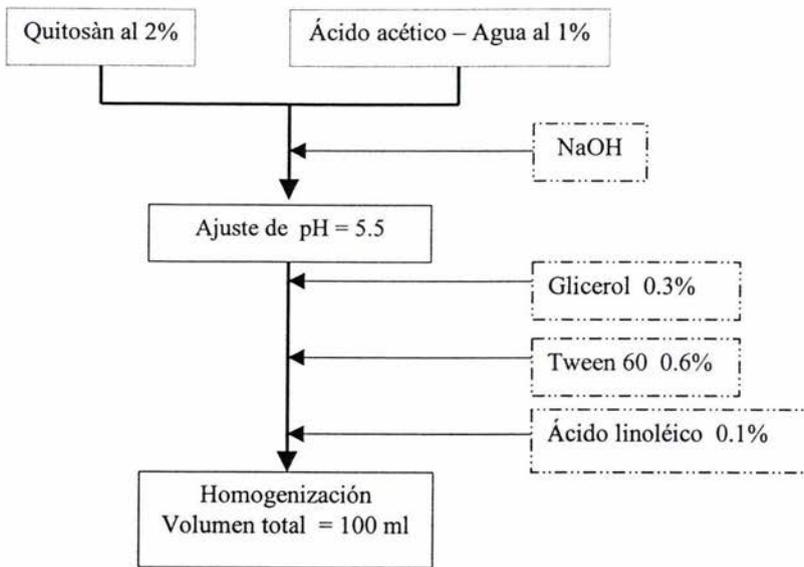


Figura 14: Proceso de elaboración de la película de quitosán compuesta.

El método utilizado para la aplicación de las películas fue el de inmersión durante 15 segundos, dejando una capa uniforme en ellos para su posterior secado, el cual fue por medio de aire forzado proveniente de un ventilador situado frente a ellos a temperatura ambiente durante 15 minutos.

Por último todos los aguacates se depositaron en un refrigerador vertical marca American manteniéndolos en un rango de temperatura de 5-8°C y humedad relativa de 75-95%.

Los días de evaluación propuestos para realizar las pruebas físicas y químicas, fueron cada 15 días, a partir del momento en que los aguacates se almacenaron en refrigeración.

Una vez cumplido este plazo, se tomó una muestra de 2 aguacates por grupo y por lote (18 en total). A la mitad de ellos (9 aguacates) se les realizaron pruebas físicas y químicas al momento de su salida del refrigerador.

Posteriormente al resto de los aguacates (9 aguacates), se les hicieron las evaluaciones 7 días después de mantenerlos a temperatura ambiente ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ), esto con el fin de observar la acción de las películas también a esta temperatura y para observar si no existen daños por frío en los aguacates, ya que, aunque la experimentación esta propuesta para una duración de 4 quincenas (8 semanas), en el momento en que estos daños se presenten la experimentación llega a su fin.

Además se tomaron tres aguacates por grupo y por lote (27 en total), para destinarlos a la prueba de pérdida de peso; ésta es una prueba no destructiva, por lo que sólo se retiraban del refrigerador los días de evaluación por un lapso de tiempo corto.

Se realizó una prueba de evaluación visual una vez concluido el experimento (en la cuarta quincena), y tuvo como objetivo indicar el efecto que tuvieron las películas en cuanto a la calidad comestible de los frutos.

### EVALUACIÓN DE PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Para evaluar los efectos de las películas empleadas sobre los factores de calidad, se utilizaron las siguientes herramientas de medición, las cuales se dividen en:

#### *Físicas*

##### *Pérdida de peso (Balanza Analítica Standard Ohaus modelo AS200)*

Para efectuar la prueba se utilizaron aguacates específicos. Así los aguacates de cada grupo se pesaban cada día de evaluación (15 días).

El diseño experimental de la evaluación de pérdida de peso, fué un experimento factorial con las siguientes variables independientes (factores), cuyos niveles fueron:

- Película con 3 niveles:
  - Sin película (SP).
  - Película de Quitosán (PQ).
  - Película Compuesta (PQC).
- Tiempo con 5 niveles:
  - 0, 14, 28, 42 y 56 días

*Dureza (Penetrómetro Universal, Presicion Scientific)*

Para esta evaluación se utilizó un Penetrómetro Universal Presicion Scientific, el cual reporta los resultados en base a la distancia penetrada por el cono de 45° en el aguacate por la acción de la gravedad, durante un periodo de 10 segundos. La dureza es en conclusión, inversamente proporcional a la madurez del fruto.

Dichas pruebas fueron llevadas a cabo sobre la pulpa o mesocarpio del fruto, el cual fue cortado de forma radial a una distancia aproximada de 3 cm del pedúnculo, y dividido simétricamente en cuatro regiones, sobre las cuales se llevarían a cabo cada una de las repeticiones de la prueba, para llevar a cabo dichas pruebas.

Primero se niveló el penetrómetro, a través de los tornillos situados en el soporte del aparato, posteriormente se colocó el cono en la varilla (la cuál tiene la función de liberar, subir o bajar los dispositivos de penetración según se requiera), sin embargo para comenzar la operación la varilla se bajó hasta la superficie de la muestra, y se tomó la lectura. Posteriormente se subió para liberarla durante 10 segundos sobre la superficie del fruto, después se aseguró y se bajó el medidor hasta el tope, se tomó la lectura de penetración a la cual se le restó el valor de la primera lectura tomada con lo cual se obtuvo la distancia que penetró el cono sobre la muestra en 1/10 mm (11).

Esta operación se repitió para cada aguacate, teniendo el cuidado de limpiar el cono entre cada toma de lecturas, lavarlo entre mediciones, adecuar y preparar el aparato de acuerdo al tamaño del aguacate. Expresando los resultados en mm de penetración.

#### *Conductividad Eléctrica (Conductímetro Beckman Solubridge Instruments Inc.)*

El Conductímetro tiene un rango de sensibilidad 1-500,000 mhos, una temperatura de referencia de 25°C y un voltaje de 120 y 60Hz.

Para realizar el experimento se contó con un par de electrodos de acero inoxidable, posteriormente se buscó la zona para la colocación de los electrodos, la cual se trata que sea la misma región para todos los aguacates, estas mediciones se llevaron a cabo, una sobre la piel del aguacate y otras dos sobre la pulpa o mesocarpio del mismo. A continuación se introdujeron los electrodos a 1 cm de separación y altura. Se tomó la lectura cuando hubo un balance en la intensidad de corriente. Una vez terminada la prueba se limpiaron los electrodos al igual que entre cada una de las lecturas realizadas (3 por cada aguacate). Los resultados se reportan en milisiemens (mS), la cual es una medida de conductividad eléctrica (13).

#### *Químicas*

##### *% Aceite (método Soxhlet AOAC).*

Para esta evaluación se utilizó el método de Soxhlet, el cual tiene como fundamento la extracción gravimétrica de la muestra anhidra (seca), con un solvente (hexano), para la extracción de la grasa.

Para ello se pesaron 5 g de muestra homogeneizada en un cartucho de extracción, colocándolo en la pieza del dispositivo de extracción Soxhlet, el cual va unido en la parte superior a un refrigerante y en la parte inferior a un matraz previamente puesto a peso constante y llenándolo con una cantidad suficiente de disolvente; la extracción

duró aproximadamente de 4-6 h, la temperatura se va elevando lentamente hasta que el disolvente entre en ebullición.

Por último el matraz se colocó durante una hora en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , con lo que se eliminaron los últimos residuos de disolvente. El matraz se pesó tras enfriarse en un desecador para posteriormente pesarlo y calcular el porcentaje de grasa como sigue:

(26)

$$\text{G\%} = [(m_2 - m_1)/M] \times 100 ;$$

En donde:  $m_1$  masa en g del matraz vacío.

$m_2$  masa en g del matraz con grasa tras el secado.

M peso de la muestra en g.

#### *% Humedad (método Dean & Stark AOAC)*

En esta evaluación se utilizó el método de Dean & Stark (AOAC), el cual tiene como fundamento la destilación de la muestra del alimento añadiendo tolueno, el azeótropo formado entre tolueno y agua (Kp.  $84^\circ\text{C}$ ), se separa debido a la baja densidad del tolueno tras la condensación. El agua “arrastrada” se mide al terminar la destilación con la ayuda de un tubo calibrado.

Para ello se pesaron muestras de 5 g colocándolas en un matraz de destilación previamente lleno con la suficiente cantidad de disolvente, el cual va unido en la parte superior por un dispositivo graduado comúnmente llamado trampa de humedad y éste, a su vez se une a un refrigerante; la temperatura se va elevando lentamente hasta que el disolvente entre en ebullición.

