



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**RECUBRIMIENTO DE QUITOSÁN SOBRE MANGO *Mangifera indica* L.
VARIEDAD MANILA.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A:

LIZET JOHAN HERNÁNDEZ QUIROZ

ASESORES:
Dra. SUSANA PATRICIA MIRANDA CASTRO
IBQ. LETICIA FIGUEROA VILLARREAL

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.



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.

DEDICATORIAS A:

MIS PAPÁS

Por que siempre me han enseñado que para cumplir un objetivo debo de trabajar duro, por que gracias a su apoyo logre alcanzar una meta más, a quien mejor que ustedes que son el mejor ejemplo de lucha y superación.

ESTEBAN Y OMAR

A las personas que me dan la fuerza necesaria para seguir alcanzando metas, por que son mi fuente de inspiración para seguir de adelante, ahora es por ustedes por quién debo de trabajar cada día más duro, por que siempre están en mi corazón, los amo.

KARLA, JESE Y SEBASTIÁN

Por que ustedes también son parte importante en mi vida, por que compartimos momentos muy gratos y me han ayudado a salir de situaciones muy duras, por que ustedes también contribuyeron para que consiguiera mi objetivo ayudándome a cuidar a Esteban.

AGRADECIMIENTOS A:

Dra. Patricia Miranda Castro

Gracias, por su paciencia, por su apoyo que me ha brindado durante todo este tiempo que me llevo realizar el trabajo, por comprender mis mil y un compromisos que antepuse y por dedicarme el tiempo suficiente para que se finalizara la tesis

IBQ. Leticia Figueroa Villareal

Gracias, por su apoyo y por permitirme trabajar en el laboratorio.

MC. Virginia Lara

Gracias, por las asesorías y por la gran ayuda que me brindo con la parte estadística del trabajo, sin esa ayuda no hubiera terminado.

INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I. GENERALIDADES	
1.0 GENERALIDADES DEL MANGO	
1.1. Historia	5
1.2. Taxonomía	6
1.3. Descripción botánica	7
1.4. Aspectos socioeconómicos	
1.4.1. Producción Mundial	8
1.4.2. Producción Nacional	9
1.4.3. Volumen de exportaciones	10
1.5. Composición química y nutricional	11
1.6. Cambios Postcosecha	
1.6.1. Cambios bioquímicos durante la maduración	13
1.6.2. Respiración	14
1.6.2.1. Patrón Climatérico	15
1.7. Enfermedades	
1.7.1. Antracnosis	16
1.7.2. Mancha negra	16
1.7.3. Pudrición de la base del fruto o muerte negra	17
1.7.4. Pudrición por hongo negro	17
1.7.5. Mancha negra bacteriana	17
1.7.6. Mosca de la fruta	18
1.8. Conservación	18
2.0. GENERALIDADES DE QUITINA Y QUITOSÁN	
2.1. Quitina, estructura y características	21
2.2. Quitosán, estructura y características	22
2.3. Propiedades funcionales	
2.4. Quitina y quitosán como agentes antimicrobianos y antibacterianos	24
2.5. Aplicaciones en alimentos	25

	Página
3.0. GENERALIDADES DE LAS PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	
3.1. Definición	27
3.2. Propiedades	27
3.3. Componentes de los recubrimientos y películas	
3.3.1. Polisacáridos	28
3.3.2. Proteínas	28
3.3.3. Lípidos	29
3.4. Aplicaciones en alimentos	29
3.5. Efectos fisiológicos de los recubrimientos en frutas y hortalizas	
3.5.1. Efecto en la respiración	30
3.5.2. Efecto en la transpiración	30
3.5.3. Efecto en el control de pudriciones y deterioro	30
3.5.4. Efecto en el control de fisiopatías	31
3.5.5. Efecto en la apariencia, textura y manejo	31
4.0. FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADUREZ	
4.1. Pérdida de peso	32
4.2. Dureza	32
4.3. Conductividad eléctrica	33
4.4. pH	33
4.5. Sólidos solubles	34
4.6. Índice de madurez	34
4.7. Azúcares reductores	35
4.8. Velocidad de respiración	36
CAPITULO II	
METODOLOGÍA (MATERIALES Y METODOS)	37
CAPITULO III	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	

INDICE DE GRÁFICAS

página

1. Principales países productores de mango del 2004. 8
2. Principales países exportadores de mango del 2003. 10
3. Curva típica de respiración climatérica posterior a la cosecha de las frutas 15
4. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre la pérdida fisiológica de peso por día de almacenamiento 45
5. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el parámetro de dureza, con respecto al tiempo. 48
6. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre la conductividad eléctrica, con respecto al tiempo. 50
7. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el pH, con respecto al tiempo. 52
8. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre los sólidos solubles (°Brix) , con respecto al tiempo. 54
9. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el índice de madurez, con respecto al tiempo. 55
10. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el % ARD, con respecto al tiempo. 56
11. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el % ART, con respecto al tiempo. 56
12. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el % CO₂, con respecto al tiempo. 58

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

página

FIGURA

1. Frutos de mango variedad Manila	6
2. Frutos de mango	11
3. Estructura de la quitina	21
4. Estructura del quitosán	22
5. Representación de la zona ecuatorial	41
6. Mangos variedad Manila tratados con quitosán y quitosán compuesto al día 3 de almacenamiento	46
7. Mangos variedad Manila tratados con quitosán y quitosán compuesto al día 8 de almacenamiento	47

TABLAS

1. Clasificación de <i>mangifera especies</i>	6
2. Producción nacional de mango ciclo primavera verano 2003.	9
3. Composición química del mango	11
4. Composición nutricional del mangos	12
5. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el parámetro de dureza.	48
6. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el % de acidez.	53

RESUMEN

Se evaluó el efecto de los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto sobre la madurez de mango *Mangifera indica* L. variedad Manila. Los mangos fueron almacenados a temperatura ambiente 25°C +/- 2 y 65%HR. Se midieron parámetros físicos (pérdida de peso, dureza, conductividad eléctrica), químicos (sólidos solubles, azúcares reductores directos y totales), fisicoquímicos (pH y acidez), fisiológicos (Velocidad de respiración). Se encontró que los recubrimientos actuaron como barrera semi permeable a gases como vapor de agua, CO₂ y O₂, afectando la velocidad con la que se realizan los procesos metabólicos como: la respiración, degradación de azúcares, disminución de ácidos orgánicos, dando como resultado un retraso en la maduración. Los mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto presentaron una reducción significativa en la pérdida de peso y en la tasa de respiración, en relación con los frutos control. Los mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto tienen una vida útil de 9 +/- 1 días a temperatura ambiente y no presentaron infecciones fúngicas, lo que corrobora la actividad antifúngica del quitosán.

INTRODUCCIÓN

México es el mayor productor de mango de América, ocupando el cuarto lugar con una participación 5.5% del total mundial en el año 2002. Sin embargo, sólo el 13,8% de lo que produce lo dedica a la comercialización internacional en fresco y el restante 86,2% se consume internamente. En nuestro país se producen diversas variedades entre las cuales destacan por sus altos volúmenes de producción Manila y Ataulfo, siendo los principales estados productores de mango Manila: Veracruz, Sinaloa y Nayarit (SIAP. SAGARPA, 2003). El campo mexicano sufre de altos porcentajes de pérdidas postcosecha que van de 25-40%, causadas por deterioros mecánicos durante la manipulación y el transporte o por deterioros fisiológicos (Correa, 2002)

La respiración de un fruto después de ser cosechado constituye un factor limitante para su conservación en estado fresco, de ahí la necesidad de encontrar alternativas que prolonguen la vida útil del fruto en estado fresco y sin deterioro por causas microbianas. Por otro lado, la demanda del mercado incrementa continuamente exigiendo alimentos nutritivos de alta calidad, así como la demanda del consumidor en adquirir productos frescos con largos períodos de vida. El método comúnmente adoptado para extender la vida útil de los frutos en estado fresco es el almacenamiento a bajas temperaturas, sin embargo se han reportado que los frutos sufren de daños por frío. Otro método usado para conservar frutos frescos es la utilización de atmósferas controladas y/o modificadas en conjunto con la refrigeración y utilizando como empaque películas plásticas sintéticas, dando como resultado reducir la actividad respiratoria del producto, debido a los cambios en la concentración de O₂ y CO₂, consiguiendo incrementar considerablemente la vida útil del fruto. Sin embargo se ha reportado que pueden presentar efectos nocivos cuando existen cambios en la concentración de dichos gases, como es el desarrollo de sabores indeseables y pérdidas en el color (Kittur, 2001; Srinivasa, 2002).

Otro método alternativo para extender la vida de anaquel de un alimento y mejorar su calidad es a través del uso de recubrimientos y películas comestibles. El interés por el desarrollo de películas comestibles, se debe a las exigencias de reducir las consecuencias ambientales del abuso de envases sintéticos para el empaqueo y distribución del alimento; los materiales de empaque de biopolímeros pueden contribuir a la reducción del uso de fuentes no renovables y disminuir los desechos a través de reciclado biológico con biosistemas (Srinivasa, 2002). En el caso de frutas y hortalizas las películas y los recubrimientos se aplican sobre la superficie y su función es restringir la pérdida de humedad del alimento sobre el ambiente, reducir la absorción de oxígeno y reducir la actividad respiratoria. Estas cubiertas también pueden ofrecer alguna protección física, puesto que el producto es susceptible a daños físicos durante su transporte y comercialización. La aplicación de los recubrimientos eficaces permite una ventaja económica dado el elevado costo asociado con el equipo en el almacenamiento en atmósferas controladas; ya que permite tener el control respiratorio del producto durante su distribución en los diferentes puntos de comercialización lo cual no se hace con las cámaras de atmósferas controladas (Bosquez,2000; McHugh,2000).

El quitosán es considerado como una alternativa para la formación de películas y recubrimientos comestibles, las cuales pueden modificar la atmósfera interna, reduciendo la cinética de procesos biológicos vitales de los tejidos vegetales como la tasa de transpiración y respiración, debido ha que los recubrimientos de quitosán logran obtener excelentes propiedades como barrera de oxígeno, vapor de agua y otros gases, logrando con ello aumentar la vida de anaquel del producto (Carner, 1998; El Ghaouth, 1991). Las cubiertas de quitosán son claras y flexibles, poseen propiedades antimicrobianas y pueden mejorar la apariencia del alimento (Krochta, 1999; Romanazzi, 2002; Muzzarelli, 2003). Se ha reportado la aplicación de quitosán en tratamientos postcosecha sobre frutos y hortalizas frescas, tal es el caso de fresas, manzanas y aguacates, obteniendo como resultado protección del alimento de un deterioro fúngico, disminución en los niveles de respiración y retraso de la maduración debido a la reducción de la evolución de etileno y dióxido de carbono (Leyva,2004; Salvador, 1997).

Dado que cada fruto tiene diferentes patrones de respiración, los recubrimientos de quitosán se tienen que diseñar acorde a estos patrones y acorde también a los microorganismos patógenos que los atacan. El presente trabajo plantea evaluar el efecto de dos tipos de recubrimiento de quitosán sobre parámetros físicos, químicos y fisiológicos en mangos *Mangifera L. Indica* variedad Manila almacenados a temperatura ambiente

1.0. GENERALIDADES DEL MANGO

1.1. Historia

Los historiadores creyeron por muchos años que el mango tuvo su origen en la India y fue expandido al sureste de Asia, desde ahí al nuevo Mundo y Africa. Sin embargo, es posible que el mango sea nativo del sur de Asia o del Archipiélago de Malayo, en donde se encuentran distribuidas una multitud de variedades cultivadas en ambos países desde épocas antiguas (Mukherjee,2000).

El árbol de mango fue llevado a Indochina por el siglo XIII, no fue sino hasta fines del siglo XIV y principio del siglo XV que los viajeros españoles llevaron la fruta desde la India hasta Manila. En la India, el árbol de mango ha sido objeto de gran veneración, es un símbolo importante de cultura y religión (Salunkhe,2000).

Mientras tanto, los portugueses transportaron el mango desde sus colonias en India hacia el sur de África. En el siglo XVI los portugueses llevaron el fruto desde sus colonias en Africa hacia Brasil y unos 40 años después a la Isla de Barbados. También el mundo occidental se relacionó con el mango, por los portugueses, con la apertura de las rutas marítimas hacia el Lejano Oriente, a principios del siglo XVI (Mukherjee,2000).

En México la introducción del mango se inició en 1779, cuando el mango variedad Manila fue introducido por los españoles al puerto de Acapulco, proveniente de Filipinas. Posteriormente se trajeron otras variedades por antillas a las costas del golfo de México y de allí se extendió a todas las regiones del país que poseen condiciones ambientales para su desarrollo (Correa,2002).

1.2. Taxonomía

El género *Mangifera* es el miembro más importante de la familia de las *Anacardiaceae* o familia del marañón. La mayoría de las especies de la familia de las *Anacardiaceae* se caracterizan por tener pequeños frutos con abundante fibra y sustancias astringentes de resina, que son localizadas cerca de la piel, muchos son famosos por su savia irritante y venenosa, que puede ocasionar dermatitis severa. El género *Mangifera* comprende más o menos 50 especies nativas del sureste de Asia o de las islas circundantes; estas especies pueden ser de un valor potencial, se utilizan para fines de mejoramiento ya que se aprovecha su madera, resinas, ceras y gomas. La mayoría de estas no son comestibles solo 3 ó 4 especies del grupo producen frutos comestibles (Mukherjee,2000 ; Salunkhe,2000).

Clasificación	
Reino	<i>Vegetal</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Orden	<i>Sapindale</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especies	<i>M. indica L.</i>



Figura no. 1. Frutos de mango variedad Manila

Tabla no. 1. Clasificación de *Mangifera species* (1993)

Fuente: Mukherjee. The Mango (2000).

1.3. Descripción botánica

El árbol de mango posee hojas perennes, puede medir hasta 40 m de altura en los trópicos, pero en los subtrópicos no supera los 10 m. El sistema radicular bien desarrollado profundiza entre 6 y 8 m y lateralmente las raíces pueden extenderse hasta 10 m a partir del tronco del árbol. Las inflorescencias se originan principalmente a partir de la yema terminal, pero también se produce una emisión de inflorescencias axiliares. El color de la inflorescencia así como el de la flor es también característico de cada cultivar. La polinización del mango es esencialmente entomófila, siendo los insectos los principales polinizadores, señalándose a la mosca casera como un importante polinizador (Mukherjee,2000 ; Salunkhe,2000).

El fruto del mango es una drupa grande y carnosa, su mesocarpio puede ser con pocas a escasas fibras y contiene una semilla pequeña en relación al tamaño de la fruta. La cáscara del fruto es cerosa y de un grosor variable, presenta pequeñas glándulas circulares conocidas como lenticelas. La semilla está encerrada en un endocarpio duro y fibroso, ésta puede contener uno o más embriones. Los mangos llamados de tipo Indio (de la India) son monoembriónicos y de éstos derivan la mayoría de las variedades comerciales. Los mangos poliembriónicos se utilizan normalmente como patrones (Salunkhe,2000; Correa, 2002).

Posee una fragancia inconfundible y penetrante, su sabor es único y distinto a otras frutas. El color del fruto, al momento de la madurez, varía de verde amarillo verdoso a amarillo anaranjado. En otros cultivares el color va de tonos rojizos, a modo de chapas, o completamente rojo. Por otra parte, la pulpa es anaranjada amarillenta, jugosa, suave, fresca y dulce. Los frutos del mango tienen formas que van desde redondos hasta ovoides, arriñonados y a veces aplanados lateralmente. Su peso va desde 200 g hasta 2 kg según la variedad y miden de 6 a 25 cm de largo (Mukherjee,2000).

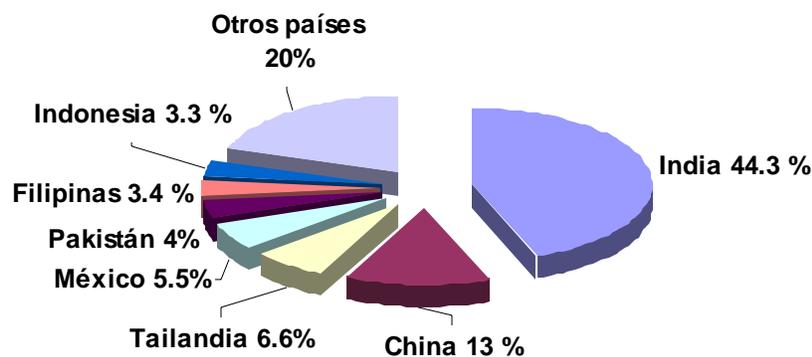
1.4. Aspectos socioeconómicos

La producción de mango se ha ido incrementando significativamente en los últimos años, así como, el mercado exportador que es lucrativo pero muy selectivo en términos de calidad.

