



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**EFFECTO DE PELÍCULAS COMESTIBLES FORMULADAS A
BASE DE ALGINATO Y GRENETINA EN LA VIDA ÚTIL DEL
MANGO CORTADO LISTO PARA CONSUMIR**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTAN:
GONZÁLEZ OLMOS MARÍA GUADALUPE
GUZMÁN MORFÍN INGRID**

ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

Efecto de películas comestibles formuladas a base de alginato y gretina en la vida útil del mango cortado listo para consumir

Que presenta la pasante Ingrid Guzmán Morffn

Con número de cuenta: 406007724 para obtener el título de:
Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 2 de mayo de 2011

PRESIDENTE	<u>Dra. Ma. de los Angeles Cornejo Villegas</u>	
VOCAL	<u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Miriam Alvarez Velasco</u>	
1er SUPLENTE	<u>I.A. María Guadalupe Pérez Loredo</u>	<u>M^a Guadalupe P. L.</u>
2º SUPLENTE	<u>I.A. Juana Gutiérrez Bautista</u>	

La frase más excitante que se puede oír en ciencia, la que anuncia nuevos descubrimientos, no es ¡Eureka! (¡Lo encontré!) sino "Es extraño..."

Isaac Asimov. Bioquímico y escritor científico ruso-estadounidense.





AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar esta tesis a la persona que me dio la vida y que me vio crecer desde hace 23 años: a mi madre querida **Gitty Morfín Herrera**. Que sin duda luchó conmigo para salir adelante a pesar de las dificultades y que hoy sé logra uno de los más grandes sueños, darte este título. Madre te amo y te quiero mucho.

A mi padre **Felipe Guzmán R.** que sin importar nada me dió su figura paterna proporcionándome su cariño, apoyo y afecto logrando así darme un ejemplo de vida, enseñándome que debo salir adelante y luchar por mis ideales. Te quiero mucho también, gracias por todo.

A mis tres hermanas **Cinthia, Ariadna y Monserrat** por compartir conmigo nuestra niñez, adolescencia, juventud y lo que nos falta... las quiero mucho. Y a la nueva integrante de la familia **Celestita** mi sobrinita, también llegaste sorprendiendo a toda la familia, te quiero mucho.

A mi tía **Luz María Morfín Herrera** un agradecimiento especial porque también estuviste allí apoyando cuando más lo necesitaba, dándome aliento y ánimos para no renunciar a mis proyectos y a superar las dificultades. Jamás olvidaré tus consejos y también sabes que te quiero mucho.

A mi amigueta **Lucero**, que aún recuerdo el primer día que te conocí. Nunca pensé que seríamos las mejores amigas de toda la carrera, gracias por esas experiencias, anécdotas, risas, carcajadas, llanto, pero sobre todo: ¡lo logramos amigueta llegamos al final de este viaje!

A mi compañera de tesis **Lupita** por compartir este trabajo conmigo y quien me brindó su confianza para estar dentro de este proyecto, pues aquí se ven nuestros esfuerzos realizados después de tanto tiempo. Gracias, por que al final de toda esta odisea encontremos nuestros propios caminos, esperando verte en un futuro triunfando por la vida y recordar esta anécdota.

También agradezco a **Karla Ortiz Torres** por mantener la amistad desde hace mucho tiempo y por tus consejos, siempre estuviste allí presente en mi mente y en mi corazón. Te quiero mucho amiga.

Ingrid G. M.



AGRADECIMIENTOS

*Esta tesis es dedicada a la persona que desde el cielo me cuida mi papá **José Luis González** por haber sido mi apoyo y guía, al que siempre he admirado, gracias a eso he llegado a realizar una de mis grandes metas que es para mí la mejor de las herencias.*

*A quien jamás encontrare la forma de agradecerle a mi mamá **Laura Olmos**: por sacarnos adelante a mis hermanos y a mí cuando más lo necesitábamos, por estar conmigo y por tus cuidados en todo este tiempo.*

*A mi hermana **Gaby** o mi otro yo, por haberme hecho reír con cada una de tus locuras y poner a prueba mi paciencia, por ser como eres y aguantarme y sobre todo por motivarme hacer las cosas de la mejor manera.*

*A mi hermano **Luis Ángel** por estar hay en cada momento y aunque no he sabido agradecértelo tu sabes que cuentas conmigo para lo que desees realizar.*

*A mi hermanito **Gustavito** te dedico esta tesis por haber sido un niño tan especial en mi vida.*

*A mis mejores amigas **Yazmin, Nancy y Marisol (Patán Club)** por brindarme siempre su apoyo y comprensión en el momento que más lo necesite y ustedes lo saben, que con sus locuras y sus ocurrencias estuvieron conmigo sin ustedes esta etapa de mi vida no hubiera sido tan feliz. Gracias por dejarme entrar en sus vidas.*

*A mis amigas **Maricela (madrinita), Ivonne y Yenifer** por sus preciados consejos y días llenos de risa, por darme sus hombros para llorar, estuvieron ahí en diferentes etapas de mi paso por la universidad.*

*A mi compañera **Ingrid** por haber realizado este proyecto juntas, por esos arduos días de trabajo y claro por esas horas en el frío, se que sin tu esfuerzo y dedicación esta tesis no hubiera podido ser lo que es, te deseo un futuro de triunfos y satisfacciones, gracias por compartir esta etapa.*

*A mis amigos no crean que los olvide vecinos **Máximo y David**, que sin sus ocurrencias sabré que contare con ustedes más allá de la universidad. Y a todos mis amigos que hice fuera de la carrera muchas gracias....*

Lupita G. O.



*Agradecemos a nuestra profesora y asesora la **Dra. María Andrea Trejo Márquez** por su apoyo, enseñanza y dedicación para la elaboración de esta tesis. Usted ha sido más que una profesora una amiga en quién contar, en lo personal le agradezco los momentos tan inolvidables que pase en su laboratorio, gracias por su comprensión y paciencia. Me enorgullece ser su alumna y creo que las palabras sobran para decirle lo mucho que hizo por nosotros.*

Ingrid G. M.

*A la asesora **Dr. Ma. Andrea Trejo Márquez** por brindarme la oportunidad de recurrir a su experiencia, apoyarme en todo momento, por sus sugerencias y acertados aportes para la elaboración de esta tesis, y sobre todo por brindarme su afecto y su amistad y por hacer las horas de taller más que un estudio si no una convivencia entre todos.*

Lupita G. O.

*A la profesora **I.A Lupita Pérez Loredó** por sus valiosas críticas, comentarios y direcciones al discutir los resultados de este trabajo, por su enseñanza y dedicación porque de alguna manera forma parte de lo que somos hoy.*

*A nuestra futura colega **I.A. Selene Pascual** por su permanente disposición y desinteresada ayuda, agradecerle sus sugerencias y comentarios para la mejora continúa del trabajo realizado.*

*A nuestra máxima casa de estudios la **UNAM** que nos brindó la oportunidad de ocupar un lugar en esta privilegiada universidad y realizar nuestros estudios profesionales.*

*A nuestros sinodales: la **Dra. María Cornejo Villegas**, la profesora **I.A. Miriam Álvarez Velasco** y la profesora **I.A, Juanita Gutiérrez Bautista** por su asesoría en la mejora de este proyecto.*



*A todos los compañeros que forman parte del laboratorio postcosecha: **Juanki, Ari, Liz, Lorena, Lucero, Vero, Claudia, Adriana y Mauricio** por brindarnos su amistad y compañerismo, motivándonos para que también terminen su proyecto de tesis. ¡Sí se puede!*

*También queremos agradecer a la generación **I.A. 30** donde compartimos tristezas, alegrías, desvelos, enojos, euforia, triunfos, esfuerzos entre otras emociones que nos hicieron llegar hasta donde hoy estamos...*

!Goya, Goya, Cachum, Cachum, Ra, Ra, Universidad!

*A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** institución la cual siempre nos brindo su apoyo y que a la vez permitiera alcanzar unos de nuestros sueños.*

*El presente trabajo fue financiado por el proyecto **PAPIME (PE202610)** de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM.*



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ABREVIATURAS.....	x
Resumen.....	2
Introducción.....	5
1 Antecedentes	8
1.1 Generalidades del mango.....	8
1.1.1 Historia.....	8
1.1.2 Clasificación botánica.....	8
1.1.3 Descripción botánica.....	9
1.1.4 Variedades de mango.....	9
1.1.4.1 Variedades de México.....	11
1.2 Aspectos socioeconómicos.....	11
1.2.1 Producción mundial.....	11
1.2.2 Producción nacional.....	11
1.3 Madurez comercial y fisiológica.....	14
1.4 Composición química y nutricional.....	14
1.5 Cambios durante la maduración.....	15
1.5.1 Respiración.....	15
1.5.2 Producción de etileno.....	16
1.5.3 Cambios en la composición química y valor nutrimental.....	16
1.5.4 Propiedades sensoriales.....	17
1.5.5 Acción de las enzimas.....	17
1.6 Frutas mínimamente procesadas o alimentos de IV gamma.....	18
1.6.1 Origen.....	18
1.6.2 Definición.....	18
1.6.3 Operaciones básicas durante el procesamiento de frutas y vegetales frescos cortados listos para consumir.....	19
1.6.4 Causas de deterioro de los productos mínimamente procesados.....	25
1.6.5 Alteraciones en frutas mínimamente procesadas.....	26



1.6.5.1 Pardeamiento enzimático	26
1.6.5.2 Ablandamiento.....	28
1.6.5.3 Pérdida de agua	30
1.6.5.4 Alteraciones de microorganismos.....	31
1.6.6 Tratamientos químicos para productos frescos cortados	32
1.6.7 Tratamientos físicos para productos frescos cortados	33
1.7 Recubrimientos comestibles	34
1.7.1 Definición	34
1.7.2 Propiedades de los recubrimientos	37
1.7.2.1 Propiedades de transporte de vapor de agua.....	37
1.7.2.2 Propiedades de transmisión de CO ₂ y O ₂	40
1.7.2.3 Propiedades mecánicas	40
1.7.2.4 Propiedades ópticas	40
1.7.3 Componentes de los recubrimientos	40
1.7.3.1 Proteínas	41
1.7.3.2 Lípidos.....	41
1.7.3.3 Polisacáridos	42
1.7.3.4 Compuestos	42
1.7.3.5 Aditivos	43
1.7.3.6 Surfactantes y emulsificantes	43
1.7.3.7 Plastificantes	43
1.7.3.8 Agentes microbianos y antioxidantes	44
1.8 Legislación.....	44
2 Objetivos	47
2.1 Objetivos Particulares.....	47
3 Materiales y métodos	49
3.1 Material biológico.....	51
3.2 Selección y acondicionamiento de la materia prima	51
3.3 Evaluación física, química, fisicoquímica y bioquímica del mango	51
3.4 Evaluación del efecto de diferentes antioxidantes sobre el control del pardeamiento enzimático en el mango fresco cortado listo para consumir	52
3.4.1 Elaboración de mango fresco cortado listo para consumir con los tratamientos químicos	52



3.5. Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina y alginato en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración.....	55
3.5.1 Selección de la formulación del recubrimiento	55
3.5.2 Elaboración del recubrimiento comestible	56
3.6 Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración.....	56
3.7 Aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración.....	58
3.8 Evaluación del efecto de los recubrimientos comestibles sobre los parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales	60
3.9 Métodos analíticos	60
3.9.1 Parámetros químicos	60
3.9.2 Parámetros de calidad	63
3.9.3 Parámetros bioquímicos.....	65
3.9.4 Parámetros microbiológicos	66
3.10 Método estadístico.....	66
4 Resultados y discusión.....	68
4.1 Rendimientos del mango ‘Manila’	68
4.2 Caracterización química del mango variedad ‘Manila’ en dos estados de madurez.....	68
4.3 Caracterización físico-química del mango variedad ‘Manila’ en dos estados de madurez.....	70
4.4 Caracterización de la actividad enzimática (polifenoloxidasas y peroxidasa) en el mango variedad ‘Manila’ en dos estados de madurez: comercial y fisiológico	71
4.5 Evaluación de la actividad enzimática en el mango variedad ‘Manila’ fresco cortado aplicando los tratamientos químicos para inhibir el pardeamiento enzimático (PPO y PDO)	71
4.5.1 Efecto en la actividad de la peroxidasa (PDO).....	72
4.5.2 Efecto en la actividad de la polifenoloxidasas (PPO)	73
4.6 Efecto sobre parámetros de calidad, nutricional, bioquímicos, sensoriales y microbiológicos en el mango variedad ‘Manila’ fresco cortado listo para consumir aplicando los recubrimientos a base de grenetina en dos estados de madurez	75
4.6.1 Determinación de pH.....	76
4.6.2 Determinación de acidez.....	78



4.6.3 Determinación de sólidos solubles	82
4.6.4 Determinación de luminosidad	85
4.6.5 Determinación de pérdida de peso.....	91
4.6.6 Determinación de liberación de líquido	94
4.6.7 Determinación de vitamina C	97
4.6.8 Efecto en la actividad de la peroxidasa y polifenoloxidasas.....	100
4.6.9 Evaluación de los parámetros sensoriales	107
4.6.10 Evaluación de los parámetros microbiológicos	112
4.7 Evaluación de los parámetros de calidad, nutricional y bioquímicos, en el mango variedad 'Manila' fresco cortado listo para consumir aplicando los recubrimientos a base de alginato en dos estados de madurez	116
4.7.1 Determinación de pH.....	116
4.7.2 Determinación de acidez.....	118
4.7.3 Determinación de sólidos solubles	120
4.7.4 Determinación de luminosidad	122
4.7.5 Determinación de pérdida de peso.....	127
4.7.6 Determinación de liberación de líquido	128
4.7.7 Determinación de Vitamina C.....	131
4.7.8 Efecto en la actividad de la peroxidasa y polifenoloxidasas.....	134
4.7.9 Evaluación de los parámetros sensoriales	139
4.7.10 Evaluación de los parámetros microbiológicos	145
Conclusiones.....	148
Recomendaciones.....	151
Referencias	153



ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango	9
Tabla 2. Características del árbol de mango	10
Tabla 3. Características de las principales variedades de mango que se cultivan en México	12
Tabla 4. Principales países productores de mango en toneladas	13
Tabla 5. Contenido nutricional de la fruta de mango	14
Tabla 6. Gama de alimentos	19
Tabla 7. Tratamientos químicos usados para la inhibición de la actividad enzimática	33
Tabla 8. Tecnologías emergentes usadas en la mejora de la calidad de productos mínimamente procesados	35
Tabla 9. Formulaciones de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas.....	37
Tabla 9. Formulaciones de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (continuación).....	38
Tabla 10. Diseño experimental de los antioxidantes	52
Tabla 11. Formulaciones a base de gretina y aditivos para la conservación del mango fresco cortado.....	55
Tabla 12. Formulaciones a base de alginato y aditivos para la conservación del mango fresco cortado.....	55
Tabla 13. Descripción de variables	66
Tabla 14. Rendimiento del mango.....	68
Tabla 15. Composición química del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez	69
Tabla 16. Parámetros físico-químicos del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez.....	70
Tabla 17. Parámetros bioquímicos del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez	71
Tabla 18. Porcentajes de actividad residual de la PDO en dos estados de madurez	72
Tabla 19. Porcentajes de actividad residual de la PPO en dos estados de madurez	74
Tabla 20. Parámetros microbiológicos en mango 'Manila' fresco cortado en estado de madurez fisiológico con recubrimiento a base de gretina	114
Tabla 21. Parámetros microbiológicos en mango 'Manila' fresco cortado en estado de madurez comercial con recubrimiento a base de alginato.....	145



ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Principales productores de mango en México año 2010.....	13
Figura 2. Mango ‘Manila’	14
Figura 3: Diagrama de flujo de las operaciones unitarias más comunes para productos mínimamente procesados	20
Figura 4. Recolección a) manual y b) mecánica.....	21
Figura 5. Sistema de lavado por aspersion	23
Figura 6. Mecanismo cinético propuesto para la oxidación de o-difenol (catecol [A]) y un monofenol (fenol [B])	28
Figura 7. Estructura de algunos sustratos naturales de la PPO	29
Figura 8. Mecanismo de acción de las enzimas sobre el sustrato pectina.....	29
Figura 9. Daño a nivel celular originado por la operación de corte.....	31
Figura 10: Cuadro Metodológico	50
Figura 11. Material biológico para la experimentación	51
Figura 12. Selección y clasificación del mango por color verde y amarillo	51
Figura 13. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir.....	52
Figura 14. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con recubrimientos a base de gretina.....	56
Figura 15. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con recubrimientos a base de alginato.....	59
Figura 16. Estufa de aire caliente para determinar humedad.....	61
Figura 17. Espectrofotómetro UV	62
Figura 18. Mufla para incineración de cenizas	62
Figura 19. Penetrómetro manual.....	63
Figura 20. Refractómetro manual.....	63
Figura 21. Potenciómetro manual	64
Figura 22. Acidez titulable	64
Figura 23. Efecto del recubrimiento a base de gretina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de madurez comercial A) Gnetina 0.5% B) Gnetina 1% y C) Gnetina 2% adicionado con AE 0.25 y 0.5%.....	77
Figura 24. Efecto del recubrimiento a base de gretina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de madurez fisiológica A) Gnetina 0.5% B) Gnetina 1% y C) Gnetina al 2% y AE 0.25 y 0.5%	78
Figura 25. Efecto del recubrimiento a base de gretina (GR) y aceite esencial de limón(AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la acidez en el estado de madurez comercial A) Gnetina 0.5% B) Gnetina 1% C) Gnetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	80
Figura 26. Efecto del recubrimiento a base de gretina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para	



consumir sobre la acidez en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	81
Figura 27. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre los sólidos solubles en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	83
Figura 28. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre los sólidos solubles en el estado de madurez fisiológico A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	84
Figura 29. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	87
Figura 30. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	88
Figura 31. Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de grenetina en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.....	90
Figura 31 (continuación). Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de grenetina en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.....	91
Figura 32. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	92
Figura 33. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	93
Figura 34. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la liberación de líquido en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	95
Figura 35. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la liberación de líquido en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	96
Figura 36. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la vitamina C en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	97



Figura 37. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la vitamina C en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	99
Figura 38. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PDO en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	102
Figura 39. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PDO en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	103
Figura 40. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PPO en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.....	105
Figura 41. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón(AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PPO en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% y C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.	106
Figura 42. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez comercial en la aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento.....	108
Figura 43. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez fisiológico en la aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento.....	110
Figura 44. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	118
Figura 45. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de acidez titulable en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica.....	119
Figura 46. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de sólidos solubles en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica.....	121
Figura 47. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	123



Figura 48. Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de alginato en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.....	126
Figura 49. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	128
Figura 50. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la liberación de líquido en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	130
Figura 51. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de vitamina C en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	132
Figura 52. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de PDO en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	136
Figura 53. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el % de actividad residual de la PPO en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica	138
Figura 54. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez comercial en la aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento.....	140
Figura 55. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez fisiológico en la aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento.....	144



ABREVIATURAS

CEL: celulosas

L: luminosidad

LOX: lipoxigenasa

mg: miligramos

PDO: peroxidasa

PE: pectinesterasas

PEL: pectatoliasa

PG: poligalacturonasa

PPO: polifenoloxidasas

RC: recubrimiento comestible

TVA: transmisión al vapor de agua

Vit: vitamina

1-MCP: 1-Metilciclopropeno



Resumen



Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina y alginato para mantener la calidad, mejorar la inocuidad y alargar la vida útil del mango variedad manila (*Mangifera indica L.*) fresco cortado listo para consumir.

Mangos de variedad 'Manila' en dos estados de madurez comercial y fisiológica se utilizaron para el desarrollo de productos frescos cortados listos para consumir. Las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas del mango fueron evaluadas.

Los frutos se seleccionaron por las características físicas de tamaño y color; se procesaron y sumergieron en soluciones de ácido ascórbico y ácido cítrico (0.5 y 1% p/v) durante 2 minutos para seleccionar el mejor antioxidante. Después de obtener las mejores concentraciones de los antioxidantes (ácidos ascórbico y cítrico), se formularon 6 recubrimientos comestibles a base de grenetina 0.5, 1 y 2% p/v, adicionando como agente antimicrobiano natural aceite esencial de limón al 0.25 y 0.5% p/v y como aditivos glicerol al 1% v/v y Tween al 0.6% v/v. Los productos se almacenaron durante 9 días para los frutos en estado de madurez comercial y 12 días para los de estado de madurez fisiológica a 4°C y se evaluaron los parámetros de calidad, sensorial, nutrimental y microbiológicos.



Las actividades enzimáticas de la peroxidasa (PDO) y polifenoloxidasas (PPO) presentaron una mayor inhibición con el uso de los ácidos ascórbico al 1% p/v y cítrico al 0.5% p/v incorporándose éstos a la matriz de los recubrimientos comestibles. Tanto en las formulaciones de grenetina y alginato se obtuvo que el pH, la acidez y los sólidos solubles no cambiaron significativamente ($p \geq 0.05$) con respecto al control, la luminosidad aumentó de 2-6 % para el estado de madurez comercial y un aumento de 17-19% para el estado de madurez fisiológico. La pérdida de peso disminuyó en un 60% y la liberación de líquido en un 50% con la aplicación del recubrimiento con la mayor concentración (2% p/v). La vitamina C se aumentó hasta cinco veces más con respecto al grupo control, los porcentajes de actividad residual de la peroxidasa (PDO) se vio disminuida hasta en un 50% en el estado de madurez fisiológico, de igual forma la polifenoloxidasas (PPO) fue inhibida en un 78%. Los recubrimientos que tuvieron mayor aceptación sensorial fueron los mangos recubiertos con grenetina que con alginato en un 80 % y los mangos con alginato al 2% p/v presentaron la menor cuenta microbiana.



Introducción



Introducción

El mango (*Mangifera indica L.*) es uno de los frutos de mayor importancia ya que ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas (Shaw *et al.*, 1998). Es un fruto climatérico considerado como uno de los frutos preferidos, a causa de su atractivo color, apariencia, sabor delicioso y agradable, fragancia y excelentes propiedades nutricionales, que lo hacen ser un producto ampliamente consumido, generalmente de manera fresca (Mitra y Baldwin, 1997).

Dentro de todas las variedades de mango de mayor comercialización en nuestro país, la variedad 'Manila' con un 24% de superficie cultivada es una de las más aceptadas en el mercado nacional (SIAP/SAGARPA, 2007). La introducción en los mercados de los productos frescos cortados es una forma de incrementar el consumo del mango y para poder asegurar la estabilidad, calidad nutricional y organoléptica de este tipo de productos, debe conocerse la fisiología del fruto, tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del producto original que puedan verse afectados por la manipulación y el almacenamiento.

Los productos mínimamente procesados se obtienen a través de diversas operaciones unitarias de preparación, las cuales producen cambios directos en las frutas frescas, tales como la pérdida de agua, pardeamiento enzimático, ablandamiento por rompimiento de tejidos, aumento en la tasa respiratoria. Éstos fenómenos fisiológicos son responsables de los cambios bioquímicos que conllevan a la degradación de propiedades sensoriales (Alzamora *et al.*, 2000).

Para preservar la calidad de éstos productos se aplican diversos métodos físicos o químicos como: refrigeración, atmósferas modificadas, altas presiones, irradiación UV-C, así como la aplicación de 1-MCP, compuestos volátiles o recubrimientos comestibles.



Los recubrimientos comestibles deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas, entre los que se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno, y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptables, ser estables tanto desde el punto de vista fisicoquímico como microbiológico, además de poseer un costo razonable (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005).

Un uso potencial de los recubrimientos en frutas cortadas lo constituyen la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, entre otros y que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento (Guilbert y Biquet, 1996). El pardeamiento enzimático constituye una de las principales causas de deterioro en frutas cortadas, pudiendo ser evitado mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de las coberturas. Dichos compuestos pueden usarse solos o en combinación con otros aditivos, tales como antimicrobianos y agentes reafirmantes de la textura, con el fin de aumentar la vida útil del mango o frutas cortadas (Pizzocaro *et al.*, 1993; Son *et al.*, 2001). Diversas investigaciones sobre papaya, melón y manzana aplicando películas de alginato y goma gelana, así como en mangos Edwards y Tommy Atkins recubiertos con quitosano se han realizado (Castillo *et al.*, 2005).

Es por ello, que el objetivo del presente trabajo es la formulación y la evaluación de recubrimientos a base de grenetina y alginato conteniendo agentes antioxidantes y antimicrobianos para alargar la vida útil del mango 'Manila' cortado listo para consumir.



Antecedentes



1 Antecedentes

1.1 Generalidades del mango

1.1.1 Historia

El mango es originario de Asia, específicamente de la región Indo-Birmánica; tiene tras de sí una historia de más de 6000 años de domesticación. Este frutal se introdujo al país por los españoles en el año de 1779 a través de Nao de China, quienes trajeron las primeras variedades de las Islas Filipinas (León-García *et al.*, 2003).

Posteriormente a principios del siglo XIX se introdujeron mangos monoembrionicos desde las Antillas a la Costa del golfo de México, diseminándose por la región tropical del país. Los viveristas particulares introdujeron en 1950 germoplasmas de algunos cultivares obteniéndose en Florida EEUU, los cuales se distribuyeron en los estados del Pacífico Centro y Norte y después por la Región tropical de México. Estos cultivares fueron: Haden, Tommy Atkins, Kent, Keitt, Irwin y Zill; también llamados como mangos “petacones” (SEDER, 2005).

1.1.2 Clasificación botánica

Mangifera indica L., es el miembro más importante de los *Anacardiaceae* o familia del marañón. Tiene algunos parientes bien conocidos, tales como el marañón (*Anacardium occidentale* L.), el pistachero (*Pistacia vera* L.), los mombins (*Spondias* spp.) y la familiar hiedra venenosa o roble venenoso de Norteamérica (*Rhus toxicodendron* L. ó *R. radicans* L.), entre otros. Esta familia incluye 14 géneros en su mayoría árboles o arbustos que contienen una savia lechosa, amarga, y en algunos casos puede ser venenosa (INFOAGRO, 2007).

El género *Mangifera* comprende más ó menos 50 especies nativas del sureste de Asia o las islas circundantes, excepto una, *M. africana* que se encuentra en África. Sólo 3 ó 4 especies del grupo producen de frutas comestibles; sin embargo, muchas de las otras especies pueden ser de un valor potencial para fines de mejoramiento, puesto que ellas poseen flores con 5 estambres fértiles (INFOAGRO, 2007).



En la tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica del mango.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango

Posición taxonómica	
Clase	<i>Dicotiledóneas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anacardiaceae</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Indica</i>

Fuente: León-García *et al.* (2003)

1.1.3 Descripción botánica

Árbol frondoso de hasta 40 m, de copa redonda, siempre verde, con inflorescencia (panícula) provista de numerosas ramas, entre 550 hasta 4000 flores. El fruto es una drupa que varía en forma (redonda, ovalada, ovoideoblonda), tamaño (hasta más de 2 Kg) y color, dependiendo de la variedad (León-García *et al.*, 2003).

El mango es un cultivo de clima tropical y subtropical, por lo que su distribución geográfica se encuentra entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio; las condiciones de clima que requiere para un buen desarrollo y alta producción son: una época seca de por lo menos tres meses antes de la floración, una temperatura óptima considerada entre 24 y 27° C y una altitud máxima de 600 metros; para su buen desarrollo se prefieren los suelos bien drenados, profundos y fértiles (León-García *et al.*, 2003). En el tabla 2 se resumen las características tanto del árbol como del fruto del mango.

1.1.4 Variedades de mango

Como resultado del proceso de selección y mejoramiento que se ha llevado a cabo a través del tiempo, y más intensamente a partir del siglo pasado, existen numerosos cultivares o variedades con importancia comercial desarrollados en distintas partes del mundo.



Tabla 2. Características del árbol de mango

PARTE DEL FRUTO	CARACTERÍSTICAS
 Tronco	Constituye un árbol de tamaño mediano, de 10-30 m de altura. El tronco es más o menos recto, cilíndrico y de 75-100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris – café.
 Copa	La corona es densa y ampliamente oval o globular. Las ramitas son gruesas y robustas.
 Hojas	Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramitas, de pecíolo largo o corto, oblongo lanceolado, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por arriba, verde – amarillento por abajo, de 10-40 cm de largo, de 2-10 cm de ancho.
 Flores	Las flores polígamas, de 4 a 5 partes, se producen en las cimas densas o en la últimas ramitas de la inflorescencia y son de color verde–amarillento, de 0,2-0,4 cm de largo y 0,5-0,7 cm de diámetro cuando están extendidas.
 Fruto	Se trata de una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos, de 4-25 cm de largo y 1.5-10 cm de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, jugoso y sabroso. Su peso varía desde 150 g hasta 2 kg.
 Semilla	Es ovoide, oblonga, alargada, estando recubierta por un endocarpio grueso y leñoso con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la carne.

Fuente: Elaboración propia con información de INFOAGRO (2007)



Sin embargo, las más conocidas comercialmente, se pueden agrupar en tres grupos (León-García *et al.*, 2003):

- Variedades Rojas: Edward, Haden, Kent, Tommy Atkins, Zill y Keitt
- Variedades Verdes: Alphonse, Julie y Amelie.
- Variedades Amarillas: Ataulfo y Manila.

1.1.4.1 Variedades de México

Las principales variedades de mango que se producen en México son: Haden, Keitt, Tommy Atkins, Manila, Kent, Ataulfo. En la tabla 3 se presentan las principales características de las variedades de mango en México.

1.2 Aspectos socioeconómicos

1.2.1 Producción mundial

De acuerdo a los datos de la FAO la distribución de la producción mundial de mango está localizada en un 40% en la India, seguida de China con un 11% y Pakistán con un 7%, siendo estos los tres principales países productores de mangos en el mundo.