La prueba terminó cuando el agua contenida en el colector graduado permaneció constante por más de 30 minutos, esto se manifestó por la aparición de una capa clara

de tolueno en la parte superior del colector. Por último se dejó enfriar unos minutos y se leyó el volumen del agua directamente del colector, como se utilizó una trampa pequeña (5 ml), el resultado de la lectura fue multiplicado por dos para registrar el dato final (26).

#### *Aw (Aqualab Model CX-2)*

La prueba de Aw se realizó colocando aproximadamente 5 grs. de muestra previamente homogenizada en los cilindros que el equipo utiliza para este propósito, posteriormente se colocaron dentro del equipo, previamente calibrado. Se esperaba cerca de 15 minutos para que se terminara la prueba, tomando la lectura directamente de la pantalla digital del Aqualab.

Para el diseño experimental de las evaluaciones de dureza, conductividad eléctrica, Aw, contenido de aceite y humedad, se utilizó un experimento factorial con diseño en bloques completos aleatorizados. Los factores y niveles son:

- Película con 3 niveles:
  - Sin película (SP).
  - Película de Quitosán (PQ).
  - Película Compuesta (PQC).
- Tiempo con 4 niveles:
  - Quincena 1, 2, 3 y 4.
- Días a Temperatura ambiente con 2 niveles:
  - Días 0 y 7
- Bloques:
  - 3 lotes de aguacates

*Análisis Estadístico.*

Se realizó el análisis de varianza apropiado para cada uno de los diseños experimentales utilizados, los modelos estadísticos se presentan en el apéndice 1. Como prueba a posteriori se realizó la prueba de Tukey, la cual se utiliza para comparar pares de medias (44).

La Tabla 12, representa el formato de tabla utilizada para el registro de resultados de esta etapa de experimentación.

*Tabla 12. Formato de registro de resultados*

Lote	Tratamiento	Quincena	Días a T amb	Evaluaciones
		1	0	
1	SP	2	0	7
		3	0	7
		4	0	7
		1	0	7
	PQ	2	0	7
		3	0	7
		4	0	7
		1	0	7
	PQC	2	0	7
		3	0	7
		4	0	7
		1	0	7

NOTA: esta tabla se utiliza también para los lotes 2 y 3.

## **CAPÍTULO IV.**

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## PÉRDIDA DE PESO

La pérdida de peso de los aguacates en experimentación, aumentó linealmente con respecto al tiempo. Esto se comprobó estadísticamente mediante el análisis de regresión lineal múltiple. Por otro lado, también se efectuó un análisis<sup>4</sup> para comparar las pendientes de las rectas obtenidas con los tres tratamientos. Cabe destacar que las pendientes de las rectas indican la tasa de pérdida de peso por día. El análisis indicó que las tres pendientes son estadísticamente diferentes, es decir que la tasa de pérdida fisiológica de peso, depende del tipo de tratamiento al que fueron sometidos los aguacates. La Tabla 13 muestra las tasas de pérdida de peso por día estimadas a partir de los datos obtenidos de la experimentación.

*Tabla 13. Tasas de pérdida de peso por película*

Película	Tasa de pérdida de Peso (g/día)
Sin Película (SP)	0.364
Película de Quitosán (PQ)	0.175
Película Compuesta (PQC)	0.054

Cabe señalar que la muestra de aguacates tomada para este experimento (explicada anteriormente en el capítulo 3) se mantuvo en refrigeración a lo largo de 56 días y sólo se extraían del refrigerador para su pesado, por lo que el resultado es un indicativo del control de humedad y temperatura que se tuvo durante el almacenamiento de los aguacates, reflejándolo en la calidad comestible final de los frutos, también es un índice del efecto que se tuvo al aplicar las películas sobre la conservación de los atributos del aguacate, ya que se puede apreciar que los aguacates tratados con película compuesta fueron los que obtuvieron la menor tasa de pérdida de peso, esto quiere decir que se

<sup>4</sup> El análisis estadístico se encuentra en el apéndice 1

conservaron por mas tiempo, además de no afectar su calidad comestible (Ver Figura 15).

Como se puede observar también, el tratamiento con película de quitosán obtuvo menor pérdida de peso en comparación con los frutos sin tratamiento, pero mayor que con el tratamiento de película compuesta. Este comportamiento fue atribuido principalmente a que el quitosán sin ningún componente extra es buena barrera al oxígeno y a otros gases (37), pero en este caso esto no fue suficiente y la película si presentó un aumento en la tasa de pérdida de peso debido a que no permitía una buena transferencia de gases (etileno y compuestos volátiles).

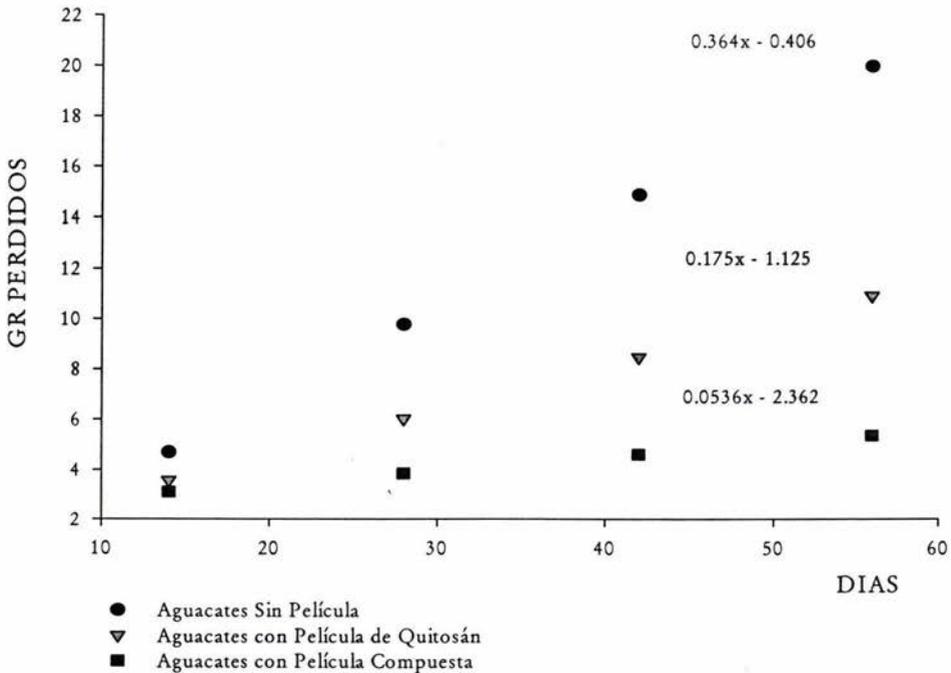


Figura 15. Tasas de pérdida de peso

El comportamiento dado en la película compuesta se debe principalmente a la adición de tween 60 y ácido linoléico, ya que, este último es un ácido graso con cadenas insaturadas (carbonos 9, 12 y 15) y con propiedades antimicrobianas, por lo que fue adicionado con el fin de que, le transfiera esa acción y de esta manera prolongar el almacenamiento del aguacate sin brotes microbianos.

Además que el ácido linoléico posee un bajo punto de ebullición, el cual muestra buenas propiedades de barrera a la humedad probablemente debido a su uniforme estructura y menos canales de placas cristalinas a través de los cuales el agua puede migrar fácilmente como lo cita Garnica (19).

Por otro lado el tween 60 es un surfactante que posee una cabeza hidrofílica y otra hidrofóbica, el cual, fue agregado para que la parte hidrofílica del quitosán se uniera a la parte hidrofílica del surfactante, quedando así la parte hidrofóbica del surfactante hacia fuera de la molécula del quitosán, permitiendo una menor tasa de pérdida de peso debido a que la película no absorbía la humedad del fruto ni del ambiente provocando así, un menor hinchamiento, lo cual es benéfico ya que si las películas se hinchan el diámetro de la red del polímero aumentaría debido al estiramiento de las moléculas, permitiendo un aumento en la permeabilidad al vapor de agua entre el fruto y el ambiente.

Este surfactante contiene ácido esteárico y como ya se ha demostrado en otros estudios es benéfico para disminuir la permeabilidad al vapor de agua en las películas de quitosán (4, 42 y 43).

## DUREZA

### *Índice de Penetración*

A lo largo de la experimentación aumentó el índice de penetración (disminuyó la dureza) en todos los frutos debido principalmente a la pérdida de firmeza, sobre todo en el grupo que no recibió tratamiento con películas. En el grupo tratado con la película de quitosán compuesta también se presentó este fenómeno a través del tiempo, sin embargo, fue menor que en los otros dos grupos, por lo tanto podemos decir que en este grupo los aguacates se conservaron con una mejor calidad comestible.