1.4.1. Producción mundial

Asia es el continente que en la actualidad concentra el 77% de la producción mundial, seguido de América y África con 13% y 10%, respectivamente. Los principales países productores son: la India que ocupa el primer lugar a nivel mundial, con una participación del 44.3 % y cuya principal variedad es la *Alphonso*; éste destina el 1% de su producción al comercio en forma de procesados, néctares, jugos o pulpa (FAO. Faostat , 2005).

El segundo lugar lo ocupa China con un 13% , la principal variedad que produce es la *Totapourí* y destina la mayor parte de su producción al consumo interno. México es el mayor productor de mango de América, aunque cabe señalar que ha registrado una tendencia decreciente de 0.4% en los últimos cinco años, pasando de ser el tercer productor del mundo desde 1997 a 2001, a ocupar el cuarto lugar con una participación 5.5 % del total mundial, en el año 2004 (ver gráfica no. 1).



Gráfica no.1. Principales países productores de mango en el 2004

Fuente:FAO/ Faostat (2005).

1.4.2. Producción nacional

México es en la actualidad el cuarto país productor de mango y el mayor exportador a nivel mundial (1.3 millones de toneladas en 2003). Sin embargo, tan sólo el 13,8% de lo que produce lo dedica a la comercialización internacional en fresco y el restante 86,2% lo consume internamente (SIAP, SAGARPA,2004).

En México las cuatro principales regiones productoras son: noreste, centro y sureste del Pacífico así como la costa del Golfo de México. Los principales estados productores son: Chiapas que participa con 10.78% de la producción total, Guerrero 14.48%, Nayarit 17.78%, Oaxaca 12.33%, Sinaloa 14.80% y Veracruz 12.35%; la superficie plantada de mango fue en promedio de 170 mil hectáreas en el 2003 (ver tabla no. 2).

PRODUCCIÓN NACIONAL DE MANGO CICLO PRIMAVERA VERANO 2003			
ESTADO	SUPERFICIE HA		PRODUCCIÓN TON
	SEMBRADA	COSECHADA	
Campeche	2,825	2,379	26,836
Chiapas	21,677	21,323	145,270
Colima	4,266	3,876	54,243
Guerrero	21,112	19,955	195,218
Jalisco	5,361	4,610	42,991
Edo, México	592	592	5,833
Michoacán	23,941	20,489	95,030
Morelos	567	560	6,850
Nayarit	23,083	22,204	239,660
Oaxaca	17,935	16,974	166,155
Sinaloa	21,305	21,000	199,451
Tamaulipas	1,095	1,095	3,338
Veracruz	27,368	26,370	166,428
TOTAL	171,127	161,427	1,347,303

Tabla no. 2. Producción nacional de mango, ciclo primavera –verano (2003)

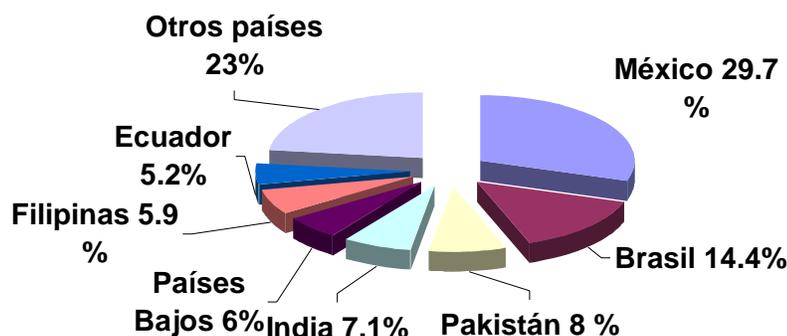
Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA (2004)

En nuestro país se producen diversas variedades *Tommy Atkins, Haden, Manila, Kent, Keitt, Manzanillo Nuñez, Aaulfo, Irwin y Diplomático*, entre las cuales destacan por sus altos volúmenes de producción las variedades *Manila* y *Aaulfo*. Los principales estados productores de mango *Manila* son: Veracruz, Sinaloa y Nayarit; mientras que los estados que sobresalen en la producción de mango *Aaulfo* son: Chiapas, Oaxaca y Guerrero (siap. sagarpa, 2004).

El estado de Veracruz ocupa el primer lugar en la producción de mango y dispone alrededor del 85% de su superficie a cultivar la variedad *Manila* (Guzmán y cols,1998).

1.4.3. Volumen de exportaciones

México el principal país exportador del mundo con una participación del 29.7% en las exportaciones mundiales. Nuestro país destinan sus exportaciones a los mercados de Estados Unidos (86%), Canadá (7.5%), Europa (3.2%) y Japón (1.85%). Siendo los principales estados exportadores de la República Mexicana Michoacán, Sinaloa y Nayarit. México, siendo el primer exportador mundial de mango, vendió al exterior más de 130 millones de dólares en el 2004, principalmente a Estados Unidos (Fao.faostat,2004).



Gráfica no. 2. Principales países exportadores de mango en el 2003

Fuente: FAO/Faostat (2004)

El mango Manila, de sabor delicado, cáscara amarilla y muy jugoso, es considerado el menor de México. Pero hasta ahora representa menos del 1% de las exportaciones de mango mexicano. El mango Manila también es muy frágil y dura poco en el transporte, lo que dificulta su exportación (SIAP. SAGARPA, 2005).

1.5. Composición química y nutricional

La composición química del mango varía de acuerdo a la variedad y grado de madurez. El mango contiene aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos, minerales, ácidos orgánicos, proteínas y vitaminas. Los principales azúcares en el mangos son la fructosa, glucosa y la sacarosa. La sacarosa es el principal azúcar en el mango maduro, su contenido representa 15-20% del total de los sólidos solubles (Mukherjee,2000).

Composición Química del mango	
Componente	g /100g
Agua	82
Proteína	0.60
Grasa	0.45
Carbohidratos	12.5
Fibra Bruta	1.70
Minerales	0.50



Figura no. 2. Frutos de mangos

Tabla no. 3. Composición química del mango

Fuente:Souci, S, Fachmann W. Food composition and nutrition tables. (2000)

Durante el proceso de maduración, el mango es inicialmente ácido, astringente y rico en ácido ascórbico (vitamina C). Mangos maduros contienen niveles moderados de vitamina C, pero son ricos en vitamina A, B1, B2. Los ácidos orgánicos presentes son principalmente el ácido málico y el cítrico. También se encuentran en cantidades pequeñas el ácido tartárico, oxálico y glicólico (Mukherjee, 2000; Salunkhe, 2000).

Contenido nutricional del mango	
Fósforo (mg)	14
Calcio (mg)	10
Hierro (mg)	0.4
Potasio (mg)	170
Sodio (mg)	10
Vitaminas	
Niacina (mg)	0.04
Tiamina (mg)	0.04
Riboflavina (mg)	0.07
Vitamina C (mg)	37
Vitamina A (U.I.)	1100

Tabla no. 4. Contenido nutricional del mango

Fuente: Souci, S, Fachmann W. Food composition and nutrition tables. (2000).

1.6. Cambios post cosecha

La mayoría de los frutos pueden madurar sobre la planta o una vez que son recolectados, en este período se producen cambios metabólicos importantes que determinan las características finales de color, sabor, aroma y textura. Es por ello, que el proceso de maduración es de suma importancia para determinar el manejo que debe darse al fruto con el objeto de prevenir en el mayor grado pérdidas post cosecha y controlar su vida útil después que ha sido recolectado (Cheftel,1992).

1.6.1. Cambios bioquímicos durante la maduración

Entre las principales reacciones bioquímicas de la maduración se encuentran las modificaciones de los constituyentes glucídicos. En general, hay un aumento en el contenido de la sacarosa y de azúcares reductores, coincidiendo con la hidrólisis del almidón. Después de alcanzar un máximo, el contenido en azúcares reductores apenas varía, mientras que el de sacarosa disminuye sensiblemente (Primo,1998).

Los ácidos, sobre todo el málico y el cítrico van disminuyendo conforme transcurre la maduración así como los constituyentes fenólicos astringentes. Es por esta razón que la acidez y el sabor astringente desaparecen, dando lugar al sabor suave característico de los frutos maduros (Herrero,1992).

La textura de los frutos depende en gran parte de las sustancias pécticas que contiene, las variaciones en la consistencia son debidas a la disminución del contenido de protopectina insoluble, que se transforma en pectina soluble. Estos cambios afectan a las paredes celulares y motivan un ablandamiento, algunas veces excesivo de los frutos (Cheftel,1992).

Los pigmentos también sufren modificaciones, el cambio de verde a amarillo o a rojo, corresponde al desenmascaramiento de los pigmentos carotenoides, debido a la destrucción de la clorofila. Al mismo tiempo hay frecuentemente una síntesis de carotenoides o de pigmentos antocianos. Durante el almacenamiento la síntesis de carotenoides puede proseguir, sin embargo, al mismo tiempo son destruidos progresivamente por oxidación especialmente por la luz (Cheftel,1992).

Durante la maduración se sintetizan un gran número de compuestos orgánicos volátiles, que en parte, son responsables del aroma de los frutos, y esta síntesis se acelera durante el climaterio; al final de este período es cuando aparece la plenitud del aroma(Primo,1998).

Los frutos, una vez alcanzada la madurez, están muy expuestos al deterioro, debido a enfermedades fisiológicas o al ataque de microorganismos. Al estado de madurez óptimo (desde el punto de vista organoléptico) sigue inmediatamente la desorganización y senectud de los tejidos; ablandamiento excesivo y/o pardeamiento enzimático (Cheftel,1992).

1.6.2. Respiración

La actividad respiratoria está asociada con la velocidad con la que se está llevando a cabo el proceso de maduración y por tanto, se considera un indicativo de la vida del producto. Los cambios bioquímicos asociados con el proceso de maduración, requieren de la energía proporcionada por la respiración, sobre todo cuando ocurre después de que el fruto ha sido recolectado de la planta, pues finaliza el intercambio de agua y nutrientes (Wills, 1999).

La respiración de los frutos se lleva a cabo con la total descomposición del carbohidrato, para formar los óxidos simples, CO_2 y H_2O en presencia de oxígeno, para la producción de ATP, la forma en que la célula utiliza y almacena energía. En general, los polisacáridos se degradan a hexosas o pentosas las cuales son los principales combustibles biológicos, que pasan a la siguiente etapa llamada glucólisis y posteriormente al ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarbónicos, en donde el ácido pirúvico se oxida y se degrada en una serie de reacciones de carácter cíclico, obteniendo como productos finales el CO_2 , agua y, por supuesto energía. Esta energía es utilizada en su mayoría para los procesos metabólicos del fruto y la energía que no se consume es liberada en forma de calor (Berk,1986).

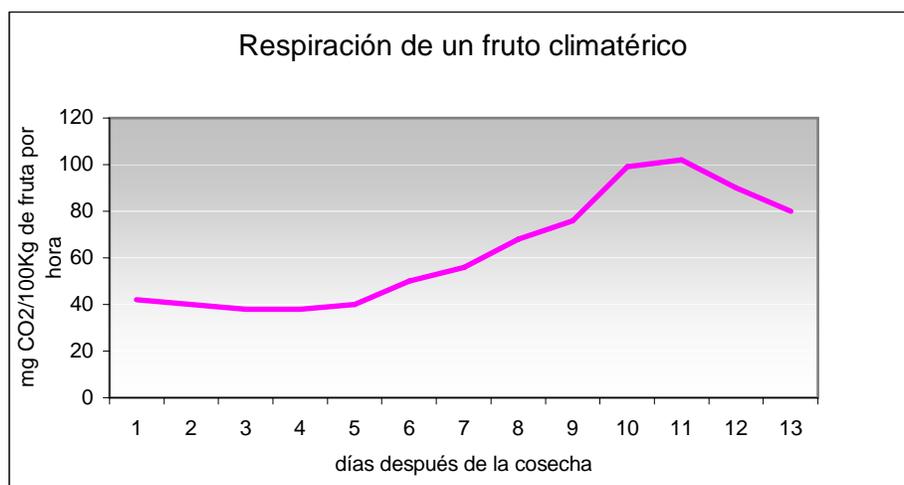
La intensidad respiratoria de un fruto sirve como indicativo para su conservación después de que éste es recolectado. Se mide en kilogramos de CO_2 desprendido por kilogramo del fruto en un intervalo de tiempo; valores elevados indican una vida corta en el almacenamiento (Primo,1997).

1.6.2.1. Patrón climaterico

La respiración no siempre se realiza a la misma intensidad, exhibiendo un ritmo bastante irregular en el transcurso de la vida de un fruto. En algunos frutos la intensidad respiratoria cae a un mínimo, para luego crecer velozmente hasta alcanzar un máximo, conocido como pico climaterico, después del cual disminuye de nuevo marcando con ello el comienzo de la senescencia. Los frutos que presentan este proceso respiratorio se les denomina climatericos y generalmente son recolectado antes de la maduración; son frutos climatericos la manzana, pera, durazno, plátano, tomate, mango, aguacate, entre otros (Berk,1986).

El climaterio es el período, en la vida de ciertos frutos, durante el cual se inicia una serie de cambios bioquímicos por la producción de etileno, que llevan consigo un aumento en la respiración y conducen a la maduración. El etileno, producido por el propio fruto, es una hormona vegetal que acelera los cambios metabólicos. En general, este proceso coincide con las principales modificaciones de color, textura, sabor y aroma característicos de la maduración (Primo,1998).

La calidad óptima del fruto se alcanza en un intervalo de tiempo corto, alrededor del pico climaterico; en frutos que permanecen en el árbol este proceso es más lento y son de mejor calidad, pero se recolectan antes, para evitar pérdidas que se producirían en el almacenamiento, distribución y comercialización (Primo,1998).



Gráfica no. 3. Curva típica de respiración climaterica posterior a la cosecha de las frutas

Fuente: Arthey. Procesado de frutas(1997).

1.7. Enfermedades

1.7.1. Antracnosis

Se trata de una de las enfermedades que causan graves daños postcosecha en todas las zonas productoras de mango y está asociada con regiones en donde se presenta alta humedad, sin embargo no tiene incidencia en climas secos. Es producida por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, afectando a hojas, flores y sus pedúnculos. Los frutos jóvenes también pueden ser infectados, quedando destruidos antes de llegar a la madurez.

Síntomas: el crecimiento del patógeno se reanuda solo después de la cosecha cuando el fruto comienza a madurar presentando manchas irregulares negras que les darán mal aspecto y dificultarán su conservación. En el fruto las lesiones pueden desarrollarse sobre cualquier parte de la superficie, pero a menudo aparecen alrededor del pedúnculo del fruto; estas lesiones son inicialmente superficiales pero eventualmente forma depresiones invadiendo la pulpa del fruto. Se controla de manera eficaz con el tratamiento de inmersión en agua caliente o bien, en agua caliente añadiendo fungicidas (Mukherjee,2000).

1.7.2. Mancha negra

Es una enfermedad postcosecha, aunque a veces puede causar problemas a las hojas, flores y frutos causados por el hongo *Alternaria alternata*.

Síntomas: en frutos se desarrolla una vez que ha sido recolectado, al comienzo de la maduración; el patógeno penetra a través de las lenticelas. Inicialmente se presenta con la aparición de pequeñas manchas circulares a continuación estas manchas se agrandan y dan lugar a una mancha única que llega a cubrir la mitad del fruto. La enfermedad progresa y las manchas penetran en la pulpa que se oscurece y ablanda. El tratamiento de postrecolección es la aplicación de un fungicida como Procloraz aplicado como lavado durante 15 segundos después de la inmersión en agua caliente (Mukherjee,2000).

1.7.3. Pudrición de la base del fruto o muerte negra

Esta enfermedad se puede presentar cuando los niveles de antracnosis son reducidos por control precosecha o factores climatéricos. La infección es causada por *Lasioidplodia theobromae* y *Dohiorella spp.*

Síntomas: se desarrolla en el almacenaje de frutos maduros, se presentan manchas oscuras sobre la piel alrededor de la base del pedúnculo, estas lesiones se alargan rápidamente para formar manchas circulares negras provocando áreas de tejido hundidas las cuales pueden extenderse sobre todo el fruto dentro de pocos días si prevalecen condiciones ambientales favorables. Se controlan de manera eficaz con el tratamiento de inmersión en agua caliente añadiéndole a esta Benomilo a dosis de 500-1000 ppm a una temperatura de 50°C, aunque sólo será válido en aquellos países donde se permita la aplicación de este fungicida (Mukherjee,2000, Salunkhe,2000).