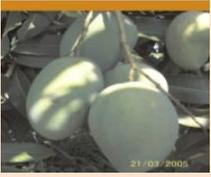
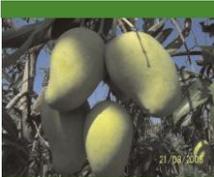
En el 2008 el principal país productor de mango en el mundo fue India con el 48% de la producción, cercana a los 14 millones de toneladas por año. China e Indonesia poseen cada uno el 14 y 7% de la producción mundial respectivamente, mientras que México participa con el 6% de la población mundial (Tabla 4).

1.2.2 Producción nacional

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) destacó que de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Guerrero fue la entidad que más aportó a la producción nacional en el 2010 con 299 mil 806 toneladas con un rendimiento de 14.048 por hectárea, destacando que produjo 2,378 toneladas por debajo del valor obtenido en el 2009 con 302 mil 184 toneladas de mango (SIAP/SAGARPA, 2010).



Tabla 3. Características de las principales variedades de mango que se cultivan en México

CULTIVAR	CARACTERÍSTICAS	RENDIMIENTO/ ÁRBOL
<p>Haden</p> 	<p>Producción temprana, pulpa rugosa y con poca fibra resistente al manejo. Algunos frutos maduran rápido de la pulpa cercana al hueso. Presenta chapeo rojo, pesa de 200 a 430 gramos.</p>	150 a 265 Kg
<p>Tommy Atkins</p> 	<p>Producción intermedia pulpa rugosa y con poca fibra. Resistente al manejo. Presenta desorden fisiológico congénito de un ahuecamiento en el pedúnculo. Tiene chapeo rojo. Peso de 300 a 470 gramos.</p>	150 a 265 Kg
<p>Manila</p> 	<p>Producción temprana, pulpa dulce con poca fibra. Poco resistente al manejo. Cáscara delgada. Amarillo. Peso de 200 a 275 gramos.</p>	150 a 200 Kg
<p>Kent</p> 	<p>Poca fibra y resistente al manejo. Producción tardía. Resistente a la antracnosis y mosca de la fruta. Verde amarillo con chapeo rojo. Peso de 500 a 825 gramos.</p>	100 a 300 Kg
<p>Keitt</p> 	<p>Poco alternante. Pulpa dulce y poca fibra. Producción tardía. Susceptible a roña y antracnosis. Verde amarillo con chapeo rojo. Peso de 600 a 800 gramos.</p>	130 Kg
<p>Ataulfo</p> 	<p>Poco alternantes. Resistente al manejo y pulpa sin fibra. Susceptible a la antracnosis. Amarillo. Con peso de 200 a 370 gramos.</p>	130 a 250 Kg

Fuente: SEDER (2005)



Tabla 4. Principales países productores de mango en toneladas

PAÍSES	2004	2005	2006	2007	2008
India	11,490,000	11,829,700	12,537,900	13,501,000	13,649,400
China	3,842,196	4,249,996	4,091,332	3,715,292	3,976,716
Indonesia	1,437,665	1,412,884	1,621,997	1,818,619	2,013,123
México	1,573,000	1,679,472	2,045,687	1,911,267	1,855,359
Tailandia	1,700,000	1,800,000	1,800,000	1,800,000	1,800,000
Pakistán	1,055,990	1,673,950	1,753,910	1,719,180	1,753,686
Brasil	949,610	1,002,211	1,217,187	1,272,180	1,272,180
Filipinas	986,614	1,003,273	919,030	1,023,907	884,011
Bangladesh	243,000	622,000	639,910	766,930	802,750
Nigeria	730,000	731,000	731,500	734,000	734,000

Fuente: FAO (2005)

Le sigue Nayarit con un monto de 249 mil 822 toneladas, al alcanzar rendimientos de 13.217 toneladas por hectárea, mientras que Chiapas logró una producción de 186 mil 423 toneladas con una utilidad casi 50 por ciento menor por hectárea al obtenido en el estado de Guerrero (SIAP-SAGARPA, 2010). Éstos valores se resumen en la figura 1, donde Guerrero representa el 22% de la producción total de mango, seguido de Nayarit con 19%, Chiapas con el 14%, Oaxaca 12%, Michoacán 8%, Sinaloa 9% y con el 16% el resto de los estados de la República Mexicana.

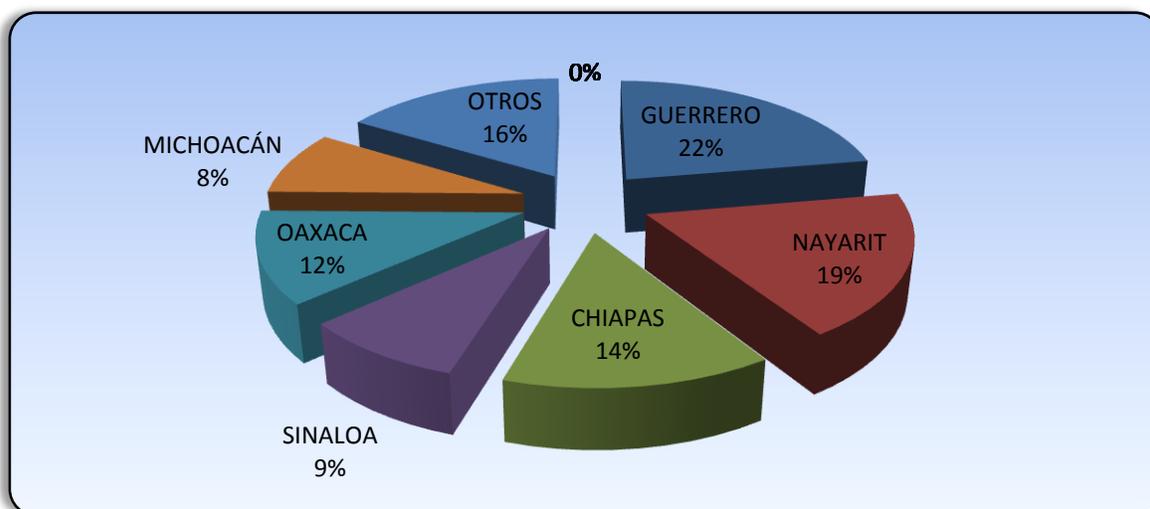


Figura 1. Principales productores de mango en México año 2010
Fuente: Elaborado con información de SIAP-SAGARPA (2010)



1.3 Madurez comercial y fisiológica

La madurez es la etapa de desarrollo que conduce a los cambios fisiológicos y/o comerciales. La madurez fisiológica es el estado de desarrollo cuando una planta o la parte de una planta luego de ser cosechado continúan madurando hasta lograr el sabor, aroma y otras características propias. La madurez comercial se refiere al estado de desarrollo cuando una planta o la parte de una planta posee los requisitos de sabor, aroma y textura que lo hacen apto para ser consumido (Lamikanra, 2002).

1.4 Composición química y nutricional

Desde el punto de vista del valor nutritivo, el mango (figura 2) es una fuente importante de vitaminas A y C. Su contenido nutricional se presenta en la Tabla 5 (León-García *et al.*, 2003).

Tabla 5. Contenido nutricional de la fruta de mango

CONTENIDO	100 g DE MUESTRA
Agua	83 g
Calorías	63 g
Proteínas	0.5 g
Grasas	0 g
Carbohidratos	15 g
Fibras	0.8 g
Calcio	10 mg
Hierro	0.5 mg
Vitamina "A"	600 i.u.
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.04 mg
Ácido ascórbico	3 mg

Fuente: IBPGR (1986)

La parte comestible del fruto total corresponde entre el 60 y el 75%. El componente mayoritario es el agua en un 84%. El contenido de azúcar varía de 10-20% y de las proteínas en un 0.5%. El ácido predominante es el ácido cítrico aunque también se encuentran el ácido málico, succínico, uránico, tartárico y oxálico en cantidades menores (León-García *et al.*, 2003).



Figura 2. Mango 'Manila'



1.5 Cambios durante la maduración

La maduración de las frutas está ligada a complejas modificaciones físicas y químicas. Fenómenos especialmente destacados son el ablandamiento, el endurecimiento y los cambios en el aroma, la astringencia y la coloración. Al ser recolectada, las frutas quedan separadas de su fuente natural de nutrientes, pero sus tejidos todavía respiran y desarrollan actividades metabólicas, cuya energía se obtiene de la oxidación de azúcares y de otros sustratos, como los ácidos orgánicos, con formación de CO₂ y de agua.

Todos estos procesos tienen gran importancia porque inciden en los cambios que se producen durante el almacenamiento, el transporte y la comercialización, afectando también en cierta medida el valor nutritivo de las frutas (Astiasaran y Martínez, 2003).

1.5.1 Respiración

La intensidad respiratoria de un fruto depende de su grado de desarrollo. A lo largo del crecimiento, se produce en primer lugar un incremento de la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta el estado de maduración. En una serie de frutas después de alcanzar un mínimo, hay un aumento más o menos rápido de la intensidad respiratoria hasta alcanzar un máximo, denominado pico climatérico, después del cual disminuye de nuevo. En general, la calidad óptima de las frutas se alcanza en un intervalo de tiempo, más o menos estrecho, alrededor de dicho pico (Astiasaran y Martínez, 2003).

El incremento de la respiración en el climaterio es tan característico que los frutos en general se dividen, según lo presenten o no en dos grupos, frutas climatérica y no climatérica (Astiasaran y Martínez, 2003).

Las frutas climatéricas suelen recolectarse antes del citado pico, de forma que terminan de madurar fuera del árbol. El climaterio también tiene lugar si las frutas permanecen en el árbol, pero entonces el proceso es más lento. Las frutas climatéricas maduras en el árbol son de mejor calidad, pero para la distribución comercial se recolectan antes, a fin de evitar pérdidas, ya que el periodo de conservación de la fruta madura es más corto (Astiasaran y Martínez, 2003).



1.5.2 Producción de etileno

El etileno tiene un papel importante en todos estos mecanismos y está calificado como hormona de la maduración. Este compuesto aumenta la permeabilidad de las membranas y acelera el metabolismo activando las enzimas oxidativas e hidrolíticas e inactivando los inhibidores de estas enzimas. Es preciso evitar la acumulación de esta hormona vegetal gaseosa por ventilación, producida por frutas maduras ya que se puede acumular en las cercanías de frutas todavía no maduras, desencadenando rápidamente el conjunto de reacciones asociadas a la maduración (Astiasaran y Martínez, 2003).

1.5.3 Cambios en la composición química y valor nutrimental

Los principales cambios durante la maduración de los frutos son ((Astiasarán y Martínez, 2003):

Azúcares: En general, al principio del almacenamiento de las frutas existe un aumento de la proporción de sacarosa y de azúcares reductores, coincide con la hidrólisis del almidón, lo que contribuye a incrementar el dulzor típico de las frutas maduras. Después de alcanzar un máximo, el contenido de azúcares reductores apenas varia, mientras que el de sacarosa disminuye sensiblemente

Pectinas: La textura de las frutas depende en gran parte de las pectinas que contienen. En algunas, como la manzana, la consistencia disminuye muy lentamente, pero en otras, como las peras, la disminución es muy rápida. Las variaciones en la consistencia se deben a la disminución del contenido de propectina, que se transforma en pectina soluble, con lo que el contenido en pectina total no varía.

Almidón: Durante el almacenamiento de las frutas, prácticamente desaparece todo el almidón que contienen en el momento de su recolección..

Ácidos: Los ácidos alifáticos sobre todo el málico y el cítrico, van disminuyendo con la maduración, y también los ácidos fenólicos, que se metabolizan a partir de un cierto grado de madurez. Esto produce la desaparición del sabor agrio y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros.



Vitamina C: En general, las frutas pierden vitamina C cuando maduran en el árbol y durante el almacenamiento; en este caso, la pérdida depende mucho de la temperatura, siendo mucho menor a una temperatura próxima a 0°C..

1.5.4 Propiedades sensoriales

Las principales propiedades sensoriales desarrolladas durante la maduración de frutos son (Pérez y Ramírez, 2010):

Aroma: Durante la maduración se producen ciertos compuestos volátiles que son los que proporcionan a cada fruta su aroma. La formación de aromas depende en gran medida de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche **Color:** La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con la descomposición de la clorofila, de modo que quedan al descubierto otros colorantes que antes enmascaraba dicho compuesto. Además aumenta la producción de colorantes rojos y amarillos característico de las frutas maduras. El contenido de carotenos, por ejemplo se incrementa fuertemente en los cítricos y el mango durante la maduración. La formación de otros colorantes como las antocianinas, suele estar activada por la luz.

1.5.5 Acción de las enzimas

Muchos de los efectos químicos y físicos que se observan durante la maduración de los frutos son atribuidos a acciones enzimáticas. Las enzimas que se encuentran de manera natural, pueden ser la causa de la pérdida de sabor, la aparición de colores indeseables hasta la pérdida de la calidad del mango. Las enzimas que generalmente se encuentran en el mango son: polifenoloxidasa, pectinmetilesterasa, peroxidasa, catalasa e invertasa (Badui, 2006). La textura de las frutas y las verduras se debe a la presencia de pectinas que forman parte de la pared celular, por lo que la acción de las pectinasas altera las características de estos alimentos. Estas enzimas se han clasificado en: pectinometilesterasas o pectinoesterasas que, al hidrolizar los enlaces éster metílico, liberan metanol y producen pectinas de bajo metóxido e incluso ácido poligalacturónico; son abundantes e importantes de las frutas (Badui, 2006).



1.6 Frutas mínimamente procesadas o alimentos de IV gamma

1.6.1 Origen

Los alimentos de IV gamma surgen como respuesta de la demanda del consumidor de productos frescos, sanos, de calidad y fácil preparación, conservando sus características originales en lo nutricional y organoléptico. Los primeros productos que se comercializaron como IV gama fueron lechugas y diferentes hortalizas de hoja. En los 90's se sugiere ampliar el mercado mediante producción de frutas frescas, que también fueron llamadas como productos: mínimamente procesados, de cuarta gama, frescos cortados listos para consumir. Esta innovación en ensaladas o cocktails de frutas comprende esencialmente cítricos y trozos de manzanas adicionadas con algún fruto de estación (melón, uva, fresa, etc.); pero la inestabilidad microbiológica y la susceptibilidad a diversas alteraciones dificultan su desarrollo comercial (Teullado *et al.*, 2005).

Estos alimentos denominados de la IV gama se les llaman así por el orden de aparición en la secuencia histórica de los tratamientos y presentación de los productos hortícolas; es así como también pertenecen al grado o intensidad del proceso al que están sometidas frutas y hortalizas (Tabla 6) (Hormazabal, 1999).