El aumento promedio con respecto al tiempo del índice de penetración de los aguacates dependió del tipo de tratamiento con películas. En el apéndice 2 se muestran los resultados del análisis de varianza para probar los efectos del tratamiento con películas y del tiempo sobre el índice de penetración del grupo de aguacates conservados exclusivamente en refrigeración.

En la Figura 16 se puede observar que la interacción de estas dos variables (Índice de penetración y tiempo) son significativas ( $p < 0.05$ )<sup>5</sup>, lo que indica que la evolución en el tiempo depende del tratamiento.

Además se puede observar que a partir del día 42, el índice de penetración fue significativamente mayor en los aguacates no tratados que en aquellos tratados con películas. Este resultado también se demostró estadísticamente mediante la comparación del promedio de los grupos tratados (PQ y PQC) con el no tratado (SP) en los diferentes tiempos de medición, los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 14.

---

<sup>5</sup> El análisis estadístico se encuentra en el apéndice 2

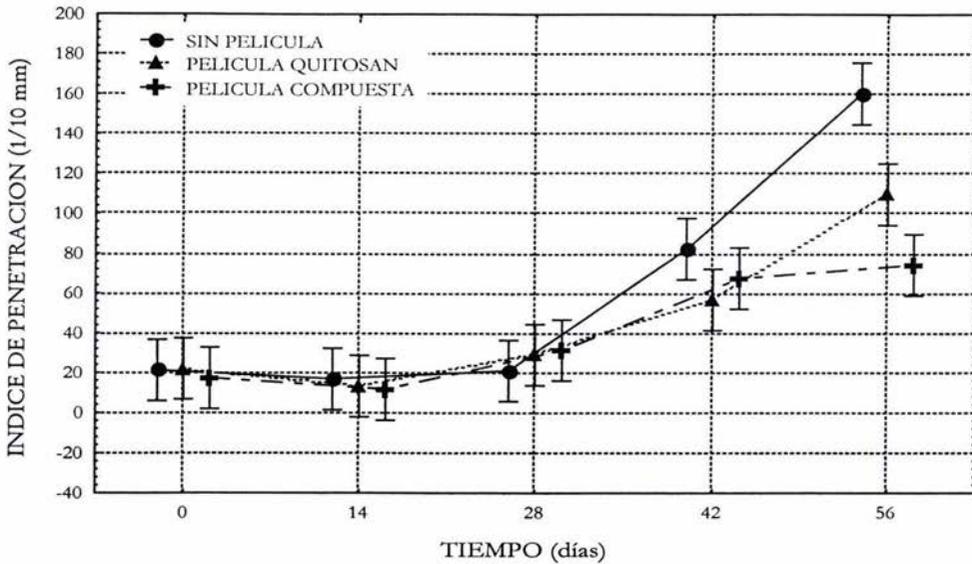


Figura 16. Efecto de las películas sobre el índice de penetración a través del tiempo en refrigeración.

Tabla 14. Comparación de promedios en refrigeración del índice de penetración.

Tiempo en Refrigeración (días)	Diferencia Promedio *	Estadístico F	Estadístico p
0	-3.25	0.03	0.86 (no significativo)
14	-8.75	0.22	0.63 (no significativo)
28	18.33	0.98	0.32 (no significativo)
42	-40.25	4.75	0.038 (significativo)
56	136.75	54.85	$4.6 \times 10^{-8}$ (significativo)

Grupo de aguacates no tratados (SP) vs. Promedio de los grupos de aguacates tratados (PQ y PQC).

En las Tablas 14 y 15 la diferencia promedio reportada es:  $\frac{(X_{PQ} + X_{PQC})}{2} - X_{SP}$ ,

en donde  $X_{PQ}$ ,  $X_{PQC}$  y  $X_{SP}$  son los promedios de los grupos tratados con películas de quitosán, quitosán compuesto y sin película, respectivamente.

El ablandamiento del mesocarpio se debe principalmente al debilitamiento de las paredes celulares, así como un descenso en el contenido en ácidos orgánicos.

Por esto es considerado como uno de los principales parámetros que pueden definir el estado de maduración del aguacate, por lo que esta evaluación nos ayudó a diferenciar si alguno de los tratamientos utilizados retarda la madurez del producto, ya que esto se manifiesta en la conservación de la firmeza de los tejidos del fruto.

La disminución de la pérdida de dureza durante el almacenamiento en los grupos PQ y PQC se debió principalmente a que durante la aplicación de la película el líquido penetró en el fruto, cubriendo los poros del mesocarpio y proporcionando una mayor firmeza a las pectinas del aguacate.

Por otro lado, en el grupo de aguacates que después de ser conservados en refrigeración ( $5-8^{\circ}\text{C}$ ), se mantuvieron a temperatura ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) durante 7 días, también se observó la dependencia entre el tiempo y el tratamiento con películas, como se muestra en el apéndice 2 (interacción significativa en la Tabla 16 del análisis de varianza).

Sin embargo en esta situación la diferencia es notoria a partir de la primera quincena (ver Figura 17 y Tabla 15).

De esta forma podemos resaltar el efecto que las películas lograron en los aguacates, esto se puede apreciar de una mejor forma a temperatura ambiente, ya que se encontraron diferencias significativas entre el grupo control (SP) y los grupos con PQ y PQC durante toda la experimentación. En estos últimos (PQ y PQC) se obtuvo un menor índice de penetración, pero sin presentar diferencias significativas entre ellos.

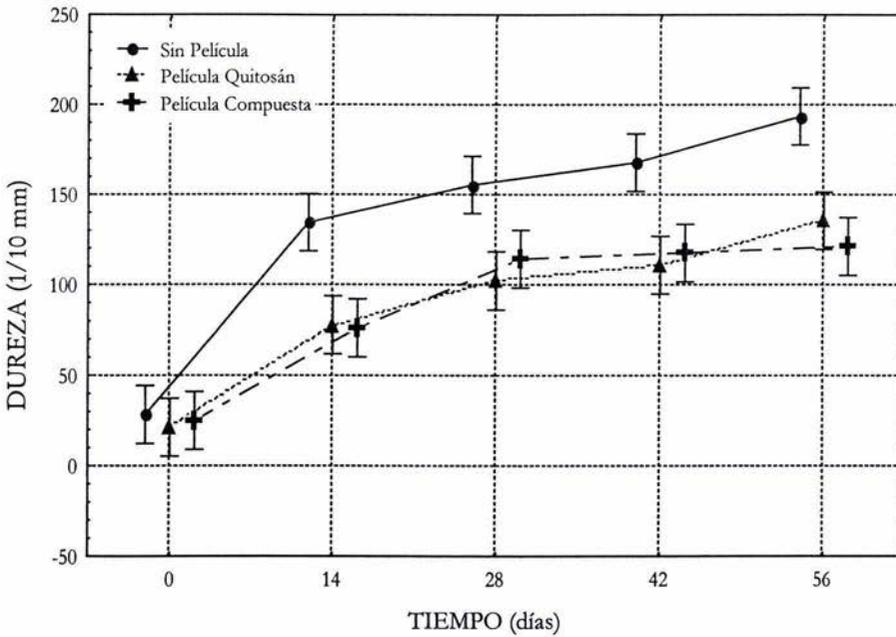


Figura 17. Efecto de las películas sobre el índice de penetración a través del tiempo a temperatura ambiente.

Tabla 15. Comparación de los promedios a temperatura ambiente del índice de penetración.

Tiempo en Refrigeración (días)	Diferencia Promedio	Estadístico F	Estadístico p
0	10.83	0.29	0.58 (no significativo)
14	114.83	36.11	$1.78 \times 10^{-6}$ (significativo)
28	94.41	24.42	$3.25 \times 10^{-5}$ (significativo)
42	107.25	31.50	$5.21 \times 10^{-6}$ (significativo)
56	130.33	46.52	$2.07 \times 10^{-7}$ (significativo)

Grupo de aguacates no tratados (SP) vs. Promedio de los grupos de aguacates tratados (PQ y PQC).

Se concluye así que las dos películas funcionan de manera adecuada sobre la conservación del aguacate a temperatura ambiente, logrando retardar los efectos propios de la maduración que se ven reflejados en la pérdida de firmeza de los frutos.