1.7.4. Pudrición por hongo negro

Es causada por *Aspergillus niger v. Tieghem*

Síntomas: manchas de color gris o café pálido pueden formarse en cualquier parte de la superficie del fruto, las cuales después tornan a lesiones de color café o negro provocando áreas hundidas y suaves. El tratamiento post cosecha también consiste en la inmersión en agua caliente incorporando un fungicida (Mukherjee,2000).

1.7.5. Mancha negra bacteriana

Se encuentra localizada en numerosos países cultivadores de mango, esta enfermedad afecta a hojas, pedúnculo y fruto. Está causada por la bacteria *Xanthomonas campestris*.

Síntomas: en frutos las lesiones se desarrollan como áreas hundidas alrededor de las lenticelas o heridas y rápidamente llegan a ser grietas en la superficie del fruto.

Tratamiento: inmersión del fruto en soluciones bactericidas (Mukherjee,2000; Salunkhe,2000).

1.7.6. Mosca de la fruta

Son grandes enemigos del mango, como la mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*), extendida en las plantaciones de todo el mundo, y varias especies del género *Anastrepha* en Centroamérica, pues casi todos los países productores de mango son atacados por una o más especies de moscas de la fruta.

Las hembras depositan los huevos en la pulpa del fruto dando lugar la maduración prematura del fruto originando su pudrición. Para su control resulta efectivo el empleo de trampas para la captura de adultos utilizando como atrayente feromonas sintéticas. Para el control químico se emplean diversos insecticidas sin empleo de cebo. En algunos países como Japón, Chile, E.U.A y Nueva Zelanda exigen la aplicación de un tratamiento hidrotérmico para el control de la mosca de la fruta como requisito indispensable para permitir la entrada de mangos en estos países. Este consiste en el tratamiento con agua a 46 °C durante 75 para frutos de un peso menor a 375g. El tratamiento hidrotérmico asegura el 100% de mortalidad de larvas de la mosca de la fruta. Aunque también son admitidas otras alternativas como el tratamiento por vapor caliente y la irradiación (Mukherjee,2000).

1.8. CONSERVACION DEL MANGO

La respiración de un fruto después de ser cosechado constituye un factor limitante para su conservación en estado fresco. Es importante que los frutos durante su almacenamiento tengan oxígeno a su disposición, bajos niveles de oxígeno pueden originar condiciones de anaerobiosis y la formación de etanol tóxico para los tejidos, que resulta desagradable. La respiración origina desprendimiento de calor, que conviene eliminar, ya que un aumento de temperatura aceleraría diversos fenómenos y por tanto el deterioro. La ventilación de los almacenes permite atenuar algunos de los efectos de la respiración, no obstante, con la finalidad de no provocar una evaporación demasiado rápida del contenido de agua del fruto , se mantiene la humedad relativa del aire entre 85-95% (Cheftel,1992).

Los mangos, como muchas otras frutas tropicales y subtropicales, se dañan por las bajas temperaturas durante el almacenaje. Las bajas temperaturas originan el desorden fisiológico conocido como daño por frío, el cual se manifiesta en el mango como manchas superficiales, decoloración, áreas reblandecidas, maduración incompleta o desigual, pérdida de sabor y debilitamiento de los tejidos, por lo que existe una mayor susceptibilidad al ataque por patógenos (Wills,1999) .

La temperatura de tránsito recomendada varía según las áreas de producción entre 10°C – 13°C, el riesgo de daño por frío aumenta por debajo de esta temperatura. A 13°C el proceso de maduración no se detiene completamente y el período de almacenaje se reduce. Como con casi todas las frutas, la atmósfera controlada, la eliminación de etileno o el sellado de frutas individuales en bolsas de plástico de permeabilidad controlada, alargan el período de almacenamiento. Largos almacenajes, especialmente a bajas temperaturas disminuyen el contenido de azúcar y ácido de las frutas (Srinivasa y cols,2002).

Mangos recién recogidos, almacenados a 18-22°C alcanzan el estado blando comestible en 8-10 días. Si son recolectados maduros mantienen buenas condiciones durante cinco días a temperatura ambiente (20°C-25°C); cosechados bajo las mismas circunstancias, se conservan diez días sin estropearse a temperaturas de 8°C. Pero si se recoge en el momento oportuno, que es cuando aún está verde, pero tienen ya el tamaño adecuado, con un peso aproximado de 175 a 250 gramos, se mantienen las buenas cualidades del mango hasta 27 días, si se somete a temperaturas de 8 °C (Mukherjee,2000).

Las técnicas actuales sobre conservación post cosecha de mango tienden al control conjunto de la humedad (>95%), aire caliente (T^a entre 47-49° C) y tratamientos fungicidas en momentos puntuales para minimizar los daños causados por plagas y enfermedades. Algunos ensayos para controlar los ataques de insectos sobre mangos almacenados indican que la utilización de insecticidas en atmósferas con bajos niveles de oxígeno controlan muy bien estas plagas sin modificar las características organolépticas de los frutos y la aplicación de sustancias orgánicas sobre los mismos, *Colletotrichum gloeosporioides* es el patógeno post cosecha más importante en el mango.

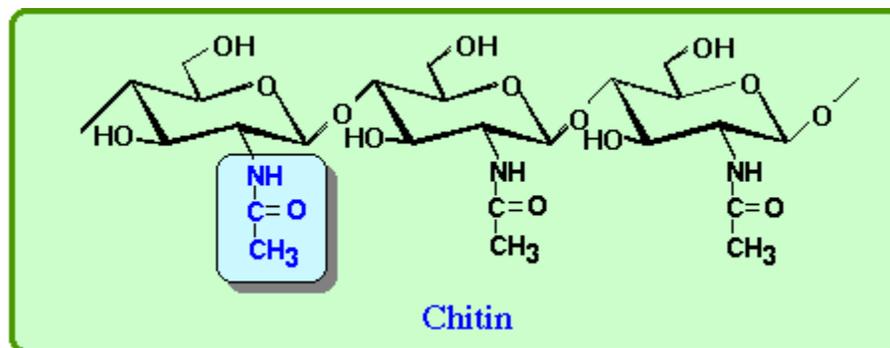
Algunos de los estudios sobre el cultivo del mango se destinan a minimizar los daños post cosecha causados por este hongo. A este respecto cabe señalar la utilización del control biológico del patógeno con otros microorganismos (*Pseudomonas fluorescens*) (Salunkhe,2000).

La conservación se mejora si los frutos son sometidos a un pre-tratamiento por calor, a 38°C, antes de su almacenamiento a bajas temperaturas (5°C). En caso contrario desarrollan daños por bajas temperaturas (Zambrano,2000)

2.0. GENERALIDADES DE LA QUITINA Y DEL QUITOSAN

2.1. Quitina, estructura y características

La quitina, el segundo biopolímero más abundante y naturalmente disponible después de la celulosa, es encontrado en el exoesqueleto de crustáceos, en paredes celulares de hongos y otros materiales biológicos. La quitina es un copolímero lineal compuesto aproximadamente de 70-90 % de unidades de N- acetil glucosamina y 10-30% de unidades de D-glucosamina (Skjakbtaek y cols, 1988). Su estructura química se describe como β -(1-4)-2-acetamido-2-deoxi-D-glucosa (ver figura no.).



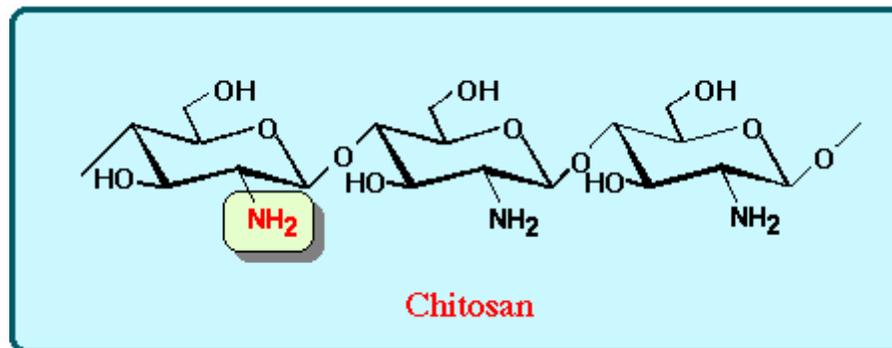
Fuente: Torres y cols (1999).

Figura no 3. Estructura de la quitina que muestra el grupo acetoamido- NHCOCH_3

La quitina es un polisacárido protéico, de alto peso molecular y de estructura micelar de cadenas orientadas paralelamente. En estado puro la quitina es un material blanco, amorfo e insoluble en agua, ácidos diluidos, álcalis (diluidos y concentrados), alcohol y en todos los disolventes orgánicos; es soluble en ácidos minerales concentrados (Becerra, 2001).

2.2. Quitosán, estructura y características

El quitosán es un polisacárido natural catiónico de alto peso molecular, no tóxico y biodegradable, ha sido aprobado como un ingrediente alimenticio. Está compuesto de unidades β (1-4)- acetamino D-glucosa y β (1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucosa ; es obtenido de la quitina natural, después de la desacetilación por tratamiento alcalino (Krochta, 1997; Caner, 1998).



Fuente: Torres y cols (1999).

Figura no 4. Estructura del quitosán que muestra al grupo amino formado por la desacetilación química o enzimática de la quitina.

2.3. Propiedades Funcionales

La quitina y el quitosán tienen características tales como, biodegradabilidad y bioactividad, por lo que estos materiales pueden emplearse en la industria de alimentos ya que además poseen diferentes propiedades funcionales tales como: regulador de formación de cristales de hielo en alimentos congelados, agente espesante, texturizante, quelante, emulsificante; por lo que se pueden emplear en diferentes productos entre los cuales se encuentran los aderezos, salsas, bebidas, embutidos, gelatinas y productos lácteos (Becerra, 2001).

La propiedad coagulante o quelante de la quitina y el quitosán dada por su naturaleza policatiónica hacen de estos polímeros un producto ideal para la separación de coloides y partículas suspendidas que se generan durante la elaboración de ciertos alimentos. Los sólidos suspendidos recuperados como un complejo proteína quitosán precipitan y pueden usarse en suplementos alimentarios para animales (Becerra, 2001).

El quitosán ha sido considerado como una alternativa para la formación de películas y recubrimientos comestibles, las cuales pueden modificar la atmósfera interna, reduciendo la cinética de procesos biológicos vitales de los tejidos vegetales como la tasa de transpiración y respiración, debido a que éstas logran obtener excelentes propiedades como barrera de oxígeno, vapor de agua y otros gases, logrando con ello aumentar la vida de anaquel del producto(Carner, 1998; El Ghaouth,1991).

Las cubiertas de quitosán son claras y flexibles, poseen propiedades antifungales y pueden mejorar la apariencia del alimento. Estas pueden ser formadas a partir de soluciones acuosas, sin embargo el ácido acético a menudo ha sido utilizado como solvente para la producción de películas de quitosán. 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. Sin embargo las películas a base de quitosán ofrecen baja resistencia a la transmisión de agua debido a su alta hidrofiliidad, 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) (Butler y cols,1996). Por consiguiente, se han incorporado materiales grasos con el fin de proveer hidrofobicidad e incrementar la resistencia a la transmisión de agua (Krochta y cols, 1997).

El uso del quitosán para el control de enfermedades fúngicas postcosecha, ha atraído mucho la atención debido a los problemas asociados con agentes químicos, así como por el incremento de agentes patógenos postcosecha tolerantes a fungicidas. El quitosán reduce in vitro el crecimiento de un gran número de hongos con excepción de Zygomycetes; pues este hongo contiene quitosán como un mayor componente en la pared celular (Muzzarelli y cols, 2003).

2.4. Quitina y quitosán como agentes antimicrobianos y antibacterianos

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, en especial cuando los oligómeros de 7 unidades de quitosán inhiben el crecimiento de los hongos (Hadwiger,1985; Leuba,1985). En las plantas se induce la expresión de genes, ya que se detectó un aumento en la producción de proteínas y enzimas, además de que se incrementan los compuestos fenólicos asociados a la pared induciendo cambios en la permeabilidad de la membrana (Hadwiger,1985; Leuba,1985).

Sin embargo no todos los hongos se ven inhibidos de igual manera ya que esto depende de su composición, así el crecimiento del hongo en presencia de quitosán, teniendo a éste como mayor componente, no se inhibe ya que parecen tener mecanismos de eliminación o degradación (Hadwiger y cols,1984). Algunas especies de *Fusarium* pueden incluso regular sus niveles de quitosán, ya que al eliminar el exceso de quitosán del medio reanudan su crecimiento (Leuba y cols, 1985).

Se ha postulado que cuando el quitosán se libera de la pared celular de patógenos fungales, debido a la acción de enzimas hidrolíticas de la planta hospedera, éste alcanza el núcleo del hongo e interfiere con la síntesis de proteína y RNAm.

La actividad antimicrobiana del quitosán depende de varios factores; tal como el grado de desacetilación, el peso molecular, el pH del medio, la temperatura, la presencia de varios componentes del alimento. El mecanismo de la actividad antimicrobiana no se ha aclarado completamente todavía, pero se han postulado varias hipótesis. La hipótesis más factible es un cambio en la permeabilidad de la célula debido a las interacciones entre el quitosán policatiónico y las cargas electronegativas en las superficies de la célula. Esta interacción conduce a la salida de electrolitos intracelulares y de componentes proteicos. Consecuentemente, el quitosán inhibe el metabolismo normal de microorganismos y finalmente conduce a la muerte de estas células (Devlieghere, 2001).

La quitina y quitosán tienen actividad antimicrobiana contra bacterias y levaduras. Se ha examinado la actividad anti-bacteriana en bacterias gram+ y gram-. Se encontro que el quitosán en las bacterias gram+ (como el *Staphylococcus aureus*) tiene mayor efecto inhibitorio que en las bacterias gram – (*Escherichia coli*, *Salmonella* y *Vibrio parahemoliticum*), donde el quitosán inhibió el crecimiento de la mayoría de las bacterías probadas. Esta inhibición depende del grado de desatilación y del tipo de bacteria (No,2000).El quitosán también tiene actividad bactericida, ya que junto con otras poliaminas interactúa con la membrana celular para alterar la permeabilidad de la misma.

2.5. Aplicación en alimentos

El quitosán está comercialmente disponible y ha sido empleado en una variedad de aplicaciones, por ejemplo: se ha aplicado en tratamientos postcosecha recubriendo frutas y hortalizas frescas.

En fresa el quitosán reduce el crecimiento de *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, así como, los niveles de respiración con un gran efecto a altas concentraciones. Signos de infección en fresas recubiertas con quitosán aparecen después de 5 días de almacenamiento a 13°C comparadas con un día en los testigos. El recubrimiento de quitosán al 1.5% reduce el deterioro causado por los mismos hongos por más del 60%, el fruto recubierto madura normalmente y no muestra ningún signo de fitotoxicidad fresas después de 14 días de almacenamiento. Los recubrimientos de quitosán reducen la incidencia de mohos sobre manzanas por un periodo mayor a 12 semanas. En fresas y manzanas recubiertas con quitosán ha ayudado a prolongar su vida útil, a controlar su maduración y a protegerlas contra el deterioro fúngico (El Ghaouth, 1991; Muzzarelli 2003).

Se han reportado la aplicación de películas de quitosán para alargar la vida de anaquel y mejorar el control de la maduración de duraznos, peras y kiwis. Estos resultados puede ser atribuidos a la disminución en los niveles de respiración, inhibición del desarrollo fúngico y al retraso de la maduración debido a la reducción de la evolución de etileno y dióxido de carbono (Muzzarelli y cols, 2003).

Se logro obtener con el recubrimiento de quitosán en aguacate en conjunto con la refrigeración a 3 – 10°C, 24 días de vida útil del fruto y un porcentaje de afección menor que en el testigo, en comparación de la combinación del recubrimiento y la temperatura de 27 – 29°C que sólo obtuvieron 6 días de vida (Salvador, 1999).

Tratamientos pre y postcosecha con quitosán para el control de *Botrytis cinerea* en uvas han tenido efectividad. Uvas sumergidas en soluciones de quitosán e inoculadas con el patógeno muestran una reducción de la infección en comparación con el control. Altas concentraciones de quitosán desmostraron una gran reducción del deterioro de las uvas. Además uvas tratadas con quitosán al 1% muestran un incremento significativo de la actividad de la fenilalanina amonio-liasas, así como actividad contra *B. cinerea* contribuyendo a la reducción del deterioro del fruto (Romanazzi,2002; Muzzarelli 2003).