1.6.2 Definición

Son aquellas hortalizas y/o frutas frescas, limpias, peladas enteras y/o cortadas de diferentes maneras, asociada a un parcial tratamiento de conservación no definitivo que puede incluir control de pH, antioxidantes, inmersión en agua clorada o una combinación de éstos u otros tratamientos, cuyo mínimo procesamiento permite mantener sus propiedades naturales y tornarlas fáciles de utilizar por el consumidor ya sea para consumo directo crudo o para preparaciones culinarias, las que se presentarán envasadas al vacío o en atmósferas modificadas con o sin utilización de gases (Wiley, 1997).



Tabla 6. Gama de alimentos

GAMA	CARACTERÍSTICAS
I 	Frutas y vegetales frescos sin ningún tipo de proceso.
II 	Frutas y hortalizas en conserva.
III 	Frutas y hortalizas congeladas.
IV 	Frutas y vegetales crudos, lavados, pelados y en formas trozadas, rebanadas o ralladas, posteriormente envasada en plásticos y en conservación a temperaturas de refrigeración, duración mínima de 7 a 10 días para su consumo inmediato.
V 	Productos vegetales que ya están cocinados, congelados o refrigerados y envasados al vacío o mejor conocidos como “ready to eat”.

Fuente: Elaborado con información de Schlimme (1995); López y Moreno (1994).

1.6.3 Operaciones básicas durante el procesamiento de frutas y vegetales frescos cortados listos para consumir.

Las frutas frescas cortadas son productos que, sin ser sometidos a tratamientos térmicos durante su procesado se han seleccionado, lavado y envasado para su consumo, de forma que se favorece la integridad del alimento y el mantenimiento de la actividad metabólica propia de los tejidos vivos (León, 2009).

Según como describe Wiley (1997) las operaciones que intervienen desde la recolección de la fruta hasta el consumidor final, influyen directamente en la calidad del producto, y más cuando se trata de fruta mínimamente procesada. En la figura 3 se muestran las principales operaciones unitarias para la elaboración de los productos frescos cortados listos para consumir ó mínimamente procesados.

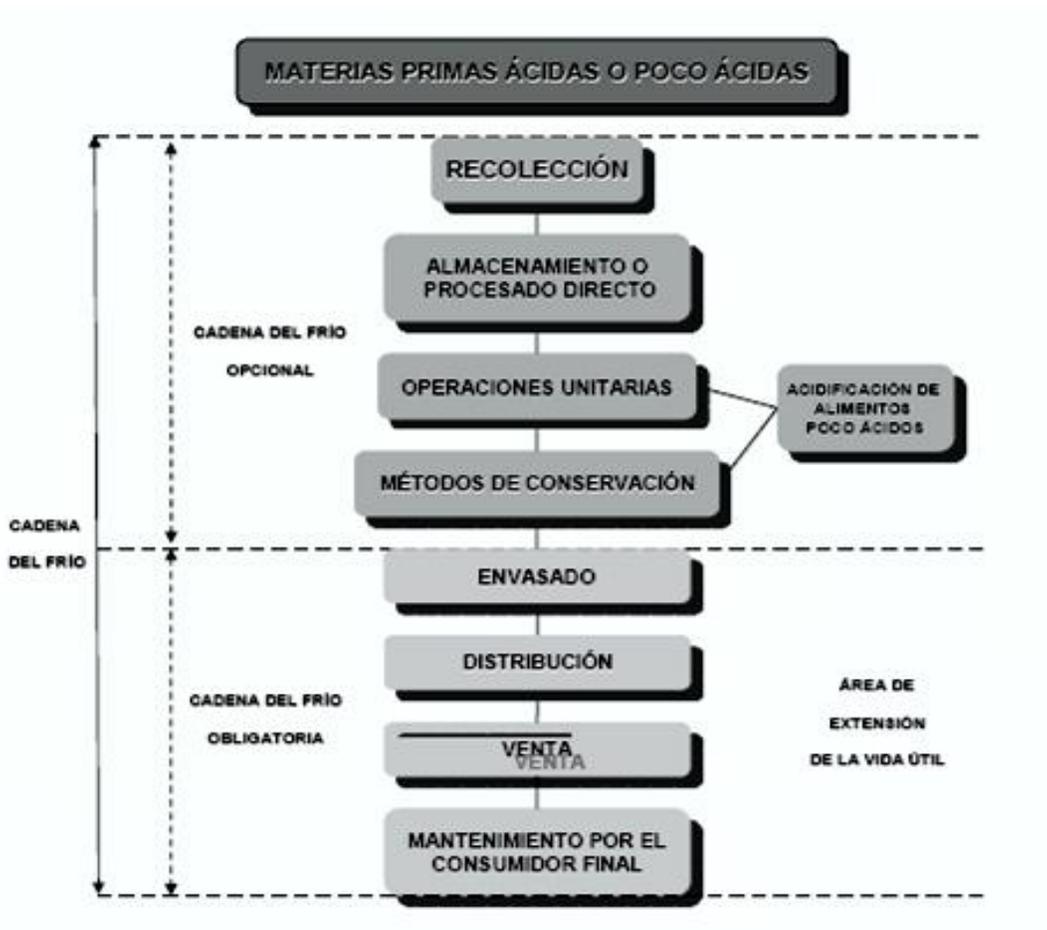


Figura 3: Diagrama de flujo de las operaciones unitarias más comunes para productos mínimamente procesados
Fuente:Wiley (1997)

Durante la manipulación de la fruta se incluyen todos los movimientos desde el campo hasta las vitrinas de exposición al por menor, lo que implica que también deben considerarse el transporte y el almacenamiento de los productos.

Recolección: La recolección de la materia prima es un paso muy importante para obtener un producto atractivo y de alta calidad para su distribución en el mercado. Es necesario evaluar la calidad de la materia prima para determinar su aptitud para ser procesado. En caso de tratarse de producciones de terceros, es importante conocer sus prácticas agrícolas (León, 2009).



La recolección puede ser mecánica o manual (Figura 4). En ambos casos se debe tener cuidado el no dañar los productos mediante el proceso. La selección de cada producto es determinada para cada uno de ellos. Cuando la recolección es mecánica, las variedades plantadas deben ser resistentes a este tipo de recolección porque trae consigo problemas importantes de lesiones del fruto u hortaliza con rotura de la parte superficial (epidermis) y por consiguiente incorporación de cuerpos extraños como piedras, restos de otras plantas, etc. Otro problema de la recolección mecánica es que se recolecta sin seleccionar el tipo de madurez del producto, por lo que muchos de ellos tienen una madurez no adecuada para su procesamiento en "cuarta gama" (INFOAGRO, 2007).



Figura 4. Recolección a) manual y b) mecánica

Preenfriamiento: La eliminación del calor de campo permite alargar el periodo de vida del producto fresco, debido a que disminuye el metabolismo del producto. Las temperaturas que generalmente se usan durante el preenfriamiento para frutas de climas fríos o templados son de 5°C y para frutas tropicales y subtropicales son de 10 a 13°C para evitar posibles daños por frío (San Ramón, 1997).

Transporte convencional y refrigerado: Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas deben manipularse durante el transporte lo más rápidamente posible y de forma cuidadosa. En el transporte de productos hortofrutícolas deben utilizarse contenedores que eviten cualquier daño mecánico de los productos entre sí o por contactos producto-contenedor, por corrimiento de la carga, golpes, sobrepeso y vibraciones. La elección del transporte en forma envasada o a granel depende del producto y de los requerimientos comerciales y económicos (Torres, 2007).



Recepción: En el momento de la recepción de los productos se interrumpe la cadena de frío; en consecuencia, debe tenerse el máximo cuidado para que no se pierda la calidad que se ha mantenido durante las operaciones de recolección y transporte (Torres, 2007).

Selección y categorización: En la selección los productos se depositan en unas cintas cilíndricas que van avanzando y girando, de este modo se van separando unos de otros dependiendo del tamaño de cada uno mediante unas ranuras de diferentes tamaños por los que van cayendo. También en algunas selecciones se emplean separadores magnéticos que eliminan metales que hayan podido incorporarse a los productos durante la recolección (INFOAGRO, 2007).

El objetivo de la selección es asegurar la homogeneidad y calidad de la materia prima de manera que esta posea las mejores aptitudes al procesamiento al que posteriormente va a ser sometida. La homogeneidad de la materia prima se consigue separando toda fruta u hortaliza que no presente uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, peso o presencia de daño mecánico o microbiológico (Lobo y González, 2003).

Limpieza, lavado y desinfección: La limpieza se refiere a la eliminación de los materiales extraños. Como una operación unitaria en la primera etapa del procesado, la limpieza es una forma de separación relacionada con la eliminación de ramitas, suciedad, arena, tierra, insectos, pesticidas y residuos de fertilizantes (Torres, 2007).

Para este fin, el producto se lava mediante cloración quedándose libre de la mayoría de microorganismos. El producto se sumerge en un baño donde se mantiene burbujeándole aire a través de una boquilla. Esta turbulencia permite la eliminación de prácticamente todas las trazas de tierra y sustancias extrañas sin producir magulladuras del producto (Figura 5) (Lobo y González, 2003).



El agua constituye un elemento esencial en la calidad de las frutas mínimamente procesadas. La procedencia y la calidad de agua deben ser tenidas en cuenta, de hecho, en el lavado de frutas y hortalizas se controlan fundamentalmente tres parámetros: cantidad de agua utilizada (5-10 L/Kg de producto), temperatura del agua (4°C) y concentración el cloro activo (100 mg/L) (Wiley, 1997).

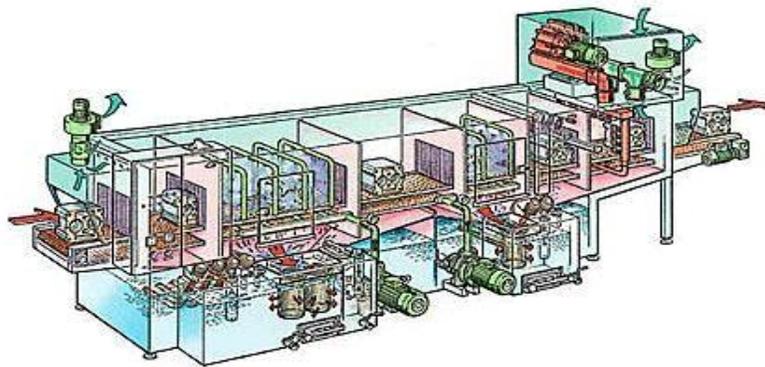


Figura 5. Sistema de lavado por aspersión

El cloro en forma de hipoclorito es una vía económica, aunque presenta los inconvenientes de la no reactividad con la materia orgánica y que ha de ser eliminado en una etapa posterior. Se sabe que su eficacia es limitada en ciertos productos, como sucede con el crecimiento de *Listeria monocytogenes* en lechuga procesada. Otros agentes microbianos son ozono, peróxido de hidrogeno o dióxido de cloro. El agua de lavado debe ser enfriada a temperaturas cercanas a los 4°C. Al finalizar el lavado es conveniente incorporar una fase de escurrido (León, 2009).

Pelado y cortado: El pelado puede hacerse (1) manual, (2) con vapor o agua caliente, (3) con lejía o álcalis, (4) mediante pelado cáustico seco con calentamiento con infrarrojos, (5) con llama, (6) por medios mecánicos, (7) con vapor a presión elevada, (8) por congelación, (9) con ácidos (Torres, 2007). En algunos productos es necesario realizar un lavado y desinfección. Éstos deben realizarse minimizando el impacto mecánico sobre el producto, depende directamente del tipo y precisión de los cortes realizados, tanto si las operaciones se realizan manualmente como de forma mecánica (León, 2009).



El corte en los productos acelera la respiración, provoca daños mecánicos y ablanda el tejido vegetal. Los tejidos cortados constituyen barreras menos eficaces a la difusión de los gases y toleran concentraciones más elevadas de CO₂ que los productos intactos. De ahí que los productos troceados deban enfriarse a 4°C inmediatamente después del cortado (Wiley, 1997).

Tratamientos de estabilización de la superficie: Necesarios en la mayor parte de las frutas para prevenir fenómenos de pérdida de calidad de las superficies cortadas: pardeamiento oxidativo, pérdidas de textura por degradación de membranas celulares y deshidratación superficial (León, 2009). Están permitidos el ácido ascórbico y sus sales, y el ácido cítrico y sus sales, hasta una dosis máxima de 300 ppm (Wiley, 1997).

Ecurrido y secado: El escurrido final permite eliminar el exceso de los tratamientos de estabilización de superficie y envasar el producto seco, factor muy importante para prolongar la vida útil del producto fresco cortado (González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003). Tras el escurrido se efectúa el secado, que se lleva a cabo por centrifugación semiautomática o automática. El secado del producto depende de la velocidad y tiempo de rotación de la centrífuga, siendo suficiente para la mayoría de los productos, pocos minutos de centrifugación. El escurrido y el secado del producto hortícola son etapas muy importantes en el procesado que prolongan la vida del producto mínimamente procesado (Wiley, 1997; González-Aguilar *et al.*, 2005; Lobo y González, 2003).

Pesado y Envasado: Existe maquinaria de llenado y pesado para productos delicados que facilita y agiliza estas labores con excelente precisión. El envasado suele realizarse en atmósferas modificadas activas o pasivas, según la actividad respiratoria del producto y la permeabilidad de los gases del material de envasado. Generalmente se requieren envases de material plástico con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una alta humedad dentro del envase y evitar la pérdida de agua del producto, así como alta permeabilidad al oxígeno para reducir la posibilidad de crear condiciones anaerobias dentro del envase.



Las bajas concentraciones de oxígeno frente a niveles altos de dióxido de carbono pueden favorecer la acumulación de compuestos indeseables como etano o acetaldehído que merman las características organolépticas de las frutas cortadas (León, 2009).

Almacenamiento, distribución y expedición: Las condiciones de almacenamiento y distribución deben permitir que se alcance una atmósfera estable en el interior de los envases, en concentraciones bajas de O₂ y moderadas de CO₂. Las bajas temperaturas de almacenamiento deben permitir la inhibición del desarrollo microbiano. En la mayoría de los casos, los pallets se almacenan solo el tiempo necesario para la elaboración del pedido. Tanto en cámaras de conservación como durante su transporte y venta, debe mantenerse entre 1 y 5°C.

Los cambios de temperatura ocasionan condensaciones en el interior del envase que favorecen la proliferación de microorganismos. En condiciones adecuadas, la vida útil de éstos productos varía entre 5 y 12 días (León, 2009).

1.6.4 Causas de deterioro de los productos mínimamente procesados

La vida útil de los productos mínimamente procesados depende en gran medida de los factores intrínsecos y extrínsecos que afectan su calidad comercial y organoléptica (Lobo y González, 2003).

Los factores intrínsecos son:

- **Respiración del fruto:** Al seguir respirando el producto, la atmósfera se modifica por la acumulación de CO₂.
- **Producción de etileno:** Acelera la maduración del producto.
- **pH:** Condiciona el desarrollo de microorganismos patógenos alterando el producto.
- **Actividad de agua (Aw):** Si se eleva este parámetro constituye un medio ideal para el crecimiento de microorganismos.