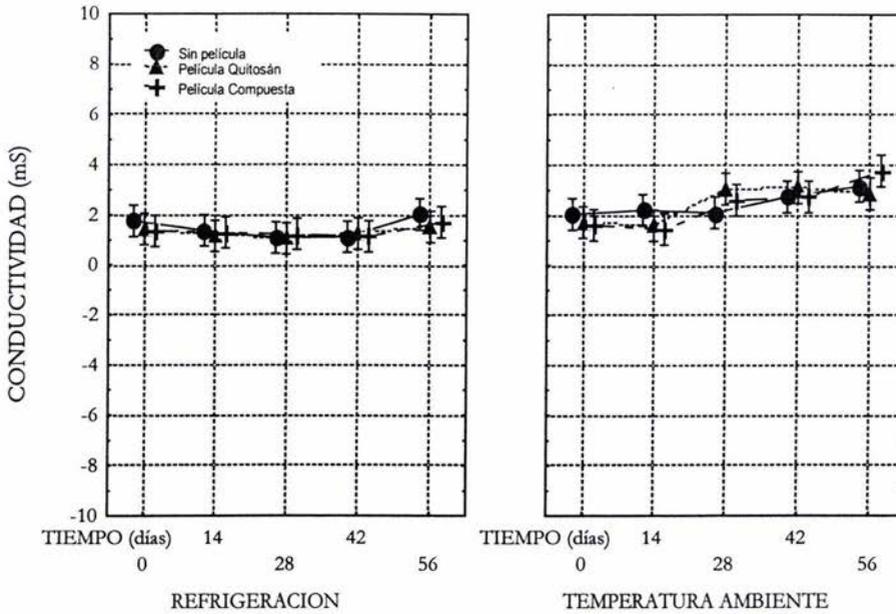
La disminución de la pérdida de dureza durante el almacenamiento a temperatura ambiente en los grupos PQ y PQC se debió principalmente a que durante la aplicación de la película el líquido penetró en el fruto, cubriendo los poros del mesocarpio y proporcionando una mayor firmeza a las pectinas del aguacate.

Al mismo tiempo se puede observar que las bajas temperaturas logran también un efecto importante sobre la conservación de los frutos a lo largo de la experimentación, sin importar el tratamiento con películas, aunque a partir de la tercera quincena se puede apreciar que el grupo control (SP) y la película de quitosán (PQ) presenta un incremento en el índice de penetración, el cual se acentúa a los 56 días de almacenamiento.

El índice de penetración en los aguacates de los grupos SP y PQ aumentó significativamente conforme pasaba el tiempo en comparación a los de la película de quitosán compuesta (PQC).

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El tratamiento con películas no vario significativamente con respecto al tiempo, es decir que, no afectó la conductividad eléctrica de los aguacates ( $p = 0.67$ ), esto se ve reflejado en la Figura 18.



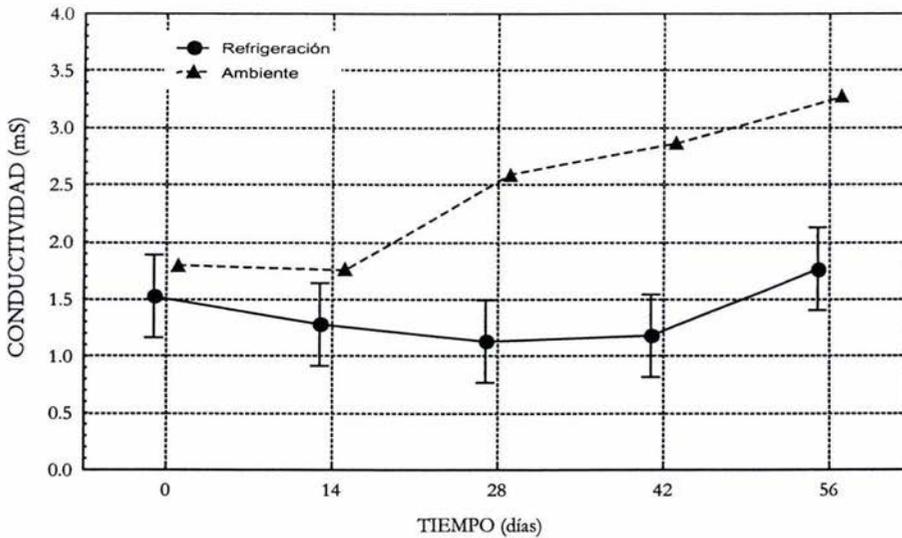
**Figura 18. Efecto de las películas sobre la conductividad eléctrica a través del tiempo.**

La conductividad eléctrica se vio afectada principalmente por la temperatura y el tiempo. Como se puede apreciar, tanto en la Figura 19, como en el resultado del análisis estadístico ( $p = 0.00$ )<sup>6</sup>, en donde se encontró que los aguacates a temperatura de refrigeración mostraron un retraso en la maduración (menor conductividad), en comparación a la evolución que tuvieron los frutos a temperatura ambiente.

<sup>6</sup> El análisis estadístico se encuentra en el apéndice 2

En la Figura 19 se observa que a temperatura de refrigeración se obtuvo un comportamiento casi constante, sin diferencias significativas entre sus puntos de tiempo, mientras que a temperatura ambiente el proceso de conducción en el fruto fue creciendo, conforme avanzaba el tiempo.

Con esta prueba podemos ver que la aplicación de las películas no interviene en los procesos metabólicos propios del fruto, dejando seguir su desarrollo normal sin alterar ningún cambio interno.



**Figura 19. Efecto de la temperatura sobre la conductividad eléctrica a través del tiempo.**

Esta medición se basa en los cambios en la conductividad eléctrica que sufre el fruto durante su maduración, los cuales fueron monitoreados a través de un Conductímetro Beckman. Ya que cuando los frutos del aguacate se encuentran en estado de inmadurez fisiológica, las moléculas de agua se encuentran ocluidas entre las macromoléculas (principalmente lípidos, proteínas y carbohidratos) sin comunicación entre ellas, lo cual provoca que al introducir los electrodos para crear el puente de conducción, las lecturas

sean bajas debido a que no hay circulación de agua, el cual, es el principal transporte de electrolitos.

Sin embargo conforme el estado de madurez va aumentando las macromoléculas comienzan a hidrolizarse, lo cual permite el movimiento de las moléculas de agua, lo que se traduce en valores de conductividad eléctrica más altos. Se debe tener en cuenta que la concentración de electrolitos no aumenta conforme avanza la maduración, si no que el transporte del agua aumenta dentro del fruto (3).

### CONTENIDO DE ACEITE

El contenido de aceite no tuvo cambios significativos entre los grupos a los cuales se le aplicaron películas (PQ y PQC) y el grupo control (SP). Tampoco el contenido de aceite se vio afectado por el tiempo; lo cual se puede apreciar en la Figura 20.

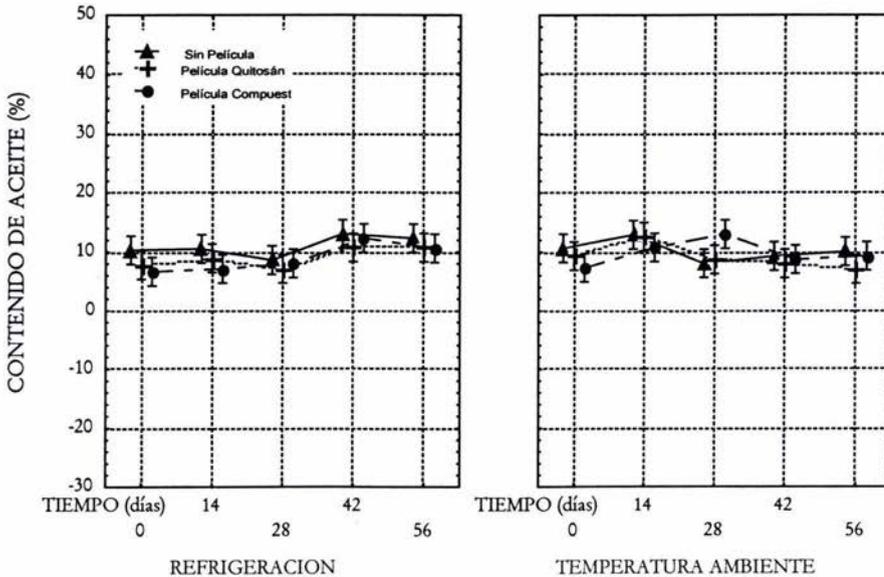


Figura 20. Efecto de las películas sobre el contenido de aceite a través del tiempo.

El contenido de aceite es un parámetro que se mide comúnmente como un indicador de la cosecha, además en postcosecha representa un índice de la calidad de estos frutos, ya que entre mayor sea su contenido de aceite, se tendrá una mejor calidad organoléptica y aumentarán los precios.