Se ha estudiado el efecto de la película de quitosán sobre el oscurecimiento enzimático en litchi. Se ha reportado que la película de quitosán retarda cambios en el contenido de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos; así como, retraso en el incremento en la actividad de la polifenol oxidasa responsable del oscurecimiento en frutos y hortalizas, y parcialmente inhibe el incremento en la actividad de la peroxidasa. En el procesamiento de jugos de frutas, el quitosán se ha utilizado como agente para el control de la acidificación y en la clarificación(Muzzarelli y cols; 2003).

3.0. GENERALIDADES DE LAS PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

3.1. Definición

Un método para extender la vida de anaquel de un alimento y mejorar su calidad es a través del uso de recubrimientos y películas comestibles. Un recubrimiento comestible es definido como una capa delgada de material comestible formado directamente sobre un alimento, éstos son aplicados en forma de líquido sobre el alimento por inmersión, aspersión o goteo. Mientras que una película comestible es una capa delgada preformada de material comestible colocada sobre o entre los componentes de un producto, éstas son preformadas dentro de hoja sólida y después colocadas (McHugh, 2000; Krochta 1997).

3.2. Propiedades

En general las películas o recubrimientos comestibles tienen la capacidad de actuar como barrera a la migración de humedad, O₂, CO₂, aromas, sabores, y lípidos; poseen la capacidad de mejorar la integridad estructural de productos frágiles o las propiedades de manejo mecánico del alimento, es por ello que pueden servir como empaque, si dichas propiedades son adecuadas y las condiciones de sanidad prevalecen durante su almacenamiento, transportación y comercialización. Ayudan a mantener la calidad de los alimentos después de que su empaque es abierto, pues estas sirven para estabilizar los gradientes de actividad de agua, protegiéndolo contra la pérdida o ganancia de humedad y pérdida de aromas. Pueden emplearse como barrera a gases y vapor de agua, pueden separar componentes de actividad de agua muy diferentes, ayudando a conservar las diferentes propiedades de textura impartidas por los diferentes componentes del alimento (Bosquez y cols, 2000).

Por otro lado, sirven como vehículos de otros ingredientes que llevan a cabo una función específica diferente a la de la cubierta, es decir se incorporan diferentes componentes como agentes antimicrobianos, sabores, antioxidantes y pigmentos al momento de su formulación (McHugh y cols, 2000).

3.3. Componentes de los recubrimientos y películas

Los componentes principales en la elaboración de los recubrimientos y películas comestibles son: los polisacáridos, las proteínas y los lípidos.

3.3.1. Polisacáridos

Los recubrimientos y películas de carbohidratos ofrecen buena barrera a la difusión de oxígeno, bioxiódo de carbono, pero su funcionalidad como barrera contra la pérdida de humedad es pobre debido a su naturaleza hidrofílica. Ejemplos: celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, almidones, gomas vegetales, almidones químicamente modificados (Cisneros y cols,2002).

Los polisacáridos solubles en agua pueden utilizarse como proveedores de dureza, crujidez, compactabilidad, adhesividad, engrosamiento y gelación confiriendo propiedades mecánicas deseables que sirven para mejorar la integridad estructural de los productos; pero no son útiles para el control de la migración del vapor de agua.

Además estos polisacáridos tienen la propiedad para reducir los niveles internos de O_2 y elevar los de CO_2 permitiendo prolongar la vida de anaquel de los productos vegetales frescos de una manera similar a las atmósferas controladas sin riesgo de desarrollar condiciones de anaerobiosis (Bosquez y cols,2000).

Las cubiertas a base de carbohidratos no son grasosas y pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutas, hortalizas, productos marinos o de carne reduciendo su deshidratación, rancidez oxidativa y obscurecimiento superficial (Krochta y cols,1997).

3.3.2. Proteínas

Las cubiertas a base de proteínas son buenas formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas, pero no resisten la difusión al vapor de agua, reducen la pegajosidad. Ejemplos: caseína, gelatina, proteína de soya, zeína, albúmina de huevo, etc (Bosquez y cols,2000).

3.3.3. Lípidos

Las cubiertas a base de lípidos son barreras excelentes contra la humedad, mientras que las que contienen resinas son permeables al vapor de agua aunque en menor grado que algunos recubrimientos de polisacáridos. Pueden generar condiciones anaeróbicas debido a sus características de baja permeabilidad a gases y no se adhieren a superficies de naturaleza hidrofílica. Se elaboran con ceras y aceites como: cera de abeja, aceite mineral, aceite vegetal, ácido esteárico, ácido láurico (Cisneros y cols,2002).

3.4. Aplicación en alimentos

En el caso de frutas y hortalizas, las películas se aplican sobre la superficie y su función es restringir la pérdida de humedad de los vegetales sobre el ambiente, reducir la absorción de oxígeno y reducir la actividad respiratoria. Estas cubiertas también pueden ofrecer alguna protección física, puesto que éstas son susceptibles a daños físicos durante su transporte y comercialización. Un ejemplo del uso de recubrimientos comestibles es la aplicación de cubiertas a base de ceras en cítricos y manzanas para mejorar el brillo, controlar la pérdida de peso y como vehículo para la aplicación post cosecha de fungicidas (Bosquez y cols, 2000).

Otra aplicación se ha dado en pasas cubiertas con recubrimientos comestibles usadas en cereales para desayuno, en este caso la cubierta previene la migración de humedad de las pasas al cereal seco ayudando a mantener su calidad (Krochat y cols,1997).

Las películas comestibles pueden actuar como esmalte para realzar la apariencia de productos horneados; tal es el caso de recubrimientos que reemplazan el tradicional recubrimiento de huevo. Este elimina los posibles problemas microbianos asociados con el huevo crudo y provee algunas propiedades de barrera contra la pérdida de humedad (Krochta y cols, 1997).

3.5. Efectos fisiológicos de los recubrimientos en frutos y hortalizas

3.5.1. Efecto en la respiración

Cuando se recubre un producto vegetal se crea una atmósfera modificada en su interior, con un bajo contenido de O₂ y un elevado contenido de CO₂, comparado con un producto no cubierto, sí el recubrimiento no es el adecuado, favorecerá la anaerobiosis y con ello el desarrollo de aromas y sabores indeseables con el consiguiente deterioro.

La aplicación de los recubrimientos eficaces ofrecería una ventaja económica dado el elevado costo asociado con el equipo en el almacenamiento en atmósferas controladas; ya que permitiría tener el control respiratorio del producto durante su distribución en los diferentes puntos de comercialización lo cual no se hace con las cámaras de atmósferas controladas (Bosquez, 2000; Cisneros,2002).

3.5.2. Efecto en la transpiración

El proceso de transpiración consiste en la pérdida de agua en forma de vapor a través de lenticelas y estomas que se encuentran en la epidermis; en productos cosechados, esta pérdida de agua se traduce en una pérdida de peso, consecuente marchitamiento o deshidratación que deteriora la calidad del producto.

El recubrimiento de frutos y hortalizas reduce los niveles de evaporación de agua por transpiración, es decir, reduce la pérdida de humedad del producto y por tanto la pérdida fisiológica de peso (Bosquez, 2000; Cisneros,2002).

3.5.3. Efecto en el control de pudriciones y deterioro

Las principales pérdidas postcosecha de frutos y hortalizas, se deben al desarrollo de enfermedades causadas por hongos y algunas bacterias durante su distribución, procesamiento y comercialización.

El efecto de las películas y recubrimientos que contienen fungicidas es directo al inhibir el crecimiento microbiano, e indirecto al reducir la velocidad de proceso de maduración y crear una microatmósfera inconveniente para su desarrollo (Bosquez y cols, 2000).

3.5.4. Efecto en el control de Fisiopatías

Algunos recubrimientos confieren un efecto protector para reducir o evitar el desarrollo de fisiopatías, tal es el caso de la reducción en la susceptibilidad al daño por frío en algunos frutos. En almacenamiento prolongado de otros frutos se desarrolla un desorden fisiológico, el cual consiste en el desarrollo de manchas irregulares de color café sobre la epidermis, causado por la oxidación de compuestos volátiles. El uso de antioxidantes para combatir el problema está prohibido en muchos países, es por ello que se han reportado estudios como posibles alternativas con otros antioxidantes alimentarios compatibles con recubrimientos que puedan resolver el escaldado superficial (Bosquez y cols, 2000).

3.5.5. Efecto en la apariencia, textura y manejo

El uso de recubrimientos lípidicos reduce la abrasión superficial durante el manejo de frutas y hortalizas frescas, lo cual es importante porque contribuye a la reducción de pérdidas causadas por infecciones que pueden presentarse en los sitios dañados mecánicamente (Bosquez y cols, 2000).

4.0. FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADUREZ

4.1. Pérdida de peso

La naturaleza de las superficies y los tejidos de los frutos ejercen un pronunciado efecto sobre la velocidad de la pérdida de agua. La mayor parte del intercambio del vapor de agua y otros gases con la atmósfera está controlado por poros o estomas regularmente espaciados en la epidermis del fruto (Will y cols, 1999).

Un método para reducir la pérdida de agua en frutos y hortalizas frescas consiste en aumentar la humedad relativa del aire de su entorno, reduciendo así las diferencias de presión de vapor entre el producto y el aire, siendo inconveniente el empleo de humedades relativas elevadas pues favorecen el crecimiento de hongos; otro método sería interponiendo una barrera que impida o dificulte el paso del agua (Wills y cols, 1984). Al aplicar los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto sobre la epidermis del mango, se pretende determinar la capacidad que tienen para actuar como barrera al vapor de agua y por tanto cuantificar la reducción de la pérdida de agua cuando los mangos se almacenan bajo las condiciones establecidas.

4.2. Dureza

Esta prueba constituye un índice para una valoración rápida del estado de madurez de un fruto, ya que la pérdida de la dureza de la pulpa de un fruto, durante la maduración, es resultado de una progresiva hidrólisis de las protopectinas que constituyen por una parte las paredes celulares y por otra las sustancias pécticas que unen las células adyacentes. La protopectina es un polímero ligado por enlaces cruzados a otras cadenas poliméricas, a través de puentes de calcio, dando origen a polímeros de enorme tamaño. Durante la maduración de los frutos, la protopectina va gradualmente degradándose a fracciones de peso molecular más bajo y más soluble en agua (Will y cols, 1999).

4.3. Conductividad eléctrica

La conducción de una corriente eléctrica a través de una disolución electrolítica implica una migración de las especies cargadas hacia los electrodos. La contribución de las mismas a la conducción viene regida por su concentración relativa y su movilidad. La conductividad eléctrica no es, sin embargo una propiedad específica y su empleo en análisis cuantitativo es muy limitado. Se aplica en el análisis de mezclas binarias y la determinación de la salinidad total de una disolución (Martín, 1975).

Se planteó relacionar la conducción eléctrica como parámetro indicativo de maduración, pues las células vegetales están contituídas por vacuolas, las cuales son depósitos fluídos, que contienen varios solutos, como azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y sales. La célula al estar rodeada por una pared celular y al estar constituida por polímeros y sustancias pécticas, las cuales sufren hidrólisis conforme la maduración progresa, permitirán que se debiliten dichas paredes así como las fuerzas cohesivas que mantienen unidas las células con otras; para que primeramente mejore la textura del tejido y finalmente las estructuras vegetales se desintegren permitiendo que los solutos, moléculas y sales disueltos en medios acuosos tengan mayor movilidad dentro de la célula, lo que permitirá evaluar cambios de conducción eléctrica. (Wills y cols, 1984).

4.4. pH (Método AOAC 981.12)

La medición de pH se traduce en conocer la actividad del ion hidrógeno, que es de utilidad para la conservación de alimentos y en el deterioro de éstos, ya que pueden presentarse cambios debidos a la acción enzimática y al desarrollo de microorganismos. La intensidad de estos cambios dará como resultado una marcada concentración del ion hidrógeno (Egan, 1988). Se planteó medir el cambio de la concentración del ion hidrógeno, como un parámetro indicativo de que la maduración del mango está progresando; un incremento en el valor de pH indicará la degradación de macromoléculas tales como carbohidratos, ácidos orgánicos como resultado de que el proceso se está llevando a cabo.

4.5. Sólidos solubles (Método AOAC.14)

Los sólidos solubles están formados, fundamentalmente por los azúcares reductores y no reductores y por los ácidos orgánicos. La concentración en sólidos solubles de los frutos se expresa en grados Brix, con esta medida se puede apreciar la cantidad de azúcar, ya que el 80% de la materia seca de un fruto está constituido por azúcares. Un grado Brix es la densidad que tiene, a 20°C una solución de sacarosa al 1%. Los grados Brix son, por tanto, un índice comercial, aproximado, de una concentración que se acepta convencionalmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa. Este índice está estrechamente ligado al estado de madurez de un fruto, pues valores elevados de grados Brix, indicarán un alto contenido de azúcares provenientes de una degradación de carbohidratos complejos. El contenido en sólidos solubles aumenta hasta alcanzar un máximo y después se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración (Primo,1998; Herrero,1992).

El refractómetro es el instrumento que permite la medición de las concentraciones de sustancias en soluciones acuosas. Se apoya en el principio de la refracción de la luz en líquidos. Cuando la luz pasa a través de un líquido, el ángulo de refracción muestra la concentración de los sólidos disueltos, en este caso azúcares y se expresa referido al peso (g de azúcar por 100 g de solución o % de peso) correspondiente a los grados Brix (Alvaro,2001).

4.6. Índice de madurez

La madurez de un fruto se puede determinar mediante la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles. Durante el proceso de maduración hay un aumento del contenido azúcares provenientes de la hidrólisis de carbohidratos complejos, componentes mayoritarios de los sólidos disueltos, y un descenso importante de la acidez, Por esto, la razón °Brix/ acidez aumenta cuando avanza la maduración, y se toma universalmente, como índice de madurez (IM). El descenso de la acidez es continuo, pero el contenido de sólidos solubles aumenta al principio, hasta alcanzar un máximo, y después o se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración (Herrero,1992).

Para el cálculo de índice de maduración se expresa el contenido de sólidos solubles en °Brix sobre el % ácido cítrico anhídrido. $IM = \text{°Brix} / \% \text{ acidez}$

4.7. Azúcares Reductores (Método Lane y Eynon AOAC923.09)

Cuantitativamente el cambio más importante asociado a la maduración del mango es la degradación de los carbohidratos. Durante el crecimiento de un fruto se va acumulando almidón, este en la maduración y senescencia se degrada a azúcares solubles, principalmente glucosa, sacarosa, fructuosa. El máximo se sitúa durante la plena madurez, siendo un elemento básico del adecuado e idóneo sabor. El incremento en las proporciones de sacarosa y azúcares reductores, varía dependiendo del fruto, variedad y grado de madurez que éste presenta. Estas transformaciones alteran el sabor del fruto e influye en la aceptabilidad del consumidor (Arthey,1997).

Los azúcares que tienen un su estructura grupos aldehídicos o cetónicos libres reaccionan como agentes reductores débiles y es por eso que se les denomina azúcares reductores (Egan,1988). En general, al principio del almacenamiento de los frutos hay un aumento de la proporción de la sacarosa y de azúcares reductores, coincidiendo con la hidrólisis del almidón. Después de alcanzar un máximo, el contenido en azúcares reductores apenas varía, mientras que el de sacarosa disminuye sensiblemente. (Primo,1998; Herrero, 1992) por esta razón, este parámetro es también un indicativo de maduración.