Los factores extrínsecos son:

- **Manipulación:** El mal manejo del producto puede traer consigo pérdidas en la calidad del mismo.
- **Higiene:** Es necesario que durante el procesamiento, el personal que manipula el producto así como los utensilios de trabajo tengan buenas prácticas de manufactura, evitando posibles contaminaciones.
- **Temperatura:** El desarrollo microbiano aumenta exponencialmente con la temperatura.
- **Humedad:** Una condensación de agua en el interior del envase es un medio favorable para el desarrollo de microorganismo.
- **Envase:** Determina el equilibrio de la atmósfera del envase con el producto.

1.6.5 Alteraciones en frutas mínimamente procesadas

El consumidor de productos mínimamente procesados espera un alimento cuyas características de apariencia, aroma, sabor y textura sean idénticas o muy próximas a las mostradas por los productos frescos. No obstante el daño físico a los que éstos productos son sometidos durante su preparación, facilita una serie de reacciones que limitan la vida de anaquel de los mismos y contribuyen a alterar las características de calidad esperadas del producto (León, 2009).

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son por definición muy perecederas, en muchos casos más perecederas que la materia prima de la cual son hechas; consecuentemente, se debe tratar con un sistema similar al del manejo de las frutas y hortalizas frescas, más que con un sistema de manejo de los productos completamente procesados (San Ramón, 1997).

1.6.5.1 Pardeamiento enzimático

El oscurecimiento del tejido debido a la degradación de fenoles, catalizada por la enzima polifenoloxidasas (PPO; EC 1.14.18.1), además de afectar la apariencia del producto disminuye la actividad antioxidante por la pérdida de esos compuestos (Salveit, 1997).



El cortado promueve la síntesis de etileno, acelerando los procesos de senescencia del producto donde tiene lugar la oxidación de compuestos bioactivos (Watada *et al.*, 1990). Durante la senescencia, la acción de la enzima lipoxigenasa (LOX; EC 1.13.11.12) resulta en la oxidación de ácidos grasos y al mismo tiempo, los carotenoides pueden degradarse por co-oxidación (Robles *et al.*, 2007).

El oscurecimiento del tejido es debido a la degradación de fenoles, catalizada por la enzima polifenoloxidasas (PPO) que requiere la presencia de oxígeno y cobre afectando la apariencia del producto (Salveit, 1997; Teullado *et al.*, 2005). El pardeamiento enzimático es un conjunto complejo de reacciones, que se inicia por las reacciones catalizadas de forma enzimática. En la primera de ellas, cuando el sustrato presente es un monofenol, es transformado en difenol. En la segunda, la transformación del difenol en *o*-quinona (Vámos-Vigyázó, 1981).

El mecanismo de reacción de la PPO causante de las reacciones de oscurecimiento enzimático en frutas, se basa en la catálisis de dos etapas: oxidación de un monofenol a *o*-difenoil y la subsiguiente oxidación de éste a *o*-quinona, actividad cresolasa y catecolasa respectivamente. Siguiendo un mecanismo ordenado, la enzima liga primero el oxígeno y después el monofenol. Se produce un cambio de valencia de los iones de cobre de Cu^+ a Cu^{2+} formándose un complejo que tiene un enlace O-O bien polarizado donde se produce la hidroxilación a *o*-difenoil. La oxidación del *o*-difenoil a *o*-quinona finaliza el ciclo (Figura 6) (Belitz y Grosh, 2004).

La polifenoloxidasas es capaz de catalizar reacciones de oxidación de compuestos polifenólicos en presencia de oxígeno molecular y la presencia de los compuestos oxidados por la enzima son precursores de las reacciones de pardeamiento que ocurren en los procesos de postcosecha y manipulación de frutas y hortalizas (Ayaz *et al.*, 2008).

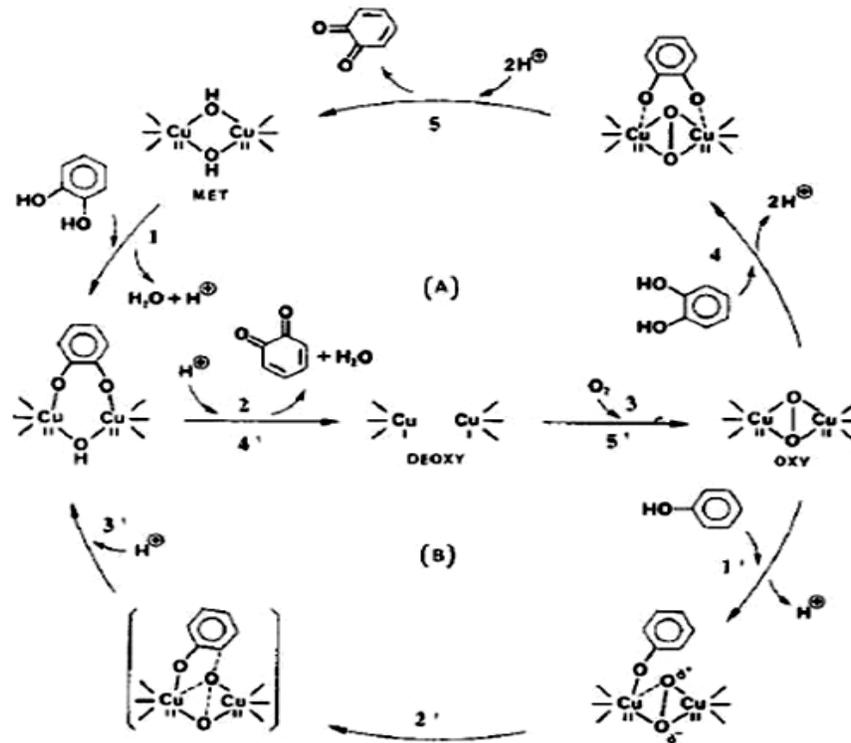


Figura 6. Mecanismo cinético propuesto para la oxidación de o-difenol (catecol [A]) y un monofenol (fenol [B]) Fuente: Ramírez y Whitaker (2003)

Para que se puedan llevar a cabo estas reacciones de oscurecimiento en los vegetales, se necesita de un sustrato, entre los que se encuentra el ácido clorogénico, donde el grupo fenólico está unido a un resto de azúcar, presente en manzanas, peras, melocotones, ciruelas, aguacates, mangos, etc. Además de otros sustratos como: DOPA, dopamina, p-cresol, ácido caféico, catecol entre otros fenoles (Figura 7).

1.6.5.2 Ablandamiento

Se produce por cambios en las paredes celulares, hasta hace poco se consideraba que la degradación enzimática de los componentes de la pared (celulosa, hemicelulosas, pectinas) por las celulasas, hemicelulasas y sobre todo por las enzimas pécticas, eran las responsables de la degradación de la pared celular y, por tanto, del ablandamiento de las frutas. Para evitar esta pérdida de textura, se añaden a las soluciones de lavado sales de calcio como el cloruro cálcico, lactato cálcico, tartrato cálcico o propionato cálcico.

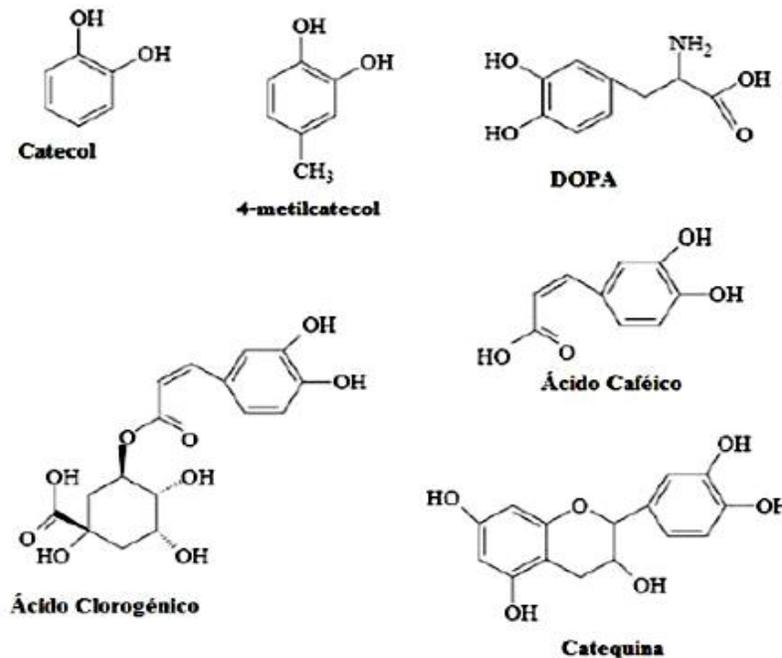


Figura 7. Estructura de algunos sustratos naturales de la PPO
Fuente: Queiroz *et al.* (2008)

Los iones calcio actúan sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre éstas, aumentando la fuerza (Poovaiah, 1986). En frutos de pepita como manzana y pera se recomienda la inmersión de los trozos en una concentración de cloruro cálcico entre 0,1 y 1% (Teullado *et al.*, 2005).

Uno de los cambios más notorios que experimentan los frutos al madurar consiste en su ablandamiento, que va asociado con la solubilización y despolimerización de las sustancias pécticas. Las pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas (enzimas que utilizan como sustrato la pectina) como: Pectinmetilesterasa (PME; EC 3.1.1.11), endopoligalacturonasa; (PG; EC 3.2.1.15), Pectatoliasa (PEL; EC 4.2.2.2) y Pectinliasa (PL; EC 4.2.2.10) y por la acción de otras que no utilizan a la pectina como sustrato pero que participan en la pérdida de firmeza de los frutos como la celulasas (CEL; EC 3.2.1.4), entre otras que muestra un claro incremento durante el proceso de maduración (Figura 8) (Wong, 1995; Sakai *et al.*, 1993; Chauchan *et al.*, 2001).

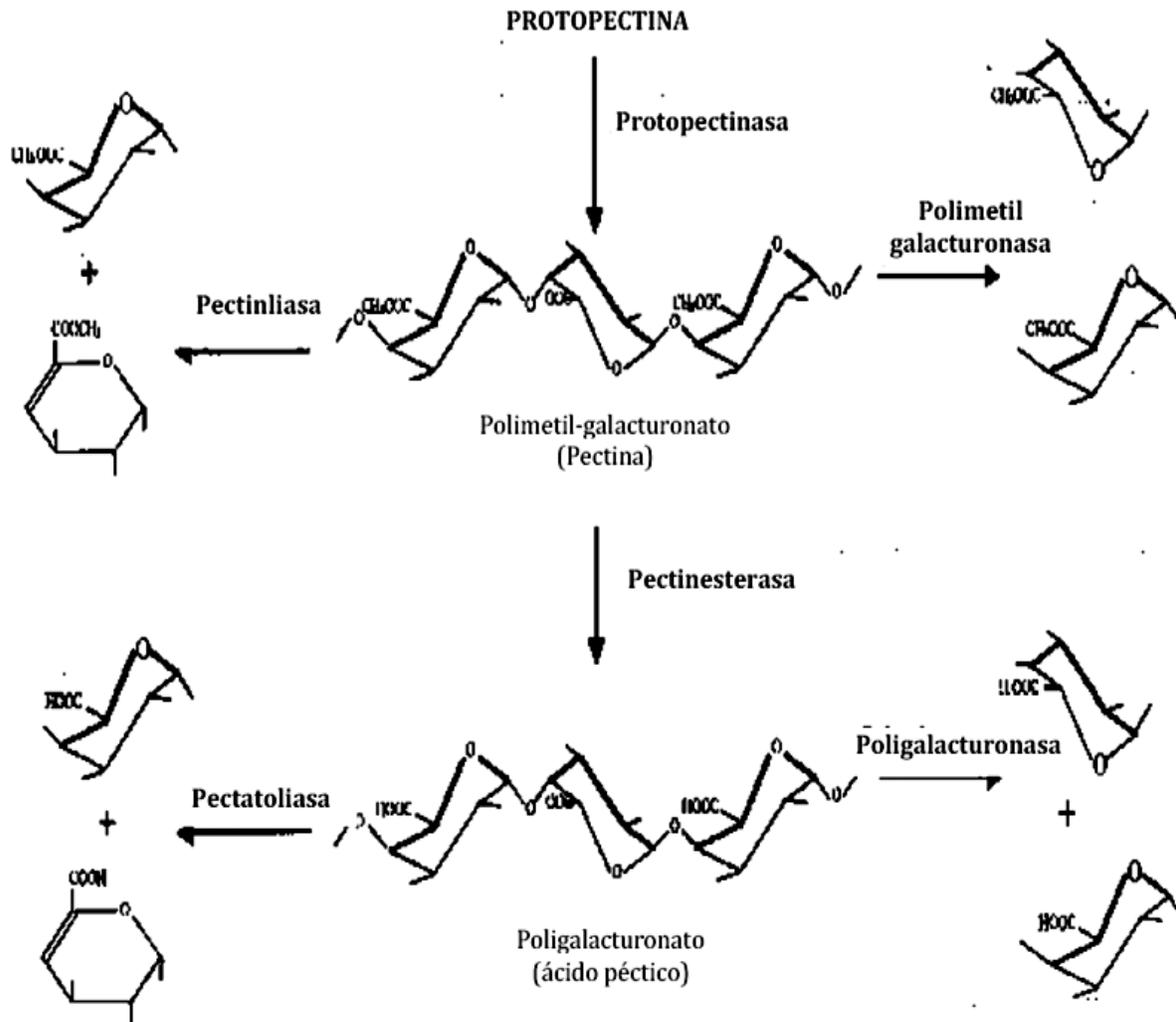


Figura 8. Mecanismo de acción de las enzimas sobre el sustrato pectina
Fuente: Prasanna *et al.* (2007)

1.6.5.3 Pérdida de agua

En la operación de pelado y de cortado aumenta la superficie de contacto de la fruta con el ambiente y, por tanto, se incrementa la pérdida de agua (Figura 9). Esto puede remediarse mediante el recubrimiento del producto con una película comestible o a través del envasado en un plástico de permeabilidad adecuada al vapor de agua y específica para cada producto. En los dos casos la película debe tener características que permitan los intercambios gaseosos necesarios para evitar lesiones fisiológicas. En algunos productos, como el mango, los recubrimientos no sólo retrasan la desecación sino que también preservan la acción de los agentes antiparadeantes (Teullado *et al.*, 2005; González-Aguilar *et al.*, 2000).