Correa y cols. (16), menciona que el contenido de aceite aumenta proporcionalmente a la maduración, por otro lado Badui (3), menciona que el contenido de aceite deja de aumentar al momento de su cosecha, por lo que nuestros resultados están de acuerdo con lo que cita este autor.

Lo antes dicho es debido a que el aguacate es un fruto que tiene la particularidad de almacenar gran cantidad de aceite al madurar, proceso que se detiene hasta una vez separada de la planta, sin embargo el dejar el fruto en el árbol puede afectar a las siguientes temporadas, además que los contenidos muy altos de aceite genera rancidez

Aunque no se obtuvieron valores muy grandes de aceite, esto no significo un problema para este estudio, ya que como lo cita Holmes (28), la época del año es un factor muy importante para este parámetro, los estudios realizados muestran que en la época en que se recolectaron los aguacates para este estudio (Mayo), se tiene un contenido lípidico muy bajo a comparación de otras épocas del año.

Pero como ya se había mencionado anteriormente este factor no fue problema, ya que para efectos de este estudio sólo se quería establecer si las películas interferían o no con el contenido de aceite, teniendo como resultado, que las películas no interfieren con este parámetro.

## CONTENIDO DE HUMEDAD

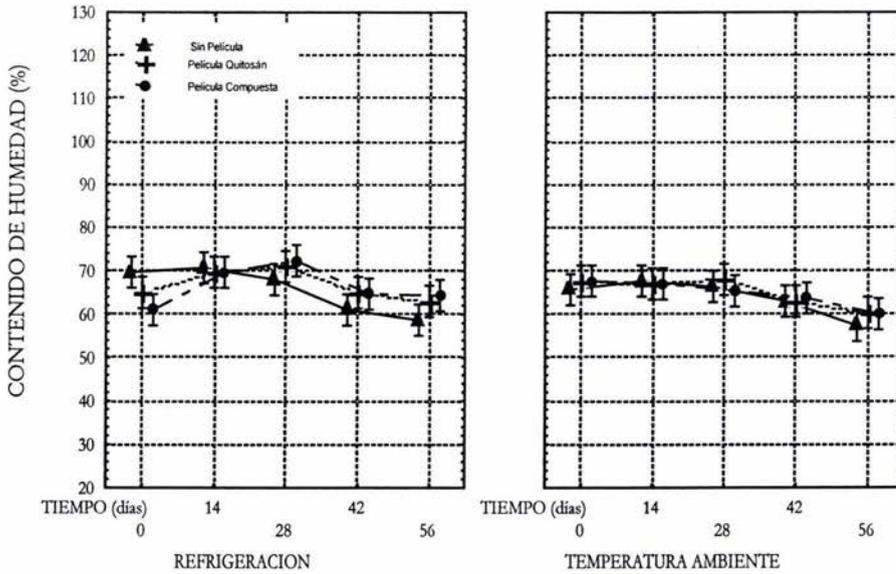
El contenido de humedad es una propiedad que no se vio afectada con el uso de las películas en los aguacates, esto resulta importante pues el agua es el principal ingrediente de los frutos y debe de estar disponible para las funciones metabólicas del mismo, además es una de las variables responsables de las alteraciones en el peso.

Además el contenido de agua total que contienen los aguacates es un factor determinante en la inhibición o propagación de las diferentes reacciones (químicas, físicas y biológicas) que suceden dentro del aguacate, y las cuales son capaces de aumentar o disminuir la calidad nutritiva y sensorial de los alimentos.

En el caso del contenido de humedad se toma la medición del total del agua que contiene el fruto, tanto el agua ligada como el agua libre; el agua ligada es la fracción de agua no congelable, la cuál se trata del agua unida a la superficie sólida y que no esta disponible en el alimento para llevar a cabo el resto de las transformaciones metabólicas, hidrolíticas, enzimáticas, químicas, microbiológicas, etc; como es el caso del agua libre, la cuál además de intervenir en todas estas transformaciones se define como la fracción de agua congelable disponible en un alimento.

En la Figura 21, se puede apreciar una tendencia a perder agua a temperatura ambiente, aunque esto no se demostró estadísticamente ( $p = 0.12$ , ver Tabla 19 en el apéndice 2), donde se muestran los resultados de contenido de humedad de los aguacates, los cuales después de un periodo de refrigeración se conservaron durante siete días a temperatura ambiente; por lo que respecta al comportamiento de los frutos a temperatura de refrigeración, el contenido de humedad se mantuvo constante a través del tiempo.

Esto se puede deber a que se mantuvo controlada la humedad del refrigerador, por lo que se puede decir que la humedad relativa del refrigerador mantuvo el contenido de humedad de los aguacates estable.



**Figura 21. Efecto de las películas sobre el contenido de humedad a través del tiempo.**

En la Figura 21 se puede observar en el inciso (a) a los aguacates conservados exclusivamente en refrigeración y el en inciso (b) a los aguacates conservados en temperatura ambiente después de su conservación en refrigeración. El tiempo se refiere al tiempo que los aguacates se conservaron en refrigeración.

### ACTIVIDAD DE AGUA.

La Actividad de Agua no se vio afectada por el tratamiento con las películas sobre aguacates. Estadísticamente se muestra una  $p = 0.5372$ , además aunque se muestran algunas diferencias en el gráfico, desde el punto de vista práctico, se pueden despreciar, ya que la diferencia puntual es muy pequeña.

La Figura 22 nos muestra que la actividad de agua permaneció constante con respecto al tiempo, esto significa que no se afectan las funciones metabólicas del fruto, por lo cual se concluye que acorde con lo citado en la bibliografía (3) no es un parámetro que cambie con respecto al tiempo, ni a la temperatura o a la aplicación de las películas, esto quiere decir que es una propiedad intrínseca.

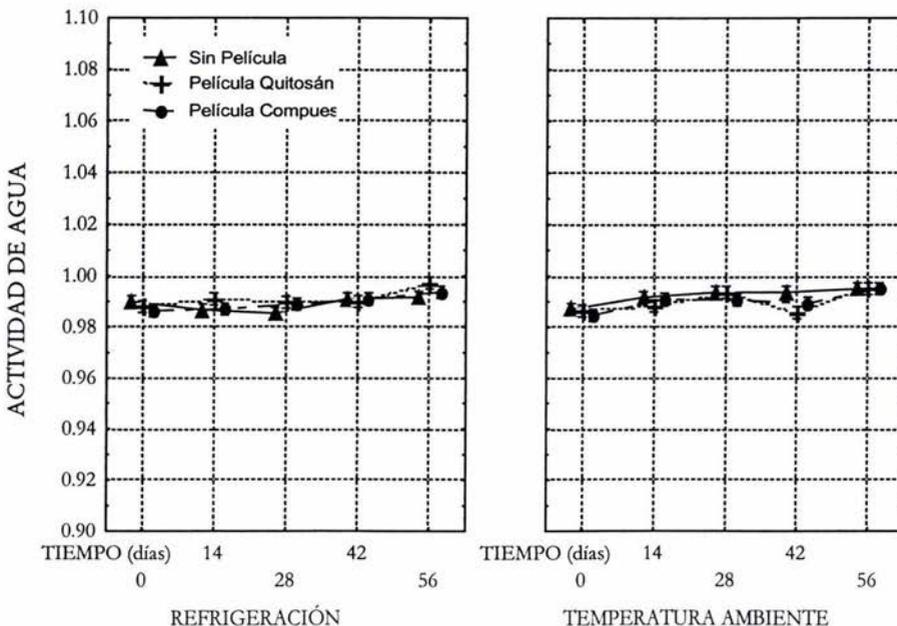


Figura 22. Efecto de las películas sobre la actividad de agua a través del tiempo.

Es importante recordar que el contenido de humedad y la actividad de agua, son conceptos diferentes y que se refieren a distintas definiciones.

El  $A_w$ , o la fracción de agua libre es una propiedad intrínseca de cada alimento, por lo que es un parámetro que nos puede dar a conocer la cantidad de agua libre que existe entre las moléculas del fruto, agua que puede estar disponible para un ataque de microorganismos o, para realizar las reacciones enzimáticas propias del aguacate que tienen lugar durante su maduración.

Para ésta evaluación se utilizó un Aqualab, el cual mide la actividad de agua (o la humedad relativa en Equilibrio) dentro de una celda (3).

Aunque la película es un factor externo, entonces se podría pensar que no se afecta la actividad de agua y por lo tanto que no se justificaría su medición en el fruto; Sin embargo se tomo en cuenta, ya que debido a que crea una atmósfera modificada puede alterar estructuras internas del fruto, además debido a la porosidad de la cáscara del fruto, el quitosán pudo haber penetrado en el fruto e interactuar con él.