Fundamento

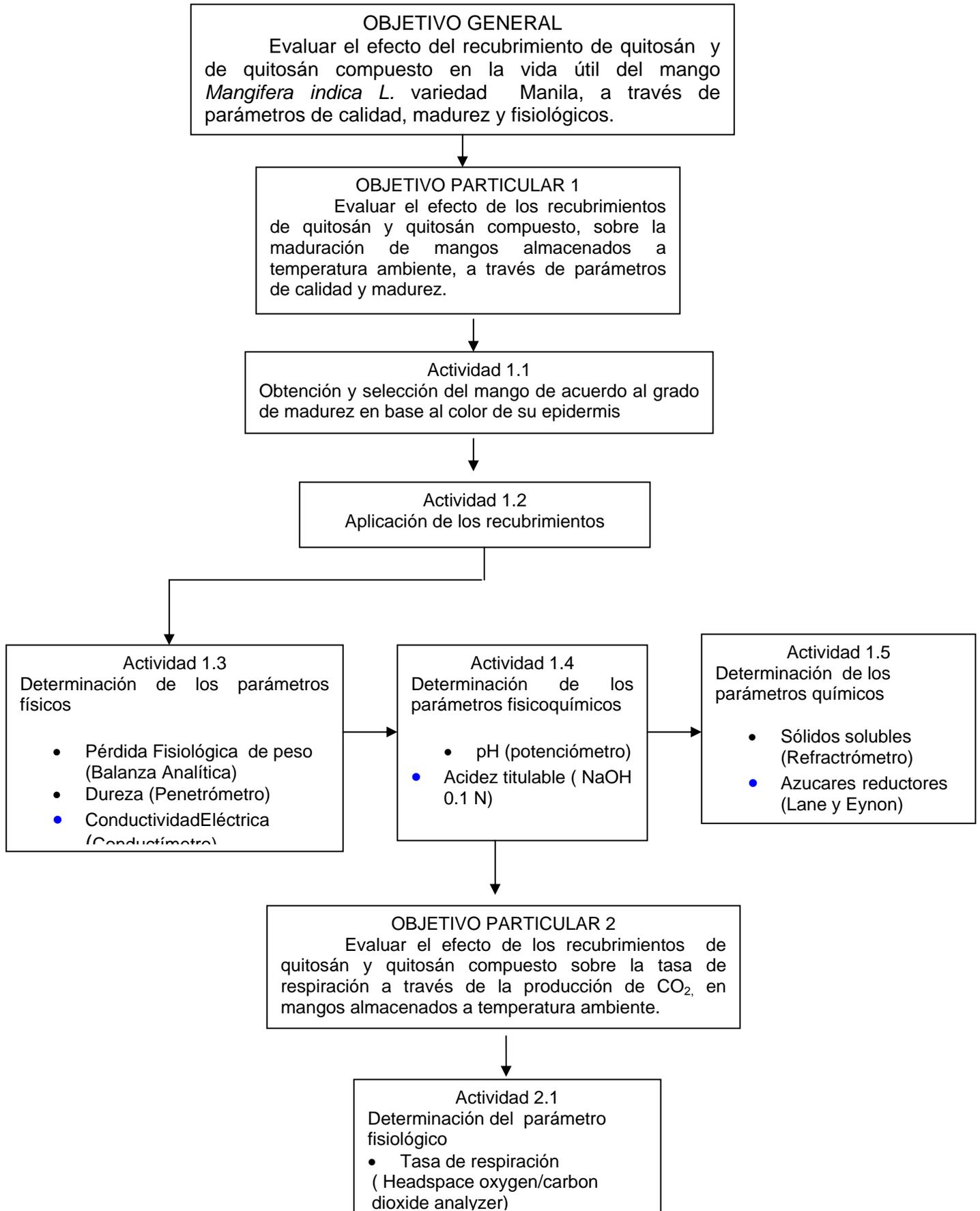
Esta prueba determina los azúcares por medición de la reducción de cobre. Se basa en la óxido – reducción del ión cúprico (Cu^{++}) a ión cuproso (Cu^{+}) o agentes suaves formado por las soluciones de Fehling, que reaccionan con las aldosas de los azúcares reductores en presencia de un indicador. (Pearson,1997).

4.8. Tasa de Respiratoria

La velocidad a que respira un fruto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y es una guía útil para calcular cuánto puede durar su vida comercial.

La temperatura y la concentración de CO₂ y de O₂ en el entorno son los principales factores que pueden modificar la intensidad en que se realiza la respiración de los tejidos vegetales. La disminución de la presión de oxígeno como el incremento de la concentración de CO₂, retrasará la respiración y las reacciones bioquímicas asociadas a la misma, sin embargo cuando las concentraciones de estos gases sobrepasan los límites característicos, los daños ocasionados por exceso de CO₂ o insuficiencia de oxígeno se manifiestan en desórdenes fisiológicos desagradables. Cuando desciende la temperatura de almacenamiento disminuye la velocidad de respiración del fruto, sin embargo, cuando el fruto se expone por debajo de la temperatura recomendada, ocasiona efectos visibles de daños por frío en el alimento (Fennema,1985). Además cuando se reduce la temperatura a valores a los que el etileno no es capaz de inducir la serie de cambios bioquímicos que conducen a la maduración y por otro lado lleve consigo a un aumento en la respiración, se logran períodos de almacenamiento con tiempos más prolongados (Arthey,1997).

La tasa de respiración de los frutos cosechados se puede medir, mediante la determinación de la velocidad de emisión de CO₂ o de consumo de O₂ por el fruto colocado en un recipiente cerrado, y constituye un buen índice del tiempo que pueden conservarse después de ser recolectados. Valores elevados indican una vida corta en el almacenamiento (Berk,1986).



OBJETIVO PARTICULAR 1**ACTIVIDAD 1.1. Obtención y selección del mango de acuerdo al grado de madurez en base al color de su epidermis.**

Se colectaron mangos a partir de cajas de 25 kg (*Mangifera indica*, variedad Manila), en la Central de Abastos de Ixtapalapa, provenientes del Estado de Veracruz. Los frutos se seleccionaron bajo las siguientes especificaciones según la Norma NMX-FF-058-SCFI-1999: de tamaño y forma uniforme, consistencia firme, libres de daño físico e infecciones fúngicas y con un color de la epidermis conocido como “rayado”, es decir, la piel del mango presenta tonalidades de amarillo pálido con zonas de color verde. Los mangos fueron distribuidos al azar en 6 lotes cada uno con 12 mangos y se destinaron 2 lotes por tratamiento:

1. Grupo Control, mangos sin recubrimiento
2. Grupo quitosán, mangos recubiertos con quitosán
3. Grupo Compuesto, mangos recubiertos con quitosán compuesto

ACTIVIDAD 1.2. Aplicación de los recubrimientos

Los recubrimientos sobre la piel de los frutos, se emplean para actuar como barrera a gases y vapor de agua, dando lugar a que el fruto genere su propia atmósfera y ésta se vaya modificando hasta alcanzar un equilibrio y obtener una atmósfera modificada pasiva, que resulte favorable y conduzca a un retraso del proceso de maduración (Bosquez,2000). Se plantea determinar si efectivamente la aplicación de los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto tienen algún efecto en el proceso de maduración del mango.

a) Preparación del recubrimiento

Se formularon dos tipos de recubrimientos, quitosán y quitosán compuesto, para el primero se preparó una solución de quitosán al 1% y se ajustó el pH a 5.1 con NaOH. Para el segundo recubrimiento, se preparó una solución de quitosán al 1% a pH 5.1 y se le adicionó glicerol y tween 80.

b) Aplicación del recubrimiento

Los grupos de mangos que fueron destinados para ser recubiertos con quitosán y quitosán compuesto (con 12 individuos cada uno), fueron previamente lavados con agua y secados para posteriormente ser sumergidos uno a uno dentro de las soluciones de quitosán. Una vez bañados con la solución fueron colocados en rejillas de metal para escurrir el exceso de la misma, para su posterior secado a temperatura ambiente. Después del secado los mangos fueron almacenados a 25 ± 2 °C, con una humedad relativa de 65% monitoreada con un higrómetro digital Cole Parmer modelo 3101-00 dentro de una incubadora Gravity Convention Incubator modelo 4, con la finalidad de mantener las condiciones constantes durante todo el período de evaluación.

ACTIVIDAD 1.3. Determinación de los parámetros físicos**a) Pérdida de Peso**

La pérdida de peso de los mangos se determinó por diferencia de peso, utilizando una balanza Santorious, con precisión y sensibilidad. Para la medición se designaron 3 grupos, cada grupo representa cada tratamiento (control, quitosán, quitosán compuesto) constituidos cada uno por 12 mangos. La evaluación se realizó por triplicado, los resultados obtenidos se sometieron a un tratamiento estadístico que consistió en una regresión múltiple lineal y se reportaron en gramos de peso perdidos por día y porcentaje de pérdida de peso por día. Este es un parámetro de evaluación importante, pues se utiliza como índice de calidad ya que la pérdida de agua representa un descenso del peso comercial y por tanto una disminución de su valor en el mercado. Pérdidas de un 10% hacen que un fruto salga del mercado, por esta razón el período de almacenaje finalizó cuando los mangos presentaron este porcentaje.

b) Dureza

La distancia de penetración fue evaluada sobre el mesocarpio del mango utilizando un Penetrómetro Universal Humboldt. Previamente se separó la epidermis de una de las caras del fruto y se dividió simétricamente en 4 regiones la zona ecuatorial (el punto de máximo diámetro, ver figura no.5). Para la operación del penetrómetro se unió a la varilla el cono de aluminio de 45°, la varilla se ajustó a una altura tal que la punta del cono hizo contacto con la superficie descubierta de la muestra, se liberó la varilla y penetró en el mango por un lapso de 5 s. La penetración fue evaluada totalmente perpendicular al mesocarpio, en cada una de las 4 regiones. La prueba se realizó por duplicado, se tomaron las lecturas en la carátula de la distancia que penetró el cono y se calculo la dureza. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante un ANOVA.

Cálculo de dureza

$$D = F / A = m_t a_g / A$$

donde:

m_t = peso del cono, varilla

a_g = aceleración de la gravedad

A = área total del dispositivo que penetró

$$A = \pi g_1 r_1$$

donde:

g_1 = generatriz del cono a la profundidad de penetración L

r_1 = radio del cono a la profundidad de penetración L

$$r_1 = L \tan \beta$$

$$g_1 = (r_1^2 + L^2)^{1/2}$$



Figura no. 5. Representación de la zona ecuatorial

c) Conductividad Eléctrica

La conductividad fue evaluada sobre el mesocarpio del mango utilizando un conductímetro Beckman Solubridge, el cual tiene un rango de sensibilidad 1-500,000 *mhos*, una temperatura de referencia de 25°C y voltaje de 120 y 60Hz. Previamente se separó la epidermis de una de las caras del fruto, se dividió simétricamente la zona ecuatorial del fruto (ver figura no. 5) en 4 regiones, se introdujeron los 2 electrodos de acero inoxidable a 1 cm de distancia entre ellos y 1 cm de altura, en cada una de las 4 regiones del fruto. Los electrodos se conectaron a un circuito eléctrico y se tomó la lectura cuando hubo un balance en la intensidad de corriente. La medición se realizó por duplicado y los resultados se reportaran en milisiemens (*mS*) y se trataron mediante una regresión múltiple lineal.

Actividad 1.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos**a) pH (Método AOAC 981.12)**

Se tomó una parte del fruto de la zona ecuatorial, se homogenizó la pulpa, se pesaron 10 g y se añadieron 10 ml de agua destilada. Se determinó el valor de pH de la alícuota utilizando un potenciómetro Corning pHmeter model 10. La prueba se realizó por duplicado para cada día de evaluación, se registraron las lecturas obtenidas en el potenciómetro y los resultados se analizaron estadísticamente mediante una regresión múltiple lineal.

b) Acidez titulable (Método AOAC 942.15)

La prueba se basa en la determinación de la acidez por neutralización del ácido con una base. Se tomó una parte del fruto de la zona radial, se homogenizó la muestra, se pesaron 10 g de muestra, se añadieron 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenoftaleína como indicador. La muestra se valoró con una solución de hidróxido de sodio NaOH 0.1 N hasta que la solución viró a color rosa. Se midieron los mililitros de NaOH gastados, la medición se realizó por duplicado y los resultados fueron sujetos a un tratamiento estadístico que consistió en un ANOVA. Los datos se expresaron en porcentaje del ácido predominante, para este caso es el ácido cítrico en el mango.

Cálculo

% de Acidez en ac. Cítrico= $[(\text{ml NaOH} \times \text{Normalidad del NaOH} \times \text{meq de ácido}) / 10 \text{ g de muestra}] \times 100$

0.070 =meq de ácido cítrico.

Actividad 1.5. Determinación de los parámetros químicos**a) Sólidos Solubles (Método AOAC 932.14)**

La concentración de los sólidos solubles fue evaluada a partir de la extracción de unas gotas de zumo de un trozo de mango proveniente de la zona ecuatorial. Las gotas se depositaron en el prisma del refractómetro BAUSH & LOMB, previamente ajustado con agua destilada a 20°C y se tomaron lecturas en ° Brix leídas a través del ocular. La prueba se realizó por duplicado, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente mediante una regresión múltiple lineal y reportados como °Brix por día de almacenamiento.

b) Azúcares Reductores (Método Lane y Eynon AOAC 923.09)

La prueba se realizó siguiendo el método Lane y Eynon, la medición se realizó por duplicado para cada día de evaluación, los resultados obtenidos serán tratados estadísticamente mediante una regresión múltiple lineal y reportados como porcentaje de azúcares reductores directos y totales.

OBJETIVO PARTICULAR 2**Actividad 2.1. Determinación del parámetro fisiológico****a) Tasa de respiración**

La respiración de los mangos se determinó en base a la producción de CO₂ generado por el fruto utilizando un analizador de gases Head space oxygen/ carbon dioxide analyzer (Illinois instrument, modelo 6600). Para la prueba se introdujeron los mangos control y los que previamente se recubrieron con quitosán y quitosán compuesto dentro de frascos de vidrio que posteriormente fueron sellados herméticamente con parafina. La prueba se realizó por duplicado, midiendo la acumulación de CO₂ en la atmósfera del contenedor sellado cada 2 horas utilizando un analizador de gases, los resultados se expresaron en porcentaje CO₂ desprendido por hora y los resultados se evaluaron usando una regresión múltiple lineal.

Análisis Estadístico

Se diseñó un modelo de regresión múltiple lineal para evaluar el efecto del tiempo y del tipo de recubrimiento en los parámetros de calidad y madurez en mangos. En el modelo la variable de respuesta (que puede ser cualquiera de los parámetros de calidad y madurez medidos) es función de dos variables independientes (o explicativas). Una de estas variables el tiempo de almacenamiento es cuantitativa, la otra variable independiente, el tipo de recubrimiento, es cualitativa. En el modelo se denotó como x_1 al tiempo de almacenamiento. Los valores evaluados del tipo de recubrimiento fueron 3 : mangos sin recubrimiento, mangos recubiertos con quitosán, mangos recubiertos con quitosán compuesto. Para introducir la variable cualitativa en el modelo de regresión se utilizaron x_2 y x_3 como variables “ficticias”, cuyos valores son:

$x_2 = 1$ Si tiene película de quitosán compuesta
 0 Si NO tiene película de quitosán compuesta

$x_3 = 1$ Si tiene película de quitosán
 0 Si NO tiene película de quitosán

Si x_2 y x_3 son iguales a cero el modelo considera los datos del tratamiento que hace falta.

La ventaja de este modelo es que permite probar hipótesis para la comparación de pendientes o tasas de cambio (Mende Hall, 1997).

El modelo de regresión completo que caracteriza las tres líneas es:

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_1 x_2 + \beta_5 x_1 x_3$$

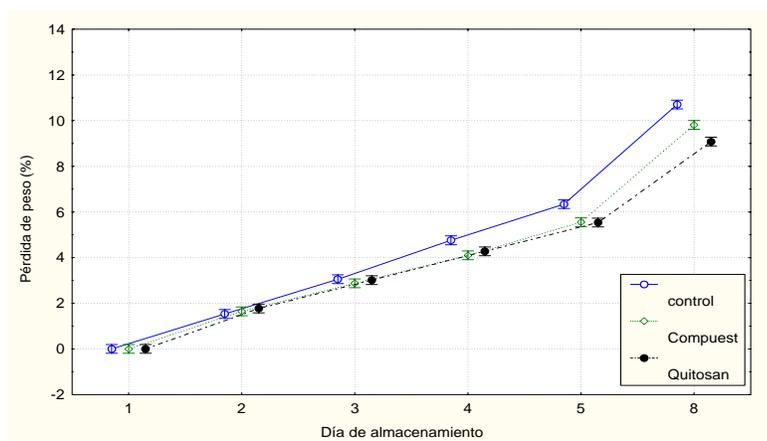
(ver desarrollo del modelo estadístico en el apéndice)

OBJETIVO PARTICULAR 1

Actividad 1.3. Determinación de los parámetros físicos

a) Pérdida fisiológica de peso

Los datos de pérdida fisiológica de peso de mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto almacenados a $25 \pm 2^\circ \text{C}$ y 65 % HR se muestran en el gráfico no. 4. Se observa que el grupo de mangos cubiertos con quitosán presentó un 33 % menos de pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento, esto se atribuye a que el recubrimiento de quitosán efectivamente actuó como barrera a la transferencia de humedad. Los mangos cubiertos con quitosán compuesto presentaron un 20 % menos de pérdida de peso comparado con los mangos control, sin embargo tuvieron una mayor pérdida que el grupo recubierto solamente con quitosán. Este efecto se debe al plastificante que se le adicionó a la formulación del recubrimiento de quitosán, esto es, al adicionar el glicerol, éste actuó reduciendo las fuerzas intermoleculares a lo largo de la cadena de quitosán. Los grupos polares (OH^-) del plastificante desarrollan puentes de hidrógeno a lo largo de la cadena polimérica reemplazando las interacciones polímero – polímero, lo que provoca que el recubrimiento de quitosán compuesto adquiera una mayor permeabilidad al vapor de agua (Garnica, 2001).