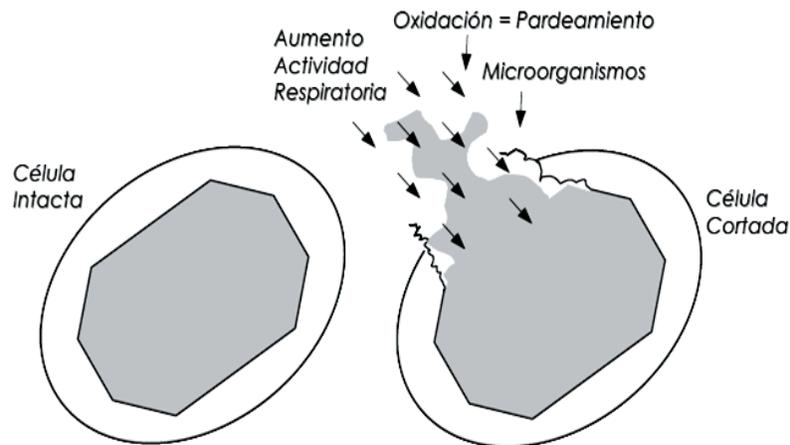


Figura 9. Daño a nivel celular originado por la operación de corte
Fuente: Wiley (1997)

1.6.5.4 Alteraciones de microorganismos

Las frutas y hortalizas contienen los nutrientes necesarios para el rápido crecimiento de las bacterias. La alta concentración de acidez de algunos productos frescos, no afecta la sobrevivencia de bacterias patógenas, se aumenta así el potencial de contaminación microbiana (Castro *et al.*, 2004).

Con las operaciones de procesado se rompen la pared celular y se dañan las células, liberando nutrientes que favorecen el desarrollo de microorganismos. Por eso se aumenta la vida útil de los productos reduciendo los daños mecánicos o eliminando los microorganismos mediante un lavado con agua clorada (Artés-Hernández, 2000).

En los frutos mínimamente procesados, la flora microbiana alterante está compuesta por bacterias, hongos y levaduras. Se han aislado levaduras de los géneros *Cándida*, *Cryptococcus*, *Pichia*, *Torulaspota* y *Trichosporon*. La presencia de hongos es menos frecuente aunque se han detectado en algunas ocasiones, *Esclerotina ssp.* y *Botrytis cinerea*. Se detectan fácilmente bacterias pectinolíticas, que son los responsables del ablandamiento durante el almacenamiento como *Erwinia carotovora* y *Pseudomonas Fluorescens*. También se han aislado en vegetales frescos cortados algunos microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Yersinia spp.*, *Escherichia coli*, *Clostridium Botulinum*, *Yersenia enterocolítica*, *Listeria*



monocytogenes, *Aeromonas hydrophila*, *Campilobacter jejuni* y *Brucella spp.* El peligro estriba en que algunos de ellos como *Listeria* es capaz de crecer a temperaturas de refrigeración y bajos niveles de oxígeno como los que se dan en el envasado en atmósferas modificada de los alimentos vegetales mínimamente procesados (Cano *et al.*, 2005).

Las frutas y hortalizas contienen los nutrientes necesarios para el rápido crecimiento de bacterias. La alta concentración de acidez de algunos productos frescos, no afecta la sobrevivencia de bacterias patógenas, se aumenta así el potencial de contaminación microbiana (Castro *et al.*, 2004).

1.6.6 Tratamientos químicos para productos frescos cortados

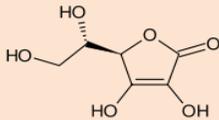
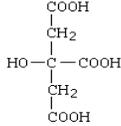
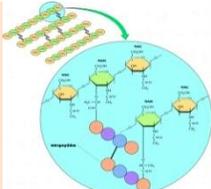
La aparición de colores pardos se debe a la oxidación de los compuestos fenólicos. Esta reacción está catalizada por la enzima polifenoloxidasas (PPO). Además de la actividad enzimática, también es necesaria la presencia de oxígeno y cobre (Laurila *et al.*, 1998).

Por ello, para evitar el pardeamiento se debe eliminar al menos uno de los factores anteriores. Desde que se prohibiera el uso de sulfitos como agentes oxidantes, por problemas de salud en asmáticos, se han investigado diversos sustitutos. Recientemente, se han encontrado productos naturales que actúan como agentes antipardeantes, con los que se ha obtenido buenos resultados en la reducción del pardeamiento y deterioro organoléptico de varias frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Para que el efecto positivo de estos conservantes naturales sea elevado, se combina un agente reductor (ácido ascórbico), con un acidulante (ácido cítrico) y un agente quelante (EDTA) (Ahvenainen, 1996; Ashie *et al.*, 1996).

La forma de aplicación más utilizada de estos compuestos es la inmersión de la fruta en disoluciones que contengan algunos de los tratamientos químicos propuestos en la Tabla 7 (Teullado *et al.*, 2005).



Tabla 7. Tratamientos químicos usados para la inhibición de la actividad enzimática

Tratamientos Químicos	Función	Ejemplo
Agentes reductores	Reducen el producto inicial de la oxidación y la enzima. Destaca el ácido ascórbico y el 4-hexilresorcinol.	 Ácido ascórbico
Acidulantes naturales	Disminuyen el pH por debajo del óptimo de actividad de la enzima. Los más utilizados son el ácido cítrico y el ácido oxálico.	 Ácido cítrico
EDTA y otras macromoléculas como proteínas	Secuestran el cobre del centro activo de la enzima.	
Empleos de sales de calcio	Para evitar el ablandamiento se aplica tratamientos estabilizantes compuestos principalmente por sales de calcio (CaCl ₂).	 Calcium chloride (anhydrous)

Fuente: Elaboración propia con información de Dzieza (1986); Artés *et al.* (1996); Teullado *et al.* (2005); Montiel (2009).

1.6.7 Tratamientos físicos para productos frescos cortados

Con el desarrollo de nuevas tecnologías dentro de la Industria Alimentaria se busca obtener alimentos mínimamente procesados inocuos que sean capaces de mantener sus cualidades nutricionales y organolépticas alargando la vida útil de estos productos satisfaciendo las necesidades y gustos del consumidor.

Los mayores avances en este campo se han conseguido con el desarrollo de sistemas físicos que afectan la viabilidad de los microorganismos, sin un incremento sustancial de la temperatura del alimento. Estos métodos “no térmicos” no afectan, o lo hacen mínimamente a las características nutritivas y sensoriales de los alimentos.



Entre las tecnologías de esta naturaleza se encuentran las altas presiones, compuestos volátiles naturales, 1-MCP, ozono, luz UV, refrigeración, recubrimientos comestibles, agua electrolizada, atmósferas modificadas y tratamiento térmico de baja temperatura (Tabla 8). La optimización del empleo de estos métodos de conservación pasa por el diseño de “procesos combinados”, en los que la asociación o aplicación simultánea de varios procedimientos permita potenciar el efecto, de cada uno de ellos, en los agentes alterantes y reducir el impacto adverso en las características de los alimentos tratados.

1.7 Recubrimientos comestibles

1.7.1 Definición

Un recubrimiento comestible se define como una capa delgada de material que puede ser ingerida por el consumidor. Éste puede aplicarse sobre o entre los alimentos por inmersión, cepillado, rociado o enrollado (Wu *et al.*, 2002), y al igual que los empaques, también puede funcionar como una barrera selectiva contra la transmisión de gases tales como el CO₂ y el O₂, vapores y solutos, además de proporcionar integridad mecánica y manejo de los alimentos así como servir como vehículo para la liberación de sabores, nutrientes y agentes antimicrobianos (Wu *et al.*, 2002; Cha y Chinnan, 2004).

La diferencia entre los empaques y los recubrimientos es que los primeros se eliminan en tanto que los segundos permanecen en los alimentos protegiéndolos del deterioro (Quintero y Ponce, 2009).

Los recubrimientos comestibles consisten en una película transparente que envuelve al alimento y que actúa de barrera frente a la humedad y al oxígeno. Además, estas películas pueden ser utilizadas como soporte de aditivos para conservar las propiedades del producto o simplemente para mejorar su apariencia (Diseño en el sector hortofrutícola).



Tabla 8. Tecnologías emergentes usadas en la mejora de la calidad de productos mínimamente procesados

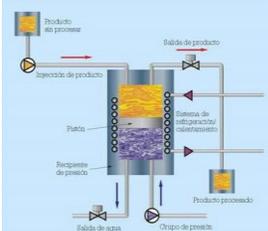
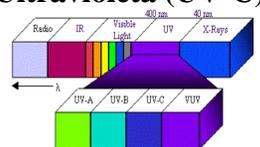
Tratamientos Físicos	Función
<p>Atmósfera modificada de envasado</p> 	<p>Eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por otro gas diferente. La composición de la atmósfera del envase se puede regular por diversos métodos, la sustitución mecánica del aire por otros gases o generando la atmósfera pasiva o activamente utilizando modificadores de atmósfera adecuados.</p>
<p>Alta Presión Hidrostática-APH</p> 	<p>Aplicación de presión al alimento con una intensidad entre 100 a 1000 MPa, sola o en térmicos suaves, aditivos naturales, etc. envasados asépticamente, conservados, distribuidos y conservados en refrigeración (2-7 °C), listos para ser consumidos sin ninguna operación adicional durante un periodo de vida útil de 30 a 60 días.</p>
<p>Envasado al vacío</p> 	<p>Disminución de los niveles de O₂, así como un medio para incorporar en la estructura antioxidantes, conservantes, que pueden mejorar las cualidades. Esta operación causa una alteración estructural y fisiológica, ocasionada por el intercambio del gas presente en los poros por el líquido externo, lo que afecta los niveles requeridos en la respiración de frutas mínimamente procesadas en la vida útil de los productos.</p>
<p>Irradiación Ultravioleta (UV-C)</p> 	<p>Tecnología alternativa a la esterilización química utilizada para reducir el crecimiento de microorganismos en alimentos. La luz UV-C induce mecanismos de defensa en tejido vegetal metabólicamente activo, provocando la producción de fitoalexinas y un aumento en la actividad antioxidante.</p>
<p>1-metilciclopropeno (1-MCP)</p> 	<p>Tratamiento postcosecha para proteger frutas, hortalizas y flores, de la acción del etileno y extender la vida de postcosecha, manteniendo su calidad. La aplicación de este compuesto reduce la escaldadura superficial, fisiopatía que afecta a una gran variedad de frutas. Controla otros desórdenes y enfermedades como el decaimiento interno y la podredumbre. No es tóxico y el residuo es insignificante.</p>



Tabla 8. Tecnologías emergentes usadas en la mejora de la calidad de productos mínimamente procesados (continuación)

Tratamientos Físicos	Función
<p data-bbox="305 405 479 434">Refrigeración</p> 	<p>La temperatura constituye el factor de mayor incidencia. A medida que la temperatura disminuye todos los procesos causantes del deterioro se ven disminuidos, lo que trae como consecuencia la prolongación de la vida útil de los productos almacenados.</p>
<p data-bbox="228 705 553 768">Tratamiento en inmersión de agua electrolizada</p> 	<p>El agua electrolizada contiene una mezcla de oxidantes inorgánicos como el HClO, OCl⁻, Cl₂, OH y O₃, que se forman mediante un sistema de reactor electroquímico efectivos para inactivar una variedad de microorganismos patógenos.</p>
<p data-bbox="261 1073 524 1136">Compuestos volátiles naturales</p> 	<p>Muchos alimentos contienen compuestos naturales con actividad antimicrobiana. En estado natural, estos compuestos pueden desempeñar el papel de prolongadores de la vida útil de los alimentos. Ejemplo de estos compuestos son los terpenos, aceites esenciales, compuestos azufrados, metil jasmonato, etanol, benzaldehído entre otros.</p>
<p data-bbox="350 1430 435 1459">Ozono</p> 	<p>El uso potencial del ozono en la industria de frutas y verduras depende del hecho de que como agente oxidativo, es 1.5 veces más fuerte que el cloro y más efectivo para un espectro más amplio de microorganismos que el cloro y otros desinfectantes. El ozono mata bacterias como <i>Escherichia coli</i>, <i>Listeria spp</i> y otros patógenos de alimentos mucho más rápido que los desinfectantes tradicionalmente usados, como el cloro y está libre de residuos químicos.</p>



Tabla 8. Tecnologías emergentes usadas en la mejora de la calidad de productos mínimamente procesados (continuación)

Tratamientos Físicos	Función
<p data-bbox="285 363 483 392">Recubrimientos</p> 	<p data-bbox="581 363 1383 722">Son películas biodegradables que se adhieren a la superficie del alimento creando una barrera semipermeable a gases como el O₂ y CO₂ y al vapor de agua, lo que permite mantener la integridad del producto, mejoran sus propiedades mecánicas y retienen los compuestos volátiles. Al cubrir los frutos con una película comestible, se crea una atmósfera modificada en el interior del fruto que reduce la velocidad de respiración y por tanto, el proceso de envejecimiento del producto.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de Martín Belloso y Oms-Oliu (2005); Cano *et al.* (2005); Giraldo y Germán (2006); González-Aguilar *et al.* (2007); Romero *et al.* (2006); Artés-Calero *et al.* (2009); Liangji Xu (2008).

En la Tabla 9 se muestran algunos ejemplos de los recubrimientos comestibles usados en la aplicación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

1.7.2 Propiedades de los recubrimientos

1.7.2.1 Propiedades de transporte de vapor de agua

El transporte de gases en frutas y vegetales se ve modificada considerablemente en función al movimiento de vapor de agua, en el interior del fruto, la cáscara y el recubrimiento, existiendo por ello muchos estudios enfocados a establecer las propiedades de difusión de los frutos, con la finalidad de tratar de obtener las características de transporte de vapor de agua en recubrimientos y frutas, ya que se ha establecido que el vapor de agua es uno de los parámetros importantes en la difusión de otros gases y cambios metabólicos asociados (Park, 1999).

Los recubrimientos utilizados deben por ende ser capaces de modificar la atmósfera entre la fruta y el ambiente con el fin de disminuir la velocidad de respiración y la pérdida fisiológica de peso. Las formulaciones que se han desarrollado en gran medida buscan modificar la transmisión de vapor de agua (TVA), de los materiales empleados, los polisacáridos y gomas por lo general incrementan la resistencia a la TVA, pretendiendo que siempre exista una mayor resistencia a la transmisión de vapor que permita influir sobre la calidad de los frutos y las pérdidas fisiológicas de peso (Lee *et al.*, 2003).



Tabla 9. Formulaciones de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Tipo de Fruta	Matriz del Recubrimiento	Plastificante	Aditivos	Función del recubrimiento y parámetros	Referencia
Melón cortado	Alginato 2% ó Pectina 2% ó Gelana 0.5%	Glicerol 1.5 y 0.6%.	Aceite de girasol 0.025%, CaCl ₂ 2%.	Atributos sensoriales, propiedades antioxidantes y firmeza.	Rojas-Graü <i>et al.</i> (2006)
Pimenton es verdes	CMC 1%	Glicerol 0.5%.	Ácido esteárico 0.25%	Agente protector, estabilizador de las características naturales del fruto.	Uquiche <i>et al.</i> (2000)
Manzana y papaya cortada	Alginato 2% ó gelana 0.5%	Glicerol 0.6-2%.	N-acetilcisteína, ácido ascórbico 1%, ácido cítrico 1%, aceite de girasol 0.025% (solo en la gelana), CaCl ₂ 2%.	Propiedades de vapor de agua, firmeza, agente antioxidante.	Tapia <i>et al.</i> (2008)
Fresas Enteras	Metilcelulosa 2% ó quitosán 2%	----- ----	Ác. acético glacial 2%	Reducción en la tasa respiratoria de los frutos, barrera al oxígeno, actividad antimicrobiana y antifúngico.	Vargas <i>et al.</i> (2009)
Aguacate Cortados	Quitosán 2% p/v	Glicerol 0.3%	Tween 80 0.6%, ceras 0.1%, ácido acético 1%.	Menor permeabilidad al vapor de agua - Mejoran las propiedades mecánicas.	Miranda (2003)



Tabla 9. Formulaciones de recubrimientos comestibles usados en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (continuación).