## VISUALIZACIÓN DE PRESENCIA DE DAÑOS POR SENESCENCIA

Se contó el número de aguacates que no presentó ningún daño por senescencia después de 56 días, en los tres tratamientos de películas utilizadas. En la Figura 22 se muestra una fotografía en la cuál se puede apreciar las diferencias entre los aguacates que presentaron algún tipo de daño y los que no.

Además se realizó una prueba Xi cuadrada para comparar la proporción de dañados en los tres diferentes grupos, en la Tabla 14 se muestran estos resultados, la prueba resultó significativa indicando que la proporción de aguacates no dañados es mayor en el grupo de tratados con la película de quitosán compuesta.

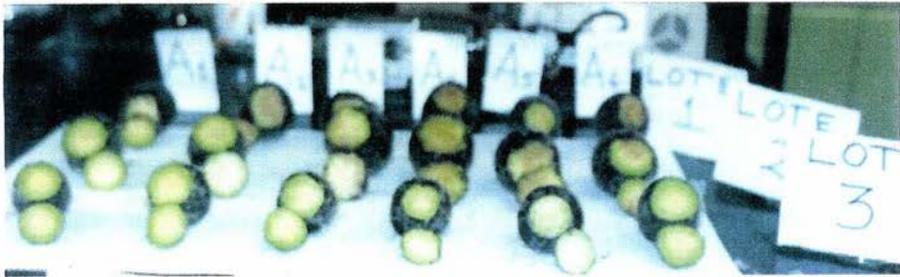
*Tabla 16. Diferencias entre aguacates dañados y no dañados con distintos tipos de película.*

Tratamiento	No dañados	Dañados
Sin película	6	12
Quitosan	5	13
Quitosan compuesta	12	6

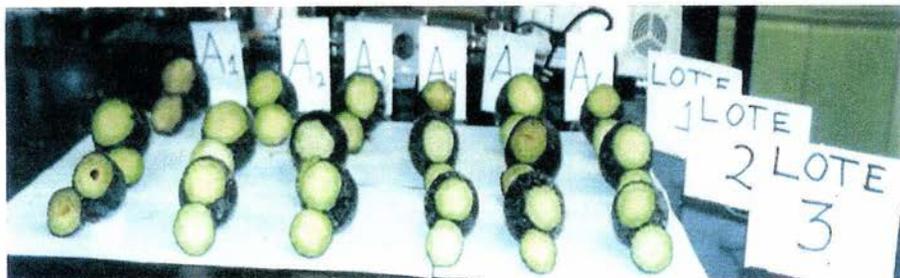
Xi Cuadrada = 6.5, p-0.04



a) Aguacates sin película a 56 días de almacenamiento



b) Aguacates con película de quitosán a 56 días de almacenamiento



c) Aguacates con película compuesta a 56 días de almacenamiento

**Figura 21. Diferencias entre los aguacates que presentaron daño por senescencia en cada tratamiento.**

## CONCLUSIONES

- En términos generales durante el almacenamiento a temperatura de refrigeración ( $5-8^{\circ}\text{C}$ , HR = 70-90%) y a temperatura ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , HR =  $65\pm 5\%$ ), la película de quitosán compuesta (PQC) resultó mejor que la película de quitosán (PQ) y esta, a su vez, resultó mejor que el grupo control (SP).
- La aplicación de la película de quitosán compuesta (PQC) y la refrigeración ( $T = 5-8^{\circ}\text{C}$ , HR = 70-90%) ayudaron a alargar el efecto de conservación de los aguacates, además de mantenerlos una mejor apariencia, calidad comestible y sobre todo con una menor tasa de pérdida de peso, a lo largo de 56 días.
- La película de quitosán compuesta (PQC) contribuyó a que los aguacates obtuvieran una menor tasa de pérdida de peso ( $0.054\text{ g/día}$ ), en comparación con los otros tratamientos (PQ =  $0.175\text{ g/día}$  y SP =  $0.364\text{ g/día}$ )
- Los aguacates con película de quitosán compuesta (PQC) tuvieron el menor índice de penetración durante el experimento ( $7.7\text{ mm}$ ), en relación al resto de los aguacates (PQ =  $11\text{ mm}$  y SP =  $16\text{ mm}$ ) a temperatura de refrigeración ( $5-8^{\circ}\text{C}$ , HR = 70-90%).
- El contenido de aceite no cambió con respecto al tiempo, ni a la aplicación de las películas de quitosán ( $p < 0.05$ ), lo cual es benéfico ya que no se afecta uno de los parámetros de calidad comercial.
- La prueba de  $A_w$  demostró que la aplicación de las películas no interactúa con la estructura interna del fruto ( $p < 0.05$ ).

- El contenido de humedad en refrigeración ( $5-8^{\circ}\text{C}$ ) se mantuvo casi constante debido a que se controló la humedad relativa del refrigerador ( $65\pm 5\%$ ). Caso contrario al comportamiento que se tuvo a temperatura ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) ya que se observa una tendencia a la pérdida de agua conforme avanza la maduración, puesto que el gradiente de humedades que existía entre los aguacates y el medio ambiente era de aproximadamente 33%.
- La aplicación de películas a base de quitosán no mostraron diferencia significativa en cuanto a la conductividad eléctrica ( $p < 0.05$ ), sin embargo se percibe diferencia ( $p > 0.05$ ) entre la temperatura de refrigeración (1.8 mS) y ambiente (3.3 mS) desde la tercera quincena, lo que indica una mayor maduración de los frutos a esta última temperatura.

---

## LITERATURA CITADA

1. Arthey D. y Ashurst, 1997. *Procesado de Frutas*. España, Acribia. pp: 9-19, 44-51
2. Allan G.G. y Winterowd J.G., 1991. The controlled release of a nerve growth factor protein from a matrix. *Presentation at the 201st American Chemical Society National Meeting*. Division of Industrial and Engineering Chemistry, Inc., Symposium on Biopolymers, Atlanta, GA.
3. Badui D.S., 1999. *Química de los Alimentos*. México, Pearson Educación. p.p. 26-34.
4. Bosques M. E., Vernon C. J., Pérez F. L., Guerrero L. I., 2000. Películas y Cubiertas Comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas. *Industria Alimentaria*, 8: 4-36.
5. Bough W.A., Salter W.L., Wu A.C. y Perkins B.E., 1978. Influence of Manufacturing Variables on the Characteristics and Effectiveness of Chitosan Products, Chemical Compositions, Viscosity and Molecular-Weight Distribution of Chitosan Products. *Biotechnology and Bioengineering*, 20: 1931-1950.
6. Brandenburg A.H., Weller C.L. y Testin R.F., 1993. Edible Films and Coatings from Soy Protein, *Journal of Food Science*, 5 (58): 1086-1089.
7. Brom R. E. y Carvalho C. F., 1966. *El aguacate*. México, Juan Lozoya Dávila. pp: 122.
8. Butler B.L., Vergano P.J., Testing R.F., Bunn J.M. y Wiles J.L., 1996. Mechanical and Barrier Properties of Edible Chitosan Films as affected by Composition and storage. *Journal of Food Science*, 5 (61): 953-955, 961.
9. Caner C., Vergano P.J. y Wiles J.L., 1998. Chitosan Film Mechanical and Permeation Properties as Affected by Acid, Plasticizer, and Storage. *Journal of Food Science*, 6 (63): 1049-1053.

10. Cantwell M., 2000. Trends in Postharvest Handling of Fruits and Vegetables. Costa Rica, *Red Centroamericana de Hortalizas (REDCAHOR)*, 7: 30
11. Casas A.N., 1997. *Medición de Textura en Alimentos*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM p.p. 25-33
12. Corrales G.J. y Tlalpa R.C., 1999. Daños por Frío y Producción de etanol en Aguacate (Persea americana Mill) CV. Hass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 6: 39-41
13. Curt C., 1997. Caractérisation de produits et de procedes alimentaires par Conductimétrie électrique. *Sciences Des Aliments* 17: 435-456.
14. Chen H., 1995. Functional Properties and Applications of Edible Films Made of Milk Protein, *Journal Dairy Science*. 78: 2563-2583.
15. Dallman T.F., Eaks I.L., Thomson W.W. y Nothnagel E.A., 1989. Postharvest density changes in membranes from ripening avocado fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113(5): 729-733.
16. Correa O.F., Pluma L.I. y Hernández S.J., 1987. Conservación de Aguacate variedad Hass en fresco para exportación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. pp: 32-50.
17. Fernández B.J., 1997. *Comercialización del aguacate mexicano en los E.E. U.U.* Asociación de Exportadores y Empacadores de Aguacate Mexicano, A. C. (ASEEAM). Recopilación de información, donada a la Fundación Salvador Sánchez Colín. pp: 356-382.
18. Franklin T.J. y Snow G.A., 1981. *Biochemistry of antimicrobial Action*. London, Chapman and Hall. p.p: 659-687.