Grupo	Tasa de pérdida de peso (g/día)	Tasa de pérdida de peso (%/día)
Control	5.75 ^a	1.53 ^a
Compuesto	4.59 ^b	1.37 ^b
Quitosán	3.83 ^c	1.26 ^c

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Gráfica no 4. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre la pérdida fisiológica de peso por día de almacenamiento.

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis estadístico, que consistió en una regresión múltiple lineal (ver modelo en el capítulo de metodología), de donde se obtuvo la tasa de pérdida de peso por día. El análisis mostró que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las tres tasas, destacando que el grupo de mangos cubiertos con quitosán presentó la menor tasa (ver gráfico no.4). Con respecto al grupo de mangos cubiertos con quitosán compuesto, presentó una tasa intermedia comparado con los otros dos grupos, observándose una disminución de pérdida de peso del 20% con respecto a los mangos control. La diferencia entre las 3 tasas, se atribuye a las diferentes características de permeabilidad al vapor de agua de cada tratamiento. Por otro lado, se observó que los grupos de mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto no presentaron crecimiento fúngico durante todo el período de almacenamiento que fue de 8 días, lo cual también indica la propiedad antifúngica que posee el quitosán, que permitió extender la vida de anaquel de los frutos, en comparación a los mangos del grupo control que presentaron pequeñas manchas negras debido a un crecimiento microbiano sobre el día 5 y para el día 8 todo el fruto se encontraba totalmente infectado, mientras que los mangos recubiertos con quitosán permanecieron sin infección (ver figura no. 6 y 7).

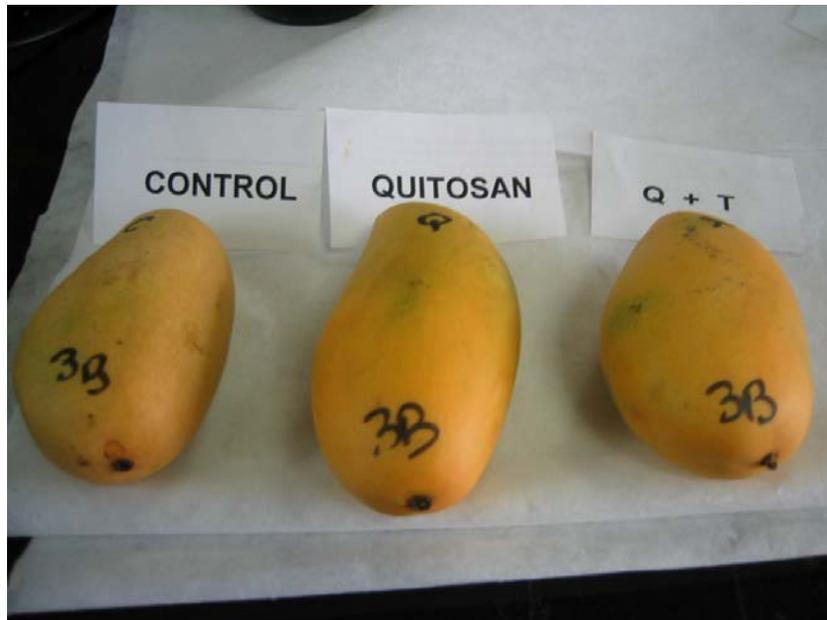


Figura no 6. Mangos variedad Manila recubiertos con quitosán y quitosán compuesto al día 3 de almacenamiento

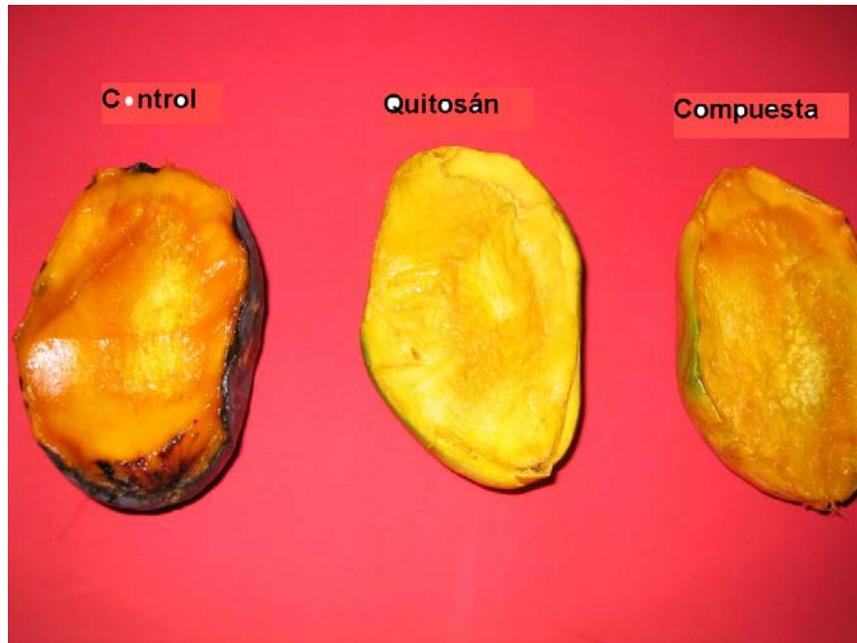
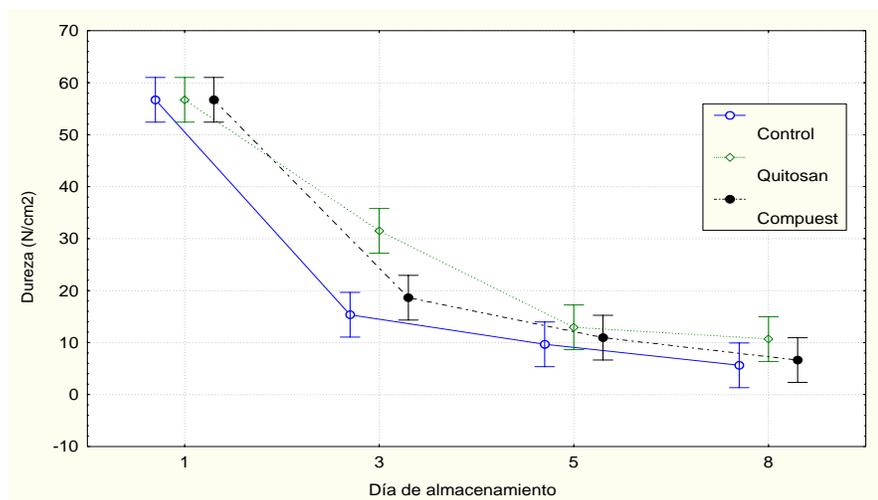


Figura no 7. Mangos variedad Manila recubiertos con quitosán y quitosán compuesto al día 8 de almacenamiento.

De acuerdo a lo reportado por Kittur, mangos recubiertos con películas de quitosán almacenados a temperatura ambiente a $27 \pm 2^\circ \text{C}$ y 65% HR durante 7 días, presentaron una reducción significativa de pérdida de peso de un 30 – 35% en relación con mangos cubiertos con otras películas formuladas a base de carbohidratos. Los mangos que fueron tratados con otros recubrimientos a base de carbohidratos a pesar que mostraron una reducción en la pérdida de peso, durante su almacenamiento desarrollaron sabores indeseables debido a anaerobiosis, sugiriendo que estos recubrimientos tienen menor permeabilidad de gases y presentan una reducción en los rangos de transmisión de vapor de agua, lo cual es indeseable para este tipo de frutos. (Kittur y Cols, 2001).

b) Dureza

Los resultados de la prueba de dureza se presentan en la gráfica no. 5, se observa que durante el período de almacenamiento los mangos tratados con quitosán, en general presentaron valores mayores de dureza, independientemente del día de evaluación.



Gráfica no 5. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el parámetro de dureza, con respecto al tiempo.

DUREZA (N/cm ²)			
Día de almacenamiento	Tratamiento		
	Grupo 1 Control	Grupo 3 compuesta	Grupo 2 quitosán
1	56.71	56.71	56.71
3	15.35 ^a	18.63 ^a	31.48 ^b
5	9.67 ^c	10.95 ^c	12.93 ^c
8	5.62 ^d	6.62 ^d	10.68 ^d

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

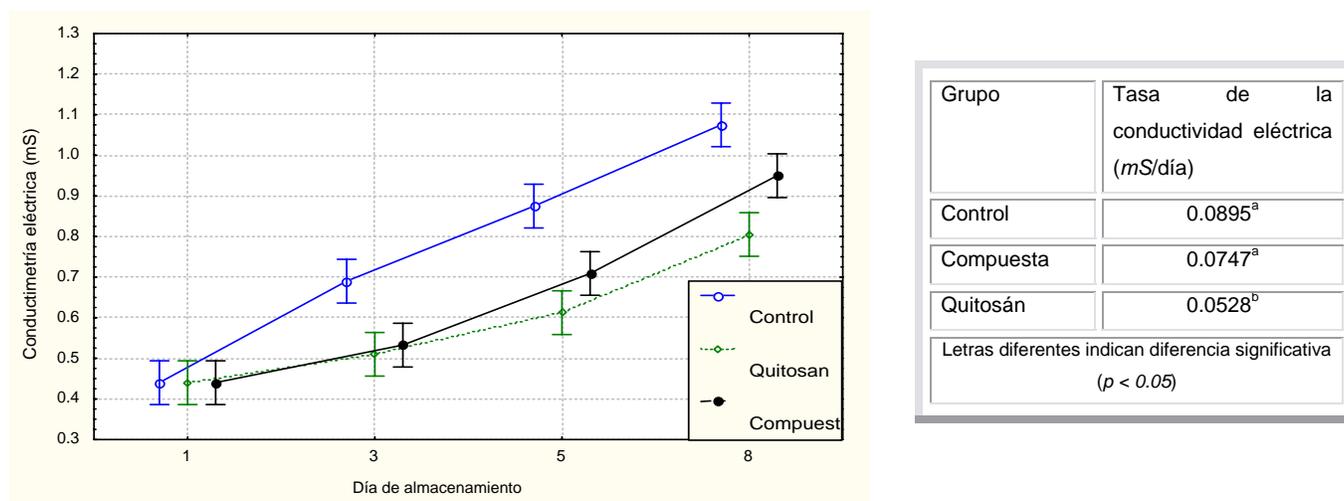
Tabla no 5. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el parámetro de dureza, con respecto al tiempo.

Al realizar el análisis estadístico que consistió en una ANOVA y la prueba de Duncan, se encontró que sólo existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en el día 3 de almacenamiento entre el grupo de mangos recubiertos con quitosán, en relación con los otros dos tratamientos; en los demás días de evaluación entre los tres grupos no existe diferencia significativa (ver tabla no. 5). Los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto no tienen ningún efecto significativo sobre el proceso que sufren las pectinas, sin embargo el grupo de mangos cubiertos con quitosán permanecieron más firmes, esto se puede observar al presentar mayores valores de dureza. Es posible que el recubrimiento de quitosán ayuda a reducir la velocidad con la que las pectinas son hidrolizadas, principalmente las protopectinasas insolubles en agua, que son depolimerizadas por hidrolasas a sustancias solubles contribuyendo a que la textura del mango permanezca firme por un período de tiempo mayor; es posible que el recubrimiento retarde la acción ó síntesis de las enzimas que actúan sobre las celulosas y hemicelulosas constituyentes de las paredes celulares, influyendo en la conservación de la firmeza de sus tejidos cuya característica se desea, ya que entre más firme sea el mango, es más resistente al daño mecánico durante el transporte y la distribución, aunque este efecto sobre la textura del mango no sea significativo.

De acuerdo a lo reportado por Srinivasa, mangos dentro de cajas de cartón cubiertas con películas de quitosán almacenados a temperatura ambiente ($27 \pm 2^\circ \text{C}$ a 65% HR) permanecieron con mayor firmeza, verdes y frescos hasta el día 18, además hubo una reducción de pérdida fisiológica de peso 7.5 % comparados con mangos dentro de cajas de cartón cubiertos con películas de polietileno de baja densidad, que presentaron una reducción de pérdida de peso del 3.5%, sin embargo presentaron desarrollo de sabor indeseable y crecimiento fúngico después del día 12 de almacenamiento (Srinivasa y Cols, 2002).

c) Conductividad eléctrica

En la gráfica no. 6 se muestran los resultados de la conductividad eléctrica con respecto al tiempo de almacenamiento de los mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto, almacenados a temperatura ambiente a $25 \pm 2^\circ \text{C}$ y HR de 65%.



Gráfica no 6. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre la conductividad eléctrica, con respecto al tiempo.

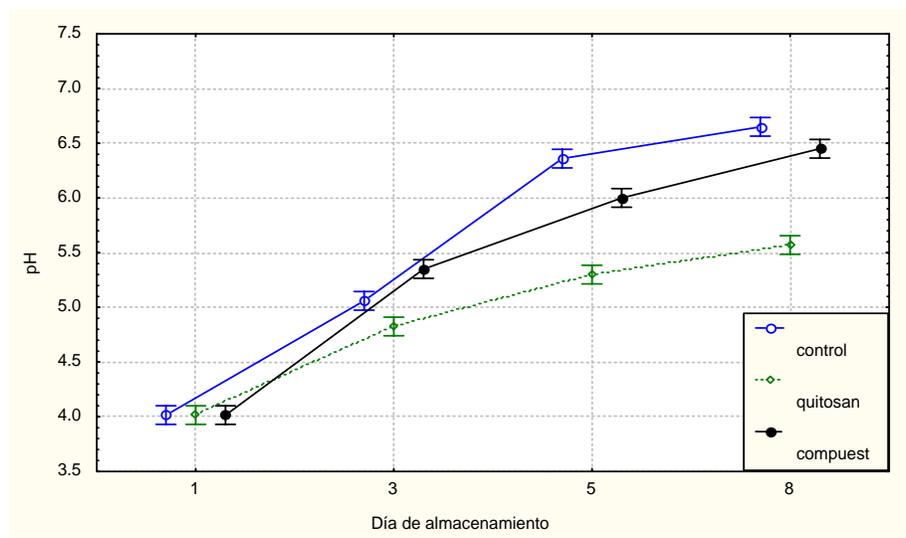
Se observa en la gráfica no. 6 que la conductividad eléctrica del mango se afecta si éste es recubierto. Esto se comprobó al realizar una regresión múltiple lineal, donde se encontró que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la tasa de cambio de la conductividad eléctrica con respecto al tiempo, del grupo de mangos recubiertos con quitosán comparada con la de los otros 2 tratamientos. Sin embargo no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la tasa del grupo de mangos control y los cubiertos con quitosán compuesto, destacando que el grupo de los mangos recubiertos con quitosán presentan la más baja tasa de cambio de la conductividad eléctrica (ver gráfico no. 6).

Los recubrimientos de quitosán retardan el incremento de la conductividad eléctrica esto es, al retrasar el proceso de ablandamiento de la estructura de las paredes celulares del mango, así como el proceso de degradación de las sustancias pécticas, que además se consideran como sustancias de relleno dentro de la matriz de las paredes celulares y que influyen en la distribución de agua; la movilidad de los solutos en el medio acuoso en el fruto se ve disminuida, en relación con la movilidad de solutos que existe en los mangos control y por tanto la conducción eléctrica se incrementa más lentamente.

Actividad 1.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

a) pH

La gráfica no. 7 muestra los cambios sufridos de pH en mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto, almacenados a $25 \pm 2^\circ \text{C}$ y 65 % HR con 3 diferentes tratamientos.



Grupo	Tasa de cambio del (pH/día)
Control	0.386 ^a
Compuesta	0.334 ^a
Quitosán	0.215 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Gráfica no 7. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango Manila sobre el pH, con respecto al tiempo.

Se observa en la gráfica que los mangos del grupo de quitosán presentan valores menores de pH, independientemente del día de almacenamiento, en relación a los otros 2 tratamientos. Al realizar una regresión múltiple lineal, se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la tasa de cambio del pH de los mangos recubiertos con quitosán con la de los otros dos grupos y no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la tasa de cambio de los grupos de mangos control y quitosán compuesto. Esto se puede deber a que el efecto que tiene el recubrimiento de quitosán sobre el mango, va retardando el proceso metabólico del ácido cítrico predominante en el mango y conforme avanza la maduración su concentración va disminuyendo, mientras el porcentaje de acidez va disminuyendo lentamente, los valores de pH se van incrementando.