Tipo de Fruta	Matriz del Recubrimiento	Plastificante	Aditivos	Función del recubrimiento y parámetros	Referencia
Mango Edwards cortado	Quitosano 0.50-2.5%	-----	Ác. oleico 0.4-1.65%, ác. cítrico 0.5-2.5%, CaCl ₂ 2%.	- Antimicrobiano - Antioxidante	Castillo <i>et al.</i> (2005)
Zanahoria cortadas	Almidón de maíz 3% ó Quitosano 1.5%	Glicerol 2%	Ác. acético glacial 0.4%.	- Antimicrobiano - Antioxidante	Simões <i>et al.</i> (2007)
Mango Tommy Atkins cortado	3% quitosano-0.01% ác. transcinámico.	Glicerol 2%	Solución base ác. acético 2%, CaCl ₂ 2%, ác. ascórbico 0.02%, Tween 80 1%.	- Antimicrobiano - Antioxidante	Cipriano-Peña <i>et al.</i> (2010)
Manzana cortada y pera cortada	Alginato 2%	Glicerol 1.5%	Orégano 0.1-0.5%, vainillina 0.3-0.6%, aceite de limón 1-1.5%, aceite de canela 0.094%, CaCl ₂ 2%, N- acetilcisteína 1%.	Agente antimicrobiano, antioxidante, mejora el color y firmeza.	Rojas Graü <i>et al.</i> (2006)
Papaya cortada	Quitosano 1 y 2%	-----	-----	Mantener el color más atractivo en el fruto, mantuvo la firmeza y redujo la carga microbiana.	González-Aguilar <i>et al.</i> (2007)
Fresas enteras	Mucílago de nopal 4%	Glicerol 1%-polietilenglicol 1%.	Aceite de oliva 1%	Mantiene los atributos, forma una barrera a gases.	Martínez <i>et al.</i> (2009)



1.7.2.2 Propiedades de transmisión de CO₂ y O₂

Las frutas y vegetales continúan su proceso respiratorio aún después de la cosecha y los cambios metabólicos y fisiológicos asociados a esta traen como consecuencia la disminución del tiempo de vida útil de los productos.

Los recubrimientos comestibles han sido utilizados también como una manera de controlar el intercambio gaseoso entre la fruta y el medio ambiente de tal manera y al igual que para el caso del vapor de agua existen muchos factores de composición y condiciones ambientales que influyen en el comportamiento de difusión de gases y por ende, contribuyen a incrementar el tiempo de almacenamiento (Lee *et al.*, 2003).

1.7.2.3 Propiedades mecánicas

La resistencia de los recubrimientos comestibles tiene influencia sobre los daños mecánicos a los que se exponen las frutas y vegetales durante su transporte, almacenamiento y comercialización, siendo importante la resistencia que presentan a la punción. Además de considerar también importante la resistencia a la elongación ya que se puede correlacionar con la homogeneidad de distribución en la superficie de la fruta durante su aplicación (Park, 1999; Vargas *et al.*, 2009).

1.7.2.4 Propiedades ópticas

A diferencia de los envases, los recubrimientos comestibles no se remueven de la superficie del producto al momento de su consumo, por lo que la apariencia de estos influyen directamente en las preferencias del consumidor, razón por la que a pesar de que existen pocos estudios relativos a la transparencia y brillantez de los recubrimientos comestibles. La transparencia y brillantez de los recubrimientos se ve afectada principalmente por la utilización de surfactantes, lípidos, humedad relativa y tiempo de almacenamiento (Trezza y Krochta, 2001).

1.7.3 Componentes de los recubrimientos

Para la formación de un recubrimiento comestible se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort *et al.*, 1998).



Cuando se combinan lípidos, proteínas y polisacáridos que puedan interactuar física o químicamente, se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento.

Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia y las propiedades de permeabilidad a la humedad, generalmente se combinan dos o más materiales. Dichas mezclas suelen realizarse mediante un recubrimiento multicapa, donde este se aplica mediante una técnica de laminación, en la cual se hace la inmersión de la fruta en una primera solución, ya sea de naturaleza lipídica o cálcica, entre otras (Baldwin *et al.*, 1996).

1.7.3.1 Proteínas

Son formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas, pero en muchos casos no resisten a la difusión de vapor de agua. Por ejemplo: caseína, gelatina, soya, gluten de trigo. Algunas cubiertas que contienen caseína contribuyen a la calidad de algunas frutas y hortalizas. Estos materiales no son solubles en agua y generalmente hay que removerlos antes de consumirlos. Las gelatinas tienen buenas propiedades de barrera y pueden ser usadas sin ninguna restricción. Las películas de caseína son opacas y adhesivas, solubles en soluciones alcalinas pero, relativamente resistentes al agua. Las películas de soya son resistentes al agua, blandas y flexibles siempre y cuando se usen plastificantes (Morales y Salazar, 2001).

1.7.3.2 Lípidos

Los lípidos son los recubrimientos que mejores resultados han dado en postcosecha. Mediante su utilización se reducen la respiración, deshidratación y mejora el brillo de los frutos. Los recubrimientos formados sólo por lípidos son friables y frágiles, por lo que se deben de aplicar en combinación con una matriz de soporte no lipídica. Carnauba, cera de abeja, parafina, salvado de arroz y candelilla se aconsejan en combinación con otros lípidos o polisacáridos, pero en la actualidad solo se utiliza Carnauba (Pérez-Gago *et al.*, 2002).



El recubrimiento con ceras naturales fundidas en la superficie de frutas y vegetales ayudan a prevenir la disminución de la humedad, específicamente durante los cambios de estación. La cera, las ceras parafinadas y la cera de candelilla, son algunas de las ceras preparadas y usadas como agentes de micro encapsulación, específicamente para sustancias con olores y sabores a condimento (Tharanathan, 2003).

1.7.3.3 Polisacáridos

Los polisacáridos son conocidos por su estructura compleja y diversidad funcional (Villada *et al.*, 2007). Una variedad de estos compuestos y sus derivados han sido probados para el uso potencial como películas comestibles las cuales en forma general se puede decir que presentan buenas propiedades de barreras al gas y se adhieren a las superficies cortadas de frutas y hortalizas, pero por su naturaleza hidrofílicas las hacen ser barreras pobres contra la humedad. Estas películas son fuertes, claras, relativamente resistentes al agua e inherentes a los aceites, grasas y muchos solventes orgánicos no polares. Ejemplos son: la celulosa, derivados de celulosa, pectina, almidón, quitosán, alginatos, almidones, carragenina (Morales y Salazar, 2001).

La estructura lineal de algunos de éstos polisacáridos, por ejemplo, la celulosa (1,4- β -D-glucano), la amilasa (un componente del almidón (1,4- α -D-glucano) y el quitosán (1,4- β -D-polímero de glúcidos), le proporcionan a algunas películas dureza, flexibilidad y transparencia; las películas son resistentes a las grasas y aceites (Benavides, 2002).

1.7.3.4 Compuestos

Los recubrimientos comestibles que se están ensayando en postcosecha son formulaciones mixtas de compuestos lipídicos e hidrocoloides. Los lípidos aportan la barrera al vapor de agua y los hidrocoloides la permeabilidad selectiva al CO₂ y O₂ (Pérez-Gago *et al.*, 2002).

El uso de cubiertas bicapa donde se emplean conjuntamente dos grupos de materiales de cubierta comestibles se ha propuesto para complementar sus propiedades y obtener una cubierta con mejores cualidades. Dichas recubiertas retardan la transferencia de agua entre las capas de alto y bajo contenido de humedad en los alimentos.



Algunas bicapas son: cera de abeja aplicada a una base de metilcelulosa, cera de abeja, ácido graso y etil celulosa todo en etanol y aplicado a una base de metilcelulosa, doble cubierta de abeja aplicada a una base de ácido graso hidrocoloide (Morales y Salazar, 2001).

1.7.3.5 Aditivos

Un uso potencial de los recubrimientos comestibles en frutas cortadas lo constituyen la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que confieren un beneficio añadido al recubrimiento. Por ejemplo, el enriquecimiento de los recubrimientos comestibles con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Guilbert y Biquet, 1996).

1.7.3.6 Surfactantes y emulsificantes

La adición de surfactantes y emulsificantes reducen la actividad de agua superficial y la velocidad de pérdida de humedad de los alimentos recubiertos. Se pueden agregar también agentes de liberación controlada y lubricantes para prevenir que los alimentos recubiertos se hagan pegajosos; entre éstos últimos se incluyen grasas, aceites, emulsificantes, petrolatum, polietilenglicol y silicona (Baldwin *et al.*, 1996).

1.7.3.7 Plastificantes

Es posible mejorar las propiedades mecánicas de estas formulaciones mediante la adición de plastificantes, dado que estos compuestos debilitan las interacciones moleculares del biopolímero incrementando su flexibilidad y favoreciendo la formación de una red estructural más homogénea lo que a su vez permite una mejor distribución de las sustancias hidrofóbicas. Sin embargo, es de gran interés determinar el efecto del tipo y concentración del plastificante en la formulación ya que al modificarse las fuerzas moleculares en la matriz estructural también se puede afectar significativamente su funcionalidad de barrera a la transferencia de masa (Bosques y Vernon, 2005).



1.7.3.8 Agentes microbianos y antioxidantes

Además de los plastificantes, se emplean antioxidantes, antimicrobianos y reafirmantes de la textura con el fin de mejorar las propiedades de las películas. Se ha demostrado que algunos aditivos actúan más efectivamente en alimentos cuando son aplicados formando parte del recubrimiento comestible que cuando son aplicados en soluciones acuosas mediante dispersión o inmersión, ya que las cubiertas pueden mantener los aditivos en la superficie del alimento durante más tiempo (Baldwin *et al.*, 1996).

La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de recubrimientos comestibles constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad inocuidad y vida útil de alimentos mínimamente procesados. El crecimiento de microorganismos en la superficie de productos cortados es una de las principales causas de su deterioro, se puede evitar mediante el uso de agentes antimicrobianos. Entre los principales agentes antimicrobianos incorporados en recubrimientos comestibles se encuentran sorbatos, ácidos, bactericidas, lisozima y más recientemente aceites esenciales.

El pardeamiento enzimático constituye también una de las principales causas de deterioro en frutas cortadas se puede evitar mediante la incorporación de antioxidantes en la formulación de los recubrimientos. Entre los antioxidantes normalmente usados en productos frescos cortados inhibir el oscurecimiento superficial se encuentran, el ácido ascórbico y sus sales, 4-hexylresorcinol y algunos aminoácidos que contienen azufre como la cisteína y el glutatión, entre otros (Pizzocaro *et al.*, 1993; Son *et al.*, 2001).

1.8 Legislación

Junto a las disposiciones de la FDA se han promulgado las regulaciones de las buenas prácticas de fabricación orientadas a minimizar el riesgo para la salud pública a consecuencia de la manipulación, almacenamiento y distribución o procesado impropio de frutas y hortalizas y otros alimentos (Wiley, 1997).



Todos los alimentos mínimamente procesados incluirán la refrigeración como uno de los obstáculos o vallas para mantener la seguridad y calidad de los productos. En consecuencia tales alimentos se consideran refrigerados (Wiley, 1997).

Dichas normatividades o disposiciones están sujetas a lo mencionado en el Real decreto 3484/2000 en donde se establecen los límites que deben cumplir las comidas preparadas envasadas a base de vegetales crudos. En el recuento total de aerobios mesófilos, en el cual para una muestra de 5 unidades, sólo dos de ellas pueden tener un valor de entre 105 y 106 UFC/g en el día de fabricación y entre 106 y 107 UFC/g en el de la caducidad. Así mismo se establecen los límites para *E. coli*. Considerando como testigo falta de higiene, admitiéndose solo dos muestras de un total de cinco lecturas entre 101 y 102 UFC/g los mismos valores se utilizan para *listeria monocitogenes*. En *Salmonella spp* se especifica que debe estar ausente en 25 g (Real Decreto Español 3484/2000).

La Comisión del Codex Alimentarius (CCA) desarrolló un documento titulado “Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas” en materia de los productos frescos cortados (FAO, 2003), con un anexo sobre frutas y hortalizas frescas precortadas listas para el consumo que pretende la implementación de buenas prácticas de fabricación para ayudar al control de riesgos microbiológicos, físicos y químicos asociados al procesado de frutas y hortalizas frescas cortadas. La US Food and Drug Administration (FDA) elaboró un documento similar, “Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Redution/Elimination of Microbial Hazard on Fresh and Fresh-cut Produce”, identificando los riesgos potenciales y revisando los métodos de intervención para reducir los riesgos microbiológicos en productos frescos cortados (FDA, 2001).



Objetivos



2 Objetivos

Objetivo General: Determinar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina y alginato de sodio para mantener la calidad, mejorar la inocuidad y alargar la vida útil de mango variedad ‘Manila’ (*Mangifera indica L.*) cortado listo para consumir.

2.1 Objetivos Particulares

Objetivo Particular 1: Seleccionar el grado de madurez óptimo del mango variedad ‘Manila’ para elaborar un producto fresco cortado listo para consumir que mantenga sus características de calidad durante el almacenamiento en refrigeración.

Objetivo Particular 2: Determinar el efecto de dos antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) a dos concentraciones (0.5 y 1%), para el control del pardeamiento enzimático del mango ‘Manila’ fresco cortado listo para consumir.

Objetivo Particular 3: Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina (0.5, 1, 2%) y alginato (0.5, 1%) sobre la inocuidad (mohos y levaduras, mesófilos y coliformes), parámetros de calidad (pH, acidez titulable, color, sólidos solubles, vitamina C, liberación de líquido y pérdida de peso) y características sensoriales en el mango ‘Manila’ fresco cortado listo para consumir.