19. Garnica M.O., 2001. *Permeabilidad al Vapor de Agua y Propiedades Mecánicas de Películas modificadas de Quitosán*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. p.p. 109-127.
20. Gennadios A., Weller C.L., Hanna M.A. y Froning G.W., 1996. Mechanical and Barrier Properties of Egg Albumen Film. *Journal of Food Science*, 3 (61): 585-589.
21. Gnanasambandam R., Hettiarachchy N.S. y Coleman M., 1997. Mechanical and Barrier Properties of Rice Bran Films. *Journal of Food Science*, 2 (62): 395-398.
22. Gontard, N., Guilbert S. y Cuq J.L., 1993. Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Journal of Food Science*, 1 (58): 206-211.
23. Hadwiger L.A., Fristensky B., y Riggleman R.C., 1984. *Chitosan, a natural regulator in plant-fungal pathogen interactions increases crop yields*. New York, Academic Press, pp: 291.
24. Hadwiger L.A., Kendra D.F., Fristensky B.W. y Wagner W., 1985. Chitosan both activate genes in plants and inhibits RNA synthesis in fungi. *Chitin in Nature and Technology*, 5: 165-178.
25. Hardenburg R.E., Watada A.E. y Wang C.Y., 1986. *The Commercial Storage of fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Departamento de Agricultura de Estados Unidos, p.p.130.
26. Hart D. L., 1997. *Análisis Moderno de los Alimentos*. España, Acribia, pp: 265-241.
27. Hirano S., Tsuchida H. y Nagao N., 1989. N-acetylation in chitosan and the rate of enzymic hydrolysis. *Biomaterials*, 10: 574.
28. Holmes A.C., 1971. *The Biochemistry of Fruits and their products*. Reino Unido, Academic Press, pp: 2-60

29. Holland B., Chwin I.D. y Buss D.H., 1992. *Fruit and Nuts, the composition of Foods*. Reino Unido, Royal Society of Chemistry MAFF, p.p. 18-115.
30. Jobling J., 2001. *Correct cool chain management is essential for all fruit and vegetables*. Australia, Exon Press, pp: 4.
31. Kanazawa A., T. Ikeda y T. Endo, 1993. Polymer Chemical. *Journal Polymer Science*, 31: 335-342.
32. Kays, S.J., 1997. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. Estados Unidos, Exon Press, pp: 532.
33. Kester J.J. y Fennema O., 1986. Edible Films and Coatings. *Food Technology*, 40 (12): 47-59
34. Krochta J.M. y De Mulder-Johnston C., 1997. Edible and Biodegradable Polymer Films: Challenges and Opportunities. *Food Technology*, 51 (2): 61-74
35. Krochta J.M. y De Mulder Johnston C., 1997. Edible films Solve Problems. *Food Technology*, 2 (51): 60-74.
36. Leuba J.L. y Stossel P., 1985. Chitosan and other polimnes antifungal activity and interaction with biological membranes. *Chitina in Nature and Technology*, 5: 217-228.
37. López V.D., 2003. *Caracterización de Películas Compuestas de Quitosán para proponer una alternativa que alargue la vida útil del Aguacate*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. p.p. 38-61.
38. Maghami G.G. y Roberts G.A., 1988. Evaluation of the viscometric constants for chitosan, Makromol. *Chemical*, 189:195-210.
39. Mannhein C.H. y Soffer T., 1996. Permeability of different Wax Coatings and Their Effect on citrus Fruit Quality. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 44: 919-923.

40. Martín Polo y Martha Obdulia, 1997. *Interacción y compatibilidad envase-producto alimentario*, Programa universitario de Alimentos UNAM, p.p. 1-56.
41. Martínez, B.R., 1997. *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. pp: 52-64.
42. McHugh T.H., Aujard J.F. y Krochta, J.M., 1994. Plasticized Whey Protein Edible Films: Water Vapor Permeability Properties. *Journal of Food Science*, 2 (59): 416-423.
43. McHugh T.H. y Krochta J.M., 1994. Sorbitol vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 4 (42): 1994.
44. Mendenhall W., 1997. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México, Prentice Hall, pp: 356-558.
45. Muzzarelli R.A.A., 1977. *Chitin*. New York, Pergamon Press Ltd., p.45
46. No Hong K. y Meyers S.P., 1989. Crawfish chitosan as a coagulant in recovery of organic compounds from sea food processing streams. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 37 (83): 580
47. Ochoa B.R. y Ortega R.C., 2002. *El Aguacate Mexicano frente a la apertura del Mercado Norteamericano*. Memorias del VI curso de aprobación fitosanitaria en el manejo del aguacate. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez" Uruapan Michoacán México. pp:5-11
48. Packer, 1999. *Produce Availability & Merchandising Guide*. Estados Unidos, Redmond, Vance Publishing Corp. pp: 552.
49. Park Hyun J., Chinnan M.S. y Shewfelt R.L., 1994. Edible Coating Effects on storage Life and Quality of Tomatoes, *Journal of Food Science*, 3 (59): 568-570.

- 
50. Park J.W., Testin R.F., Park H.J., Vergano P.J. y Weller C.L., 1994. Fatty Acid Concentration Effect on Tensile Strength, Elongation, and Water Vapor Permeability of Laminated Edible Films, *Journal of Food Science*, 4 (59): 916-919.
51. Parris N., Coffin D.R., Joubran R.F. y Pessen H., 1995. Composition Factors Affecting the Water Vapor Permeability and Tensile Properties of Hydrophilic Films. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 6 (43): 1432-1435.
52. Paz V.R., 1997. *Situación actual de la comercialización del aguacate michoacano*. Memoria del VI Curso de aprobación Fitosanitaria en el manejo del aguacate. Facultad de Agrobiología Uruapán Michoacán. pp: 81-96.
53. Pérez Gajo M.B., Nadaud P. y Krochta J.M., 1999. Water Vapor Permeability, Solubility, and Tensile Properties of Heat-denatured versus Native Whey Protein Films, *Journal of Food Science*, 6 (64): 1034-1037.
54. Quesada Gallo J.A., Debeaufort F., Callegarin F. y Voilley A., 2000. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion edible films. *Journal of Membrane Science*, 180: 37-46.
55. Ralston G.B., Tacey M.V. y Wrench P.M., 1964. The inhibition of fermentation in baker's yeast by chitosan. *Biochem. Biophys. Acta*. 93:652-655.
56. Ruiz V.G., 1912. *Recopilación para la Producción de Aguacate Dirección General de Agricultura*, Secretaria de fomento Estación Agrícola Central. San Jacinto, D.F. Boletín No. 71.
57. Salvador R.V., 1999. Recubrimiento de Quitosán en Aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México*. 43:18-23.
58. Sánchez C.S. y Rubí A., 1994. Situación actual del aguacate en México Calif. *Avocado. Soc. Yrbk.*, 78:61-74.

59. Sánchez C.S. y Rubí A. 1995. *Panorama de la agroindustria del aguacate en México*. Folleto No. 275. Fundación Salvador Sánchez Colín.
60. Sherwin C., 1998. *The Water Vapor Barrier Properties of Whey Protein Fatty Acid Emulsion Edible Films*, Thesis, University of Minnesota, p.p. 2-100
61. Skjakbtaek G., Anthonsen T. y Sandford P., 1988. *Chitin and Chitosan sources, chemistry, biochemistry, physical properties and applications*. London and N.Y., Elsevier Applied Science, pp: 245-310.
62. Smith C.E., 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*, 20: 169-175.
63. Smith C.E., 1969. Additional notes on prequest avocados in Mexico. *Economic Botany*, 23: 135-140.
64. Stuchell Y.M. y Krochta J.M., 1996. Edible Coatings on Frozen King Salmon: Effect of Whey Protein Isolate and Acetylated Monoglycerides on Moisture Loss and Lipid Oxidation. *Journal of Food Science*, 6:594-625.
65. Takemono K.J., Sunamoto y Akasi M., 1989. *Polymer and Molecular care*. Mita. Tokyo. Ch IV
66. Taylor J.E., Seynour G.B. y Tucker G.A., 1993. *Biochemistry of fruit ripening*. Gran Bretaña, Chapman & Hall. Londres. pp: 56-110.
67. Thompson J.F., Mitchell F.G., Rumsey T.r., Kasmire R.F. y Crisosto C.H., 1998. *Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers*. División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California, Davis, Estados Unidos.
68. Trejo V.V., 2001. *Estimación de la Permeabilidad al Vapor de Agua a Películas a Base de Quitosán*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, pp. 9-16

69. Universidad de California, 1996. *Management of Fruit Ripening*. Postharvest Outreach Program, Department of Pomology, University of California, Davis, Estados Unidos. pp: 49.
70. Wills R., Lee T., Mcclason, Hall W. y Graham D., 1989. *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección*. España, Acribia, pp: 56-87.
71. Wong, Dominic W.S., Gastineau, Fgrancois A., Gregorsy, Kay S., Tillin, Sandra J., Pavlath, Attila E., 1992. Chitosan-Lipid Films: Microstructure and Surface Energy. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 40: 236-259.
72. Zapata A.G., 1997. *Reporte del viaje de estudios del personal de la Fundación a la región aguacatera del Estado de Michoacán*. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, Méx. pp. 24.
73. Zentmyer, A.G. 1987. *Avocados around the world*. California Avocado Society Yearbook. 71:63-77.