Algunos estudios reportan que mangos variedad *Alfonso* almacenados a 27 +/- 1°C y HR 65% dentro de cajas cubiertas con quitosán, presentaron un pH bajo de 4.88 después del décimo día, en relación con mangos almacenados dentro de cajas perforadas de plástico que presentaron un pH de 5.6 (Srinivasa y Cols, 2004).

b) Acidez titulable

En la tabla no. 6 se muestran los valores de medias del porcentaje de acidez en mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto, almacenados a temperatura ambiente 25 +/- 2 ° C y humedad relativa 65%.

% de ACIDEZ			
Día de almacenamiento	Tratamiento		
	Grupo 1 control	Grupo 3 compuesta	Grupo 2 quitosán
1	0.866	0.866	0.866
3	0.178 ^a	0.150 ^a	0.362 ^b
5	0.101 ^c	0.119 ^c	0.165 ^d
8	0.083 ^e	0.095 ^e	0.208 ^f

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

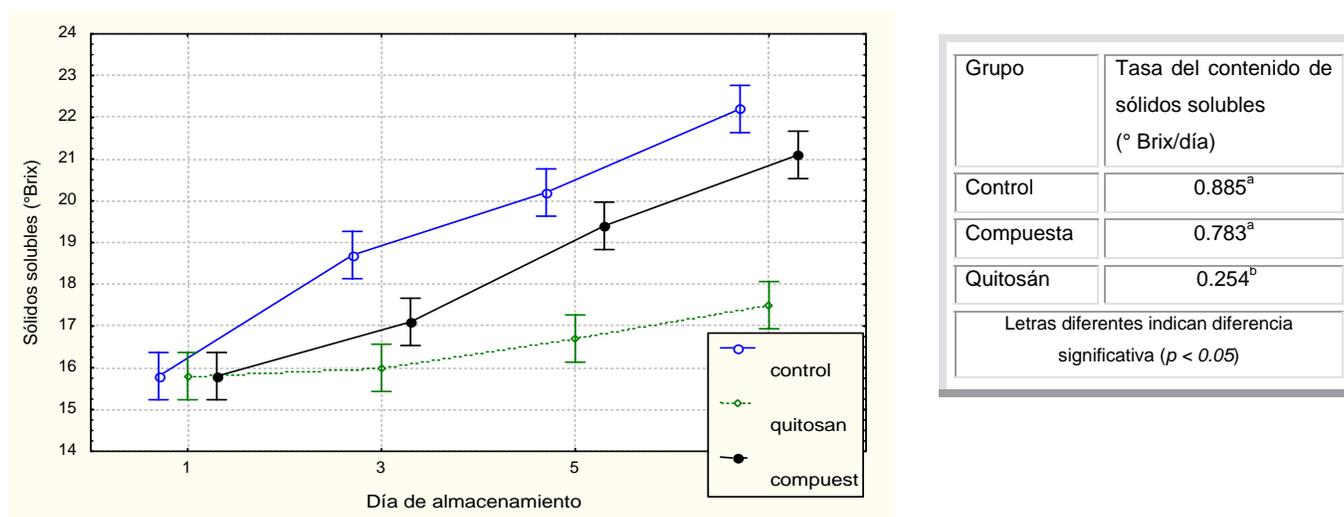
Tabla no 6. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango variedad Manila sobre el % de acidez, con respecto al tiempo.

Se puede observar en la tabla que los mangos tratados con quitosán presentaron mayor porcentaje de acidez, independientemente del día de evaluación. Se realizó un ANOVA y la prueba de Duncan, los resultados estadísticos mostraron que sí existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el grupo de quitosán contra los otros 2 tratamientos y que no existe una diferencia ($p < 0.05$) entre el grupo de mangos controles y el grupo de mangos cubiertos con quitosán compuesto. Este efecto se puede deber a que el recubrimiento de quitosán sobre la epidermis del mango, retarda la degradación de los ácidos orgánicos y por lo consiguiente la velocidad de descenso de la acidez disminuye, y lo que ocasiona que se conserve el mango con un sabor agrio por un mayor tiempo.

Actividad 1.5. Determinación de los parámetros químicos

a) Sólidos solubles (° BRIX)

En el gráfico no. 8 se presentan los valores de los sólidos solubles de mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto, almacenados a $25 \pm 2^\circ \text{C}$ y 65% HR, expresados en ° Brix.

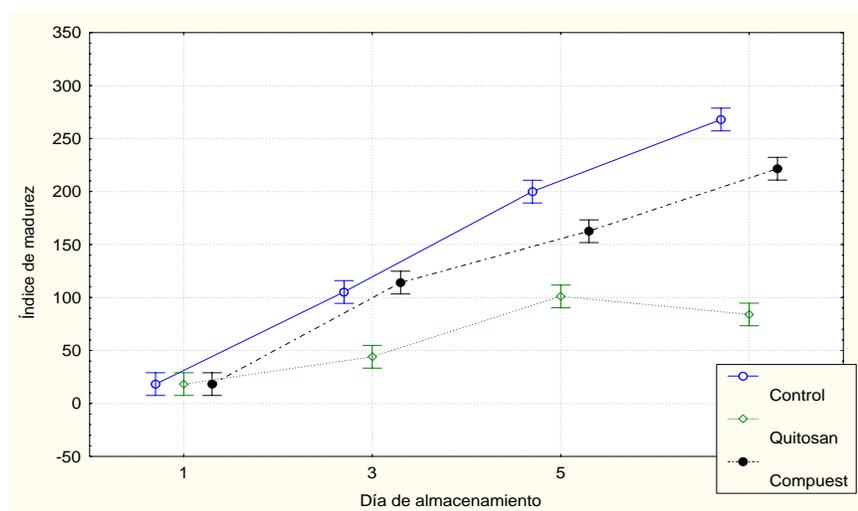


Gráfica no. 8. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango sobre los sólidos solubles (°Brix), con respecto al tiempo.

Se observa en la gráfica que los mangos del grupo recubierto con quitosán presentaron valores menores de ° Brix, en todos los puntos de evaluación, al realizar una regresión lineal múltiple, se encontró que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la tasa del contenido de sólidos solubles con la del grupo de mangos recubiertos con quitosán contra la tasa de los otros dos tratamientos, sin embargo no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la tasa del contenido de sólidos solubles de los mangos controles y la de los mangos con quitosán compuesto, encontrándose además que el grupo de quitosán presenta la más baja tasa (ver gráfico no. 8). El efecto principal de los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto sobre el mango durante su almacenamiento posiblemente es, el de disminuir la velocidad con la que se realiza la hidrólisis del almidón a azúcares reductores (glucosa y fructuosa) y no reductores (sacarosa) constituyentes de los sólidos solubles.

b) Índice de maduración

En la gráfica no. 9 se presenta los valores de índice de madurez en los mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto almacenados a temperatura ambiente $25 \pm 2^\circ \text{C}$ y 65% de HR. Se observa que los mangos cubiertos con quitosán son los que presentan valores menores de IM durante todo el almacenamiento. Al realizar el análisis estadístico correspondiente, se encontró que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los mangos recubiertos con quitosán y los mangos con diferente tratamiento, sin embargo no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre estos dos tratamientos. Los mangos cubiertos con quitosán al presentar menor IM nos indican que, el recubrimiento efectivamente está retrasando la velocidad de las reacciones, en particular, hubo una degradación menor del almidón, marcado por un bajo contenido de azúcares solubles, además hubo un retraso de la actividad metabólica de los ácidos orgánicos, marcado por un % de acidez elevado.



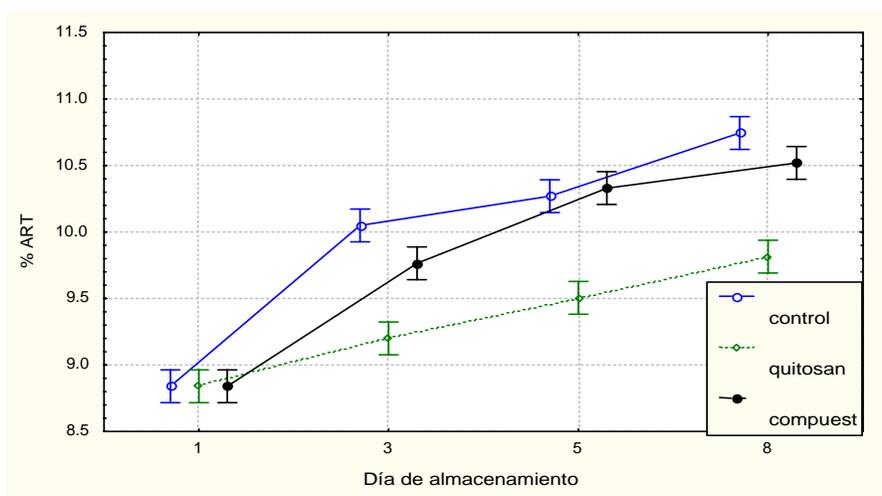
Grupo	Tasa de índice de madurez
Control	35.97 ^a
Compuesta	28.16 ^a
Quitosán	10.359 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Gráfica no 9. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto sobre el índice de madurez en mangos variedad Manila, con respecto al tiempo.

c) Azúcares reductores

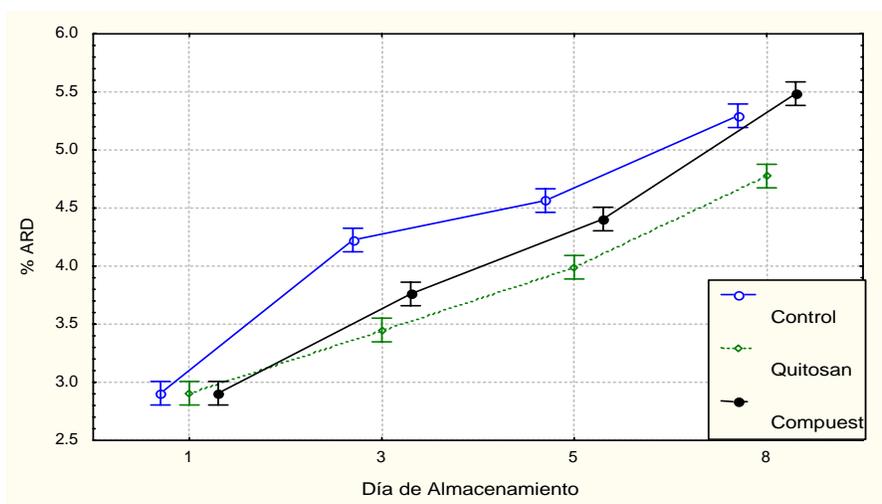
Las gráficas no. 10 y 11 presentan los resultados del porcentaje de azúcares reductores directos y de los azúcares reductores totales respectivamente, en el almacenamiento del mango cubiertos con quitosán y quitosán compuesto a 25 +/- 2° C y 65% HR.



Grupo	Tasa de cambio del % ARD/ día
Control	0.368 ^a
Compuesta	0.344 ^a
Quitosán	0.266 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Gráfica no 10. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango sobre el %ARD, con respecto al tiempo.



Grupo	Tasa de cambio del % ART/día
Control	0.250 ^a
Compuesta	0.085 ^a
Quitosán	0.138 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Gráfica no 11. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuesto en mango sobre el % ART, con respecto al tiempo.

Para ambos parámetros, los gráficos no. 10 y 11 muestran que el grupo de mangos recubiertos con quitosán presentan menores valores de % ARD y ART. Se realizó el análisis estadístico y se obtuvo que la tasa de cambio del % de ARD Y ART con respecto al tiempo del grupo de mangos cubiertos con quitosán fue la menor y presenta una diferencia significativa ($p < 0.05$) con relación a las tasas de los otros dos tratamientos, pero no se encontró diferencia significativa entre éstos dos últimos grupos. Esto se puede atribuir a que el recubrimiento de quitosán al ser una barrera a gases como O_2 , el cual es fundamental para la síntesis o acción de enzimas involucradas con los procesos degradativos, retarde la acción o síntesis de las amilasas, fosforilasas y glucosidasas que son las responsables de la degradación del almidón a azúcares simples.

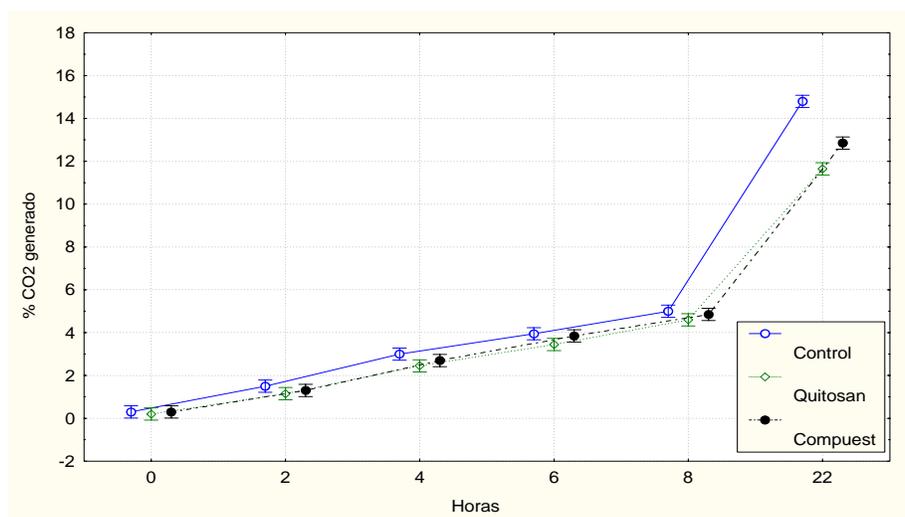
OBJETIVO PARTICULAR 2

Actividad 2.1. Determinación del parámetro fisiológico

a) Tasa de respiración

La gráfica no. 12 presenta el porcentaje de CO₂ que generaron los mangos cubiertos con quitosán y quitosán compuesto cuando fueron almacenados a temperatura ambiente 25± 2 ° C y una HR 65%.

Se puede observar en la gráfica que los mangos cubiertos con quitosán fueron los que presentaron valores menores de % CO₂, comparado con los otros dos tratamientos. Con la regresión múltiple lineal se encontró que el grupo de mangos cubiertos con quitosán presentan la más baja tasa de respiración (ver gráfico no. 12), siendo significativamente diferentes ($p < 0.05$) las tres tasas de respiración. El efecto es atribuido a las diferentes características de permeabilidad que presentaron los recubrimientos de quitosán, siendo el quitosán compuesto más permeable al CO₂ en relación con el recubrimiento de quitosán, debido a los agentes plastificantes que se le adicionaron. Los recubrimientos de quitosán al actuar como una barrera sobre la epidermis del fruto, reducen los niveles de O₂ que el fruto toma del medio ambiente y que necesita para que realice el proceso de respiración, por tanto emite bajos niveles de CO₂ generando su propia atmósfera.



Grupo	Tasa de respiración (%CO ₂ / h)
Control	0.613 ^a
Compuesta	0.567 ^b
Quitosán	0.517 ^c

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p > 0.05$)

Gráfica no 12. Efecto del recubrimiento de quitosán y quitosán compuestos en mango sobre la tasa de respiración

De acuerdo a Srinivasa, mangos dentro de cajas cubiertas con quitosán que fueron almacenados a temperatura ambiente (27 +/-2 ° C y 65% HR) presentaron el día 3, 26% CO₂ y para el día 18 los niveles de CO₂ fueron 21%, indicando una reducción del % CO₂ generado con relación a los mangos control. Según el autor, el bajo rango de transmisión de O₂, asociado con las películas de quitosán durante el desarrollo de la maduración, los altos rangos de transmisión de vapor de agua y los mínimos en la transpiración, previenen la condensación de gotas de agua sobre la película, ayudando a estabilizar el equilibrio de la humedad que contienen los mangos dentro de las cajas, lo que resulta en extender la vida útil del fruto por un periodo de almacenamiento mayor (Srinivasa y cols, 2002).