#### FUENTES MULTIMEDIA

74. Mercado nacional e internacional, Frutas tropicales. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx). 29 Febrero 2003.
75. Producción y Comercio de Aguacate en México y el Mundo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). 29 Marzo 2003.
76. Indicadores Básicos de manejo Postcosecha de Aguacate (Palta). [www.ucdavis.edu.us](http://www.ucdavis.edu.us) 10 Marzo 2003.
77. Control de plagas en aguacate [www.infoagro.com.mx](http://www.infoagro.com.mx) 9 Febrero 2003.

## APÉNDICE 1

Modelo Estadístico de regresión para probar el efecto del tratamiento con películas sobre la pérdida fisiológica de peso en los aguacates, con respecto al tiempo.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

donde:  $X_1 =$  Tiempo

$X_2 =$  1 si tiene Película de Quitosán Compuesta  
0 si NO tiene Película de Quitosán Compuesta

$X_3 =$  1 si tiene Película de Quitosán Simple  
0 si NO tiene Película de Quitosán Simple

### Hipótesis Probadas

- a) Una sola línea caracteriza la Pérdida Fisiológica de Peso (PFP), si se rechaza la hipótesis nula, indica que las rectas que definen la pérdida fisiológica de peso, difieren de una película a otra. Pueden ser líneas paralelas con diferente ordenada al origen, con igual pendiente.

$$H_0: \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_A: \text{Al menos una } \beta \text{ es } \neq 0$$

- b) Para probar si las líneas tienen pendientes diferentes

$$H_0: \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_A: \beta_4 \neq 0 \quad \text{ó} \quad \beta_5 \neq 0$$

### Prueba de Hipótesis.

- a) Prueba F.

$$\text{Modelo reducido } \hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$\text{Modelo Completo } \hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

*Estadística de Prueba*

$$F = \frac{\frac{SCE_R - SCE_C}{k - g}}{\frac{SCE_C}{n - (k + 1)}}$$

$$SCE_C = 1063.163 = 102$$

$$SCE_R = 2701.08693 = 106$$

Donde :

$SCE_C$  : Suma de cuadrados del error del modelo reducido

$SCE_R$  : Suma de cuadrados del error del modelo completo

$k$  : Grados de libertad del modelo reducido

$g$  : Número de variables parámetros

$k - g =$  Número de Parámetros en  $H_0 = 4$

$k + 1 = 6$

$n =$  Total de la muestra = 108

$F = 39.28, p \approx 0.00$  por lo que se rechaza  $H_0$ .

El modelo sencillo no es adecuado, Las líneas difieren de una película a otra.

b) Modelo reducido:  $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$

Modelo Completo:  $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$

Prueba F

$$CSE_C = 1063.163, \quad ge = 102$$

$$CM_C = 104231619$$

$$SCE_C = 1063.16252$$

$$SCE_R = 1494.96645$$

$$F = \frac{\frac{1494.96645 - 1063.16252}{2}}{10.4231619} = 20.71$$

$$p = 2.8 \times 10^{-8}$$

Estimación de Parámetros:

1) Ecuación para Aguacates Testigo (SP).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$\beta_0 = -0.406$$

$$\beta_1 = 0.364$$

$$y = 0.364 x - 0.406$$

- 2) Ecuación para Aguacates tratados con película de quitosán (PQ).

$$\hat{y} = (\beta_0 + \beta_3) + (\beta_1 + \beta_5) X_1$$

$$\hat{y} = (-0.406711 + 1.532178) + (0.364592 - 0.1891) X_1$$

$$y = 0.175 x + 1.125$$

- 3) Ecuación para Aguacates tratados con película compuesta (PQC).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_4 X_1 X_2$$

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 + \beta_4 X_1$$

$$\hat{y} = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_4) X_1$$

$$\hat{y} = (-0.406711 + 2.768467) + (0.364 - 0.310459) X_1$$

$$y = 0.0536 x + 2.362$$

## APÉNDICE 2

Tabla 17. Anova para datos a temperatura de refrigeración del índice de penetración.

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	107628.901	1	107628.9	631.46	0
Película	3159.24444	2	1579.62	9.26	0.0008
Lote	2902.56944	2	1451.28	8.51	0.0012
Tiempo	65306.3556	4	16326.58	95.78	6.66e-16
Película-Tiempo	9313.31111	8	1164.16	6.83	5.72e-05
Error	4772.43056	28	170.44		

Tabla 18. Anova para datos a temperatura ambiente del índice de penetración.

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	499438.013	1	499438.0	2735.89	0
Película	20920.7583	2	10460.37	57.30	1.26e-10
Lote	1491.1	2	745.55	4.084	0.027
Tiempo	86479.8694	4	21619.96	118.43	0
Película-Tiempo	5049.54722	8	631.19	3.45	0.006
Error	5111.4	28	182.55		

Tabla 19: Anova para datos de contenido de humedad

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	385467,77	1	385467,77	39432,11	0
Película	21,08	2	10,54	1,07	0,34
Lote	128,35	2	64,17	6,56	0,002
Tiempo	853,11	4	213,27	21,81	5,03E-11
Temperatura	57,6	1	57,6	5,89	0,01
Película-Tiempo-Temperatura	130,04	8	16,25	1,66	0,12
Tiempo-Temperatura	94,62	4	23,65	2,41	0,05
Película-Temperatura	0,06	2	0,03	0,003	0,99
Película-Tiempo	112,35	8	14,04	1,43	0,20
Error	566,97	58	9,77		

Tabla 20: Anova para datos de contenido de aceite

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	8469,11	1	8469,11	1960,87	0,00
Película	36,64	2	18,32	4,24	0,02
Lote	35,45	2	17,73	4,10	0,02
Tiempo	49,49	4	12,37	2,86	0,03
Temperatura	0,06	1	0,06	0,01	0,91
Película-Tiempo-Temperatura	20,97	8	2,62	0,61	0,77
Tiempo-Temperatura	146,78	4	36,70	8,50	0,00
Película-Temperatura	10,13	2	5,06	1,17	0,32
Película-Tiempo	72,74	8	9,09	2,11	0,05
Error	250,51	58	4,32		

Tabla 21: Anova para datos de conductividad eléctrica

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	330,11	1	330,11	1115,48	0,00
Película	0,13	2	0,07	0,22	0,80
Lote	8,72	2	4,36	14,72	0,00
Tiempo	10,80	4	2,70	9,13	0,00
Temperatura	26,22	1	26,22	88,58	0,00
Película-Tiempo-Temperatura	1,69	8	0,21	0,71	0,68
Tiempo-Temperatura	0,16	2	0,08	0,28	0,76
Película-Temperatura	7,70	4	1,92	6,50	0,00
Película-Tiempo	3,03	8	0,38	1,28	0,27
Error	17,16	58	0,30		

Tabla 22: Anova para datos de actividad de agua

	ss	Grados de libertad	ms	f	p
Efecto	88,25	1	88,25	21307437,2	0
Película	1,18E-05	2	5,91E-06	1,42	0,24
Lote	2,50E-05	2	1,25E-05	3,02	0,05
Tiempo	0,0005	4	0,0001	32,79	2,70E-14
Temperatura	0,00001	1	0,00001	4,08	0,04
Película-Tiempo-Temperatura	6,85E-05	8	8,57E-06	2,06	0,05
Tiempo-Temperatura	0,0001	4	3,23E-05	7,81	4,14E-05
Película-Temperatura	8,18E-05	2	4,09E-05	9,88	0,0002
Película-Tiempo	0,0001	8	1,48E-05	3,57	0,0019
Error	0,0002	58	4,14E-06		