En general, los recubrimientos de quitosán presentaron un bajo rango de transmisión de O₂, es por ello que el proceso de respiración se vio afectado dando como resultado bajos niveles de CO₂ generado, y por tanto una reducción en la tasa de respiración. Cuando la velocidad de respiración se reduce también lo hace la síntesis del etileno, el cual juega un papel importante en un fruto climatérico como lo es el mango. El etileno parece actuar estimulando la síntesis de enzimas como las hidrolasas de la pared celular incluyendo pectinasas, celulasas, clorofilasa, proteasas, además estimula la síntesis de enzimas degradativas del almidón. En ausencia de oxígeno, las respuestas del etileno se reduce mucho o se eliminan; es decir, el oxígeno es necesario no sólo para la síntesis del etileno sino también para su mecanismo de acción. Al impedir el paso de O₂ también se ve afectada la síntesis o acción de enzimas que participan el procesos degradativos conforme transcurre la maduración. Los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto al ser barrera de gases importantes como vapor de agua, O₂ y CO₂ lograron por una parte, reducción de pérdida de peso, reducción de los niveles de transmisión de O₂, reducción de la intensidad respiratoria, afectando todos los cambios bioquímicos que también están relacionados con la producción de etileno, dando como resultado un retraso en la maduración de los mangos almacenados a temperatura ambiente.

CONCLUSIONES

Las cubiertas de quitosán y quitosán compuesto retardan a diferentes velocidades la maduración del mango bajo las condiciones ambientales establecidas en este trabajo, ayudando a mantener las características deseables por un período de almacenamiento mayor sin la presencia de infección fúngica, sin embargo sólo el efecto del recubrimiento de quitosán es significativo.

Los recubrimientos de quitosán y quitosán compuesto ayudan a reducir significativamente la tasa de pérdida de peso en un 33% y 20% respectivamente en relación al mango control.

Los mangos cubiertos con quitosán presentaron valores significativamente diferentes de pH y % de acidez en comparación a los mangos control y los cubiertos con quitosán compuesto. La variación del contenido de sólidos solubles es significativamente menor en un 71% en mangos cubiertos con quitosán, obteniendo una diferencia significativa en el índice de madurez de este grupo.

Los mangos recubiertos con quitosán permanecieron más firmes, sin embargo el efecto de los dos recubrimientos sobre el parámetro de dureza no es significativo. Por otro lado, la variación en el % de ARD y ART fue significativamente menor en 19.8 % y 66% respectivamente en los mangos cubiertos con quitosán, en relación con los otros dos tratamientos.

La respuesta fisiológica de los mangos recubiertos con quitosán y quitosán compuesto, indica que hay una reducción significativa de la tasa de respiración del 15.6 % y 7.5 % respectivamente en relación al control.

Con respecto al recubrimiento de quitosán compuesto su efecto no presentó valores significativos en los parámetros de calidad y madurez evaluados en relación con los valores del tratamiento control.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvaro, J.D. Aguilera J. MÉTODOS PARA MEDIR PROPIEDADES FÍSICAS EN INDUSTRIAS DE ALIMENTOS. Editorial Acribia. España. (2001).
2. AOAC. OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Food composition, additives, natural, contaminants. Vol. I,II. (1990).
3. Arthey, D. Ashurst, P. PROCESADO DE FRUTAS. Ed. Acribia. España. (1997).
4. Becerra S. ENVASE Y EMBALAJE DE ALIMENTOS: BIOENVASES Y PELÍCULAS COMESTIBLES DE QUITOSÁN EN TOMATE. Tesis. FESC (2001).
5. Berk, Z. INTRODUCCIÓN A LA BIOQUÍMICA DE LOS ALIMENTOS. Ed. El manual moderno. México. (1986).
6. Bosquez, E. Vernon, E. PELÍCULAS Y CUBIERTAS COMESTIBLES PARA LA CONSERVACIÓN EN FRESCO DE FRUTAS Y HORTALIZAS. Industria Alimentaria. 13-36. (2000).
7. Butler B, Vergano P. MECHANICAL AND BARRIER PROPERTIES OF EDIBLE CHITOSAN FILMS AS AFFECTED BY COMPOSITION AND STORAGE. Journal of Food Science Vol. 61. 953-961. (1996).
8. Carner, C. Vergano, P. CHITOSAN FILM MECHANICAL AND PERMEATION PROPERTIES AS AFFECTED BY ACID, PLASTICIZER, AND STORAGE. Journal of Food Science. Vol. 63. 1049-1053. (1998).
9. Cheftel, JC. INTRODUCCIÓN A LA BIOQUÍMICA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS. Ed. Acribia. España. (1992).
10. Cisneros L, Zevallos. INTERNAL MODIFIED ATMOSPHERES OF COATED FRESH FRUITS AND VEGETABLES: UNDERSTANDING RELATIVE HUMIDITY EFFECTS. Journal of Food Science. Vol.67 no. 8. (2002).
11. Correa, S. ESTUDIO DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA PARA EL USO INTEGRAL DEL MANGO. Tesis. FES-C. (2002).
12. Devlieghere F, Vermeulen J. CHITOSAN: ANTIMICROBIAL ACTIVITY, INTERACTIONS WITH FOOD, COMPONENTES AND APPLICABILITY AS A COATING ON FRUIT AND VEGETABLES. Food microbiology. Vol.21.703-714.(2000).

13. Egan, H. Et. al. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ALIMENTOS DE PEARSON. Ed. Continental. México. (1988).
14. El Ghaouth, A. Arul, J. CHITOSAN COATING EFFECT ON STORABILITY AND QUALITY OF FRESH STRAWBERRIES. *Journal of Food Science*. Vol. 56. 1618-1631.(1991).
15. FAO.FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2004) base de datos FAOSTAT. Disponible en <http://www.fao.org>.
16. Fennema, O. INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DE LOS ALIMENTOS. Ed. Acribia. España. (1985).
17. Garnica, O. PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULAS MODIFICADAS DE QUITOSÁN. Tesis. FES-C (2001).
18. Hadwiger L, Fristensky B. CHITOSAN, A NATURAL REGULATOR IN PLANT-FUNGAL PATHOGEN INTERACTIONS INCREASES CROP YIELDS. New York, Academic Press. 291.
19. Hadwiger L, Kendra D. CHITOSAN BOTH ACTIVATE GENES IN PLANTS AND INHIBITS RNA SYNTHESIS IN FUNGI. *Chitin in Nature and Technology*. 5:165-178.
20. Herrero, A. Guardia, J. CONSERVACIÓN DE FRUTOS (MANUAL TÉCNICO). Ed. Mundi Prensa. España. (1992).
21. Infoagro. EL CULTIVO DEL MANGO. (2004). Disponible en <http://www.infoagro.com/frutas/frutas.tropicales/mango.htm>.
22. Infoaserca. REVISTA CALIDADES AGROPECUARIAS. (2004). Disponible en <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/indice.asp?numero=318tema=mango>
23. Kittur, F. Saroja N. POLYSACCHARIDE-BASED COMPOSITE COATING FORMULATIONS FOR SHELF- LIFE EXTENSION OF FRESH BANANA AND MANGO. *Eur Food Res Technol*. No. 213. 306 – 311. (2001).
24. Krochta, J. De Mulder, C. EDIBLE AND BIODEGRADABLE POLYMER FILMS. *Food Technology*. Vol. 51. 60-74. (1997).
25. Leuba J, Stossel P. CHITOSAN AND OTHER POLIMNES ANTIFUNGAL ACTIVITY AND INTERACTION WITH BIOLOGICAL MEMBRANES. *Chitosan in Nature and Technology*. 5: 217-228.
26. Leyva, A. Ruiz,E. EFECTO DE LAS PELÍCULAS A BASE DE QUITOSAN Y ADITIVOS SOBRE AGUACATES VARIEDAD HASS. Tesis. FES-C (2004).

-
27. Martín, A. MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS DE ANÁLISIS. Ed. URMO. España. (1975).
 28. MendeHall, W. Sincich, t. PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA INGENIERÍA Y CIENCIAS. 4^{ta} . Ed. PrenticeHall- Pearson Education. México. (1997).
 29. McHugh, T. Senesi, E. APPLE WRAPS: A NOVEL METHOD TO IMPROVE THE QUALITY AND EXTEND THE SHELF LIFE OF FRESH- CUT APPLES. *Journal of Food Science*. Vol. 65. 480-485. (2000).
 30. Morales, J. Salazar, A. ESTIMACIÓN DEL EFECTO ANTIFÚNGICO DE UNA PELÍCULA DE QUITOSAN SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD Y GRADO DE MADUREZ DE LA FRESA FRAGARIA VESCA VARIEDAD SOLANA DURANTE SU VIDA ÚTIL. Tesis. FES-C.(2001).
 31. Mukherjee, S. THE MANGO BOTANY, PRODUCTION AND USES. Ed. CAB international. USA. (2000).
 32. Muzzarelli, C. Muzzarelli R. CHITIN RELATED FOOD SCIENCE TODAY. *AGROFood industry hi-tech*. Sep/ Oct.(2003).
 33. No H, Lee S. COMPARISON OF PHYSICOCHEMICAL, BINDING AND ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF CHITOSAN PREPARED WITHOUT AND WITH DEPROTEINIZATION PROCESS. *Journal of Agricultura of Food Chemistry*. Vol 51 No.26. 7659-7663. (2003).
 34. Pantastico, E. FISIOLÓGÍA DE LA POST RECOLECCIÓN, MANEJO Y UTILIZACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS TROPICALES Y SUBTROPICALES. ED. Continental. México. (1979).
 35. Park Hyun, J. Chinnan, M. EDIBLE COATINGS EFFECTS ON STORAGE LIFE AND QUALITY OF TOMATOES. *Journal of Food Sciencie*. Vol3. No.59.568-570. (1994).
 36. Pearson, P. TÉCNICAS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS. Ed. Acribia. España. (1997).
 37. Primo, E. QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS. Ed. Síntesis. (1998)
 38. Romanazzi, G. Nigro, E. EFFECTS OF PRE- AND POSTHARVEST CHITOSAN TREATMENTS TO CONTROL STORAGE GREY MOLD OF TABLE GRAPES. *Journal of Food Science*. Vol. 67, No. 5. 1862-1867. (2002).

39. Salankhe, D. Desai B. POSTHARVEST BIOTECHNOLOGY OF FRUITS. Vol. I. Ed. CRC. USA. (2000).
40. Salvador, L. RECUBRIMIENTO DE QUITOSÁN EN AGUACATE. Tesis. FES-C. (1999).
41. Srinivasa, P. Revathy B. STORAGE STUDIES OF MANGO PACKED USING BIODEGRADABLE CHITOSAN FILM. Eur Food Res Technol. No. 215. 504 – 505. (2002).
42. Srinivasa, P. Susheelamma, N. QUALITY OF MANGO FRUITS DURING STORAGE: EFFECT OF SYNTHETIC AND ECO-FRIENDLY FILMS. Journal of the science of Food and Agriculture. Vol.84. 818-824. (2004).
43. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA (2004). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/margenes.Htm>
44. Shjaktbaek, G. Anthonsen, T. CHITIN AND CHITOSAN SOURCE, CHEMISTRY, BIOCHEMISTRY, PHYSICAL PROPERTIES AND APPLICATIONS. London and N.Y., Elsevier Applied Science. 245-310.(1988).
45. Souci, S. Fachmann, W. FOOD COMPOSITION ANDU NUTRITION TABLES. Ed. CRC. (2000).
46. Torres, J. Dewitt-Mireles, C. TWO FOOD APPLICATIONS OF BIOPOLYMERS: EDIBLE COATINGS CONTROLLING MICROBIAL SURFACE SPOILAGE AND CHITOSAN USE TO RECOVER PROTEINS FORMA AQUEOUS PROCESSING WASTES. Es. American Chemical Society, Washington D.C. (1999).
47. Will, R. Et al. INTRODUCCIÓN A LA FISIOLOGÍA Y MANIPULACIÓN POSCOSECHA DE FRUTAS, HORTALIZAS Y PLANTAS ORNAMENTALES. Ed. Acribia. España (1999).
48. Will, R, Et al. FISIOLOGÍA Y MANIPULACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS POST-RECOLECCIÓN. Ed. Acribia. España (1984).
49. Zambrano, J. Materano W. EFECTO DEL TRATAMIENTO DE INVERSIÓN EN AGUA CALIENTE SOBRE EL DESARROLLO DE DAÑOS POR EL FRÍO EN FRUTOS DE MANGO(*mangifera indica l.*). Disponible en http://www.pncta.com.mx/pages/pacta_investigaciones_96b.as

ANEXOS

APÉNDICE 1

Modelo estadístico utilizado para analizar los resultados de: Pérdida de peso, Conductividad eléctrica, pH, % ARD y ART, Tasa de respiración

Modelo Estadístico Completo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

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 a Probar

a) ¿ Una sola línea caracteriza la pérdida de peso o las 3 líneas son diferentes?.

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

H_A = Al menos una β es $\neq 0$

b) Para probar si las líneas tienen pendientes diferentes

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

$$H_A = \beta_4 \neq 0 \text{ ó } \beta_5 \neq 0$$

c) Para probar si

$$H_0 = \beta_5 = 0$$

$$H_A = \beta_5 \neq 0$$

d) Para probar si

$$H_0 = \beta_4 = 0$$

$$H_A = \beta_4 \neq 0$$

Prueba de Hipótesis

a) Prueba para comparar

$$\text{Modelo reducido } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

$$\text{Modelo completo } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

$$\text{Estadística de prueba: } F = (SSE_R - SSE_C) / (k-g) / (SSE_R - SSE_C) / [n - (k + 1)]$$

Donde:

SSE_R = suma de errores al cuadrado para el modelo reducido

SSE_C = suma de errores al cuadrado para el modelo completo

$(k - g)$ = Número de parámetros β especificado en H_0 (es decir, número de parámetros probados).

$(k + 1)$ = Número de parámetros β en el modelo completo (incluido β_0).

N = Tamaño total de la muestra

$F_{\text{calculada}} < p < 0.05$ se rechaza H_0

El modelo sencillo no es adecuado

b) Prueba para comparar

$$\text{Modelo reducido } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

$$\text{Modelo completo } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

c) Prueba para comparar

$$\text{Modelo reducido } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2$$

$$\text{Modelo completo } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

d) Prueba para comparar

$$\text{Modelo reducido } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_5 X_1 X_3$$

$$\text{Modelo completo } E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3$$

Estimación de Parámetros

1. Ecuación para el grupo de mangos controles

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2(0) + \beta_3(0) + \beta_4 X_1(0) + \beta_5 X_1(0) \\ = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

2. Ecuación para el grupo de mangos recubiertos con quitosán compuesto

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2(0) + \beta_3(1) + \beta_4 X_1(0) + \beta_5 X_1(1) \\ = (\beta_0 + \beta_3) + (\beta_1 + \beta_5) X_1$$

3. Ecuación para el grupo de mangos recubiertos con quitosán

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2(1) + \beta_3(0) + \beta_4 X_1(1) + \beta_5 X_1(0) \\ = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_4) X_1$$

RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA .

PARÁMETRO	A) F	P	B) F	P	C) F	P	D) F	P
Pérdida de peso (g/día)	34.11	1.7x10-13*	40.93	4.2x10-11*	81.06	7.01x10-12*	27.92	3.04x10-6*
% de pérdida de peso.	89.08	1.3x10-21*	78.42	7.5x10-16*	154.70	1.2x10-16*	56.06	1.32x10-9*
Conductividad (ms)	24.36	4.68x10-7*	10.80	0.00082*	21.29	0.00021*	3.46	0.0790
pH	5.60	0.00414*	3.64	0.00585*	6.93	0.01684*	0.647	0.4316
Sólidos soluble (°Brix)	47.75	2.45x10-9*	27.09	3.72x10-6*	47.02	2.04x10-6*	1.22	0.2825
Índice de madurez (°Briz/ acidez)	10.85	0.00651*	7.85	0.02113*	14.94	0.0083*	1.38	0.284
% ARD	15.33	1.26x10-5*	5.97	0.01026*	10.93	0.00392*	0.586	0.4538
% ART	8.68	0.00043*	3.025	0.07362*	5.2	0.03499*	.0108	0.7462
Tasa de respiración	33.89	9.9x10-11*	42.13	1.94x10-9*	81.89	4.4x10-10*	34.302	2.08x10-6*

* p<0.05 (existe diferencia significativa)

RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA ANOVA

PARÁMETRO	Control vs		Qitosán vs Compuesta <i>p</i>
	Qitosán <i>p</i>	Compuesta <i>p</i>	
% Acidez			
Día 3	0.000095*	0.171077	0.000038*
Día 5	0.006430*	0.332549	0.033479*
Día 8	0.000068*	0.514770	0.000137*
Dureza			
Día 3	0.0002*	0.2634	0.0074*
Día 5	0.2992	0.6707	0.4906
Día 8	0.1181	0.7277	0.1906

* $p < 0.05$ (existe diferencia significativa)