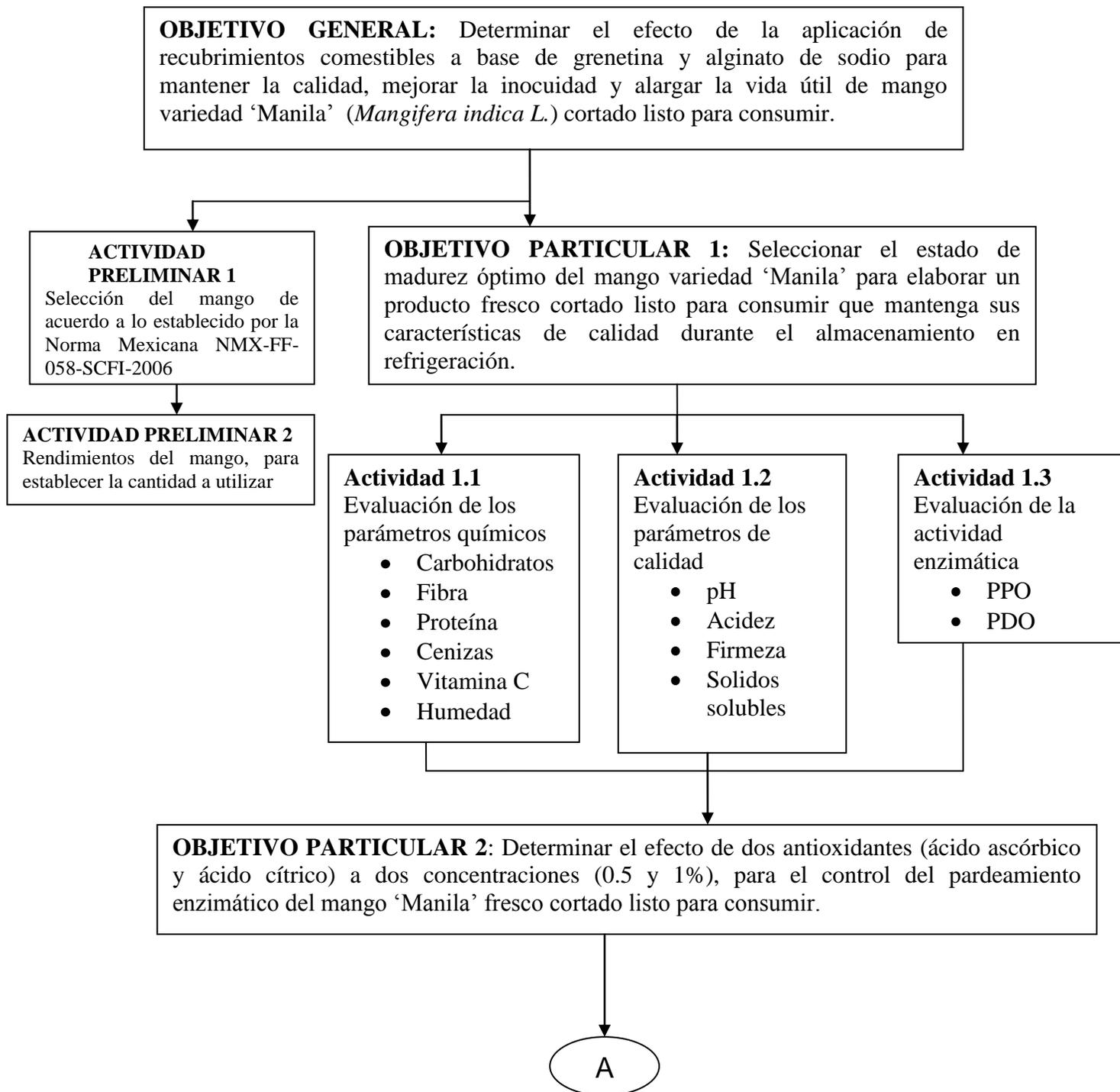


Materialles y métodos



3 Materiales y métodos

En la figura 10 se muestra la metodología experimental llevada a cabo en el presente trabajo.



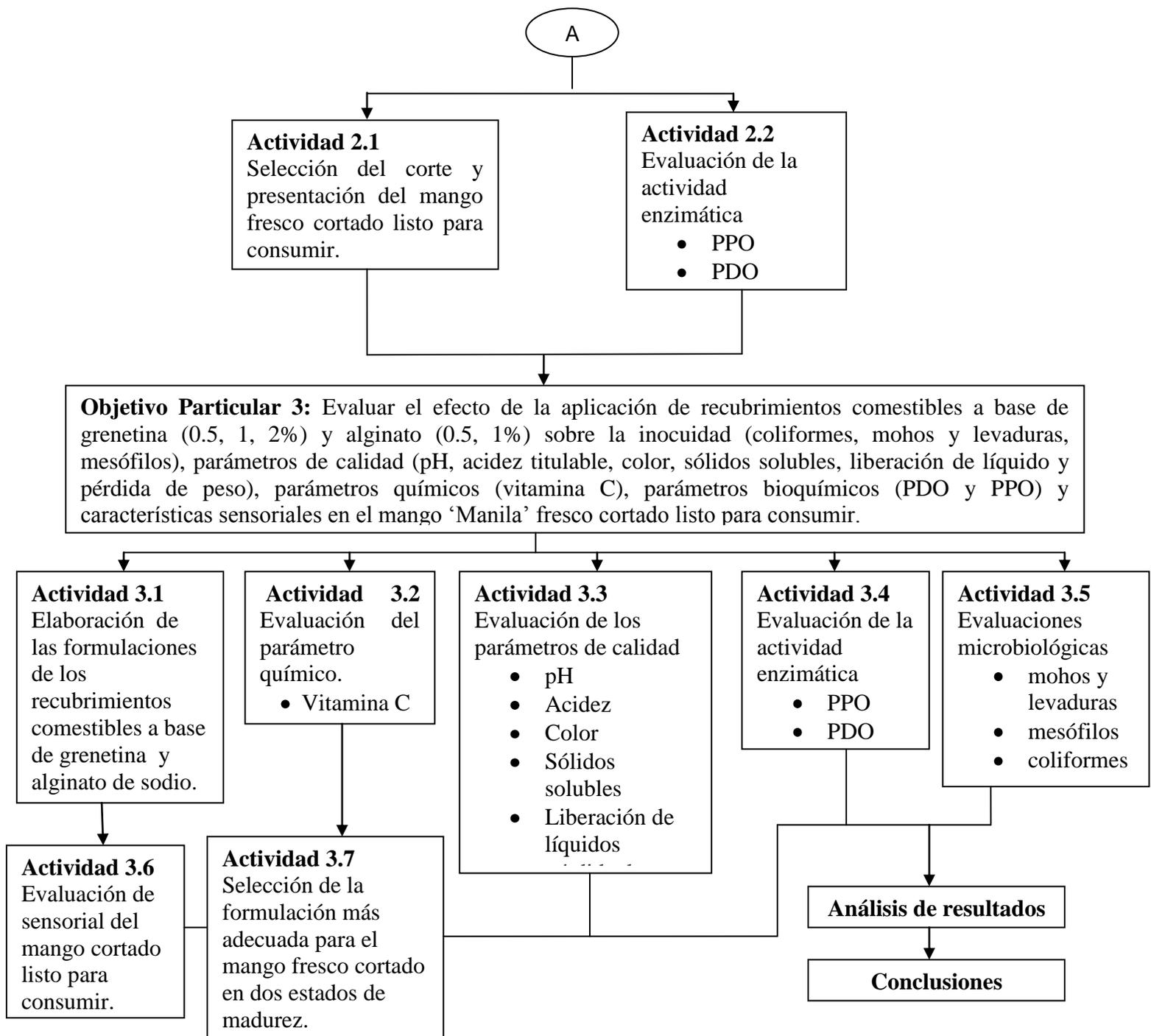


Figura 10: Cuadro Metodológico



3.1 Material biológico

Los mangos (*Mangífera indica* L.) de la variedad 'Manila' se adquirieron en la Central de Abastos de la Ciudad de México con diferentes estados de madurez y se trasladaron al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM para su posterior estudio (Figura 11).



Figura 11. Material biológico para la experimentación

3.2 Selección y acondicionamiento de la materia prima

Los mangos se seleccionaron de acuerdo a lo establecido por la Norma Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 para los mangos de las variedades mulgova donde se incluye al mango 'Manila', la selección se realizó por medio de una inspección visual para establecer dos estados de madurez, eliminando aquellos frutos que presentaron daños físicos (Figura 12).



Figura 12. Selección y clasificación del mango por color verde y amarillo

3.3 Evaluación física, química, fisicoquímica y bioquímica del mango

Para evaluar las características químicas y parámetros de calidad se utilizaron mangos previamente seleccionados en los dos estados de madurez (fisiológico y comercial), antes de ser cortados, cada prueba se realizó por triplicado.



Los parámetros de calidad que se evaluaron fueron: pH, acidez, firmeza y sólidos solubles, mientras que los parámetros químicos evaluados fueron: el contenido de humedad, azúcares totales, cenizas, vitamina C y proteínas; los parámetros bioquímicos fueron: peroxidasa (PDO) y polifenoloxidasas (PPO) de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 3.9.

3.4 Evaluación del efecto de diferentes antioxidantes sobre el control del pardeamiento enzimático en el mango fresco cortado listo para consumir

Para evaluar el efecto de antioxidantes en el control del pardeamiento de mango fresco cortado listo para consumir se utilizaron dos antioxidantes: ácido ascórbico y ácido cítrico en dos concentraciones como se muestra en la tabla 10. Los parámetros bioquímicos evaluados fueron la actividad residual de la peroxidasa y polifenoloxidasas expresados en porcentajes de actividad de cada tratamiento con respecto a la actividad de las muestras control. De esta manera se obtuvo el mejor tratamiento con antioxidante en los dos estados de madurez (comercial y fisiológico), almacenados durante 11 días y muestreados los días 1, 4, 8 y 11.

Tabla 10. Diseño experimental de los antioxidantes

Grado de Madurez	Estado Comercial								Estado Fisiológico							
Antioxidante	Ácido ascórbico				Ácido cítrico				Ácido ascórbico				Ácido cítrico			
Días	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11
Concentración	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11
0.5%p/p	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
1% p/p	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
Control (sin recubrimiento)	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄

3.4.1 Elaboración de mango fresco cortado listo para consumir con los tratamientos químicos

En la figura 13 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con tratamientos químicos.



Materiales y métodos

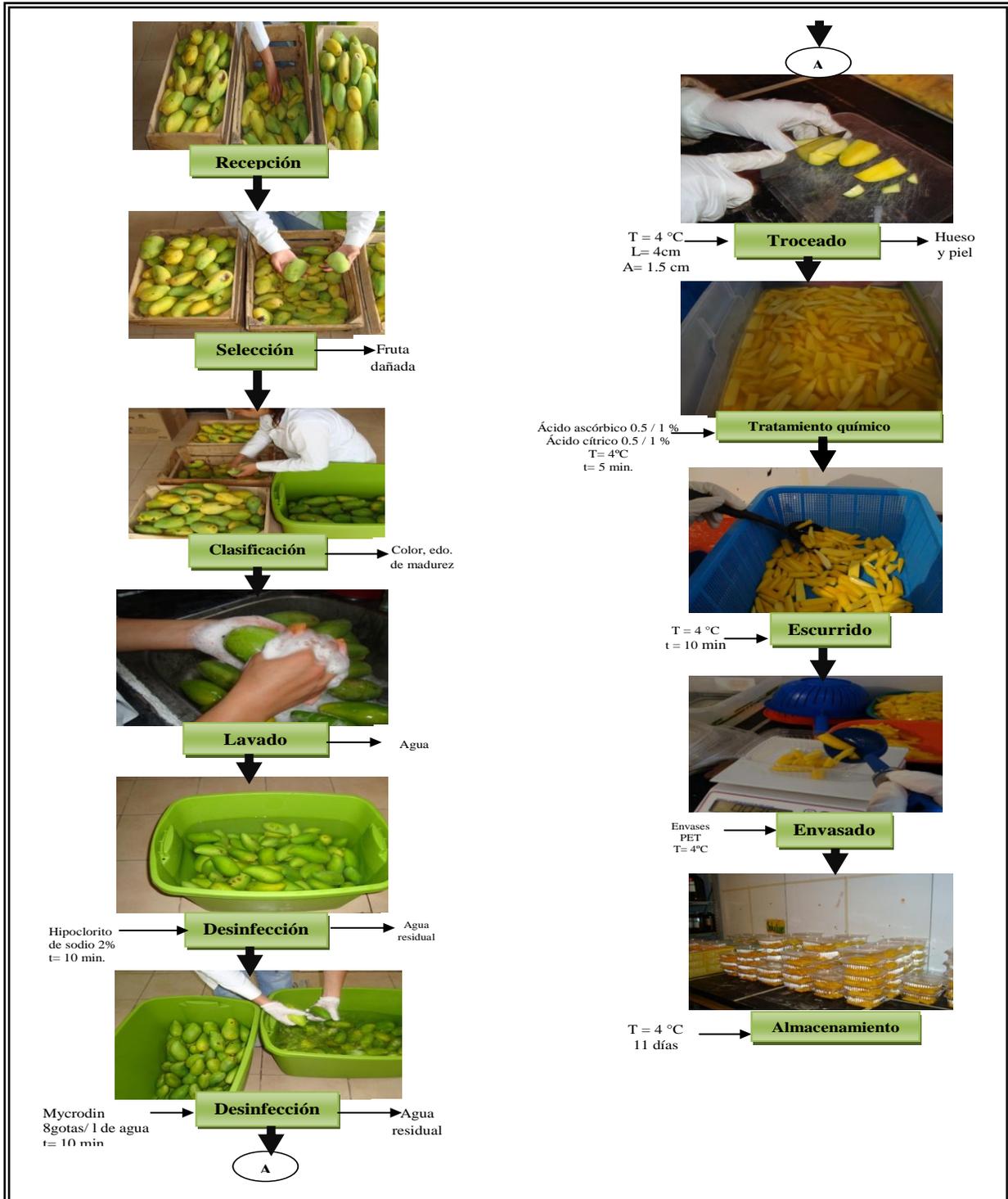


Figura 13. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir



Lavado y desinfección del material

El material que se usó como cuchillos, recipientes de plásticos, cucharas, tablas de picar se lavó con una solución de jabón y agua corriente, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 3%, todo el material se sumergió en la solución de hipoclorito y se dejó secar para el procesamiento del mango.

Durante la manipulación de los frutos fue necesario usar cofia, guantes y cubrebocas para evitar cualquier contaminación del producto de parte del personal que realiza la operación.

Lavado y desinfección de los frutos

Los frutos se lavaron con una solución jabonosa y agua corriente, enseguida se enjuagaron y se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 10 minutos; a continuación se dejó escurrir el exceso de agua clorada en los mangos. Poco después se realizó una segunda desinfección con plata ionizada (marca Mycrodin) 8 gotas/litro de agua durante 10 minutos y dejó escurrir de nuevo el exceso de agua en ellos.

Cortado

Los mangos se cortaron con un cuchillo de acero inoxidable longitudinalmente obteniendo solamente dos partes del mango, las cuales se partieron en forma de tiras con las siguientes dimensiones 4 x 1.5 cm a 4°C.

Tratamientos químicos

Las tiras de mango se sumergieron durante 5 minutos en una solución de ácido ascórbico y/o ácido cítrico en dos concentraciones diferentes (0.5 y 1% p/v), los tratamientos se realizaron dentro de una cámara de refrigeración a una temperatura de 4°C, para evitar la rápida oxidación del fruto. Se escurrió el exceso de la solución antioxidante durante 10 minutos.

Envasado, pesado y almacenamiento del producto

El mango fresco cortado se envasó en charolas de PET, colocando las tiras de mango en los recipientes previamente lavados y desinfectados, llenando cada caja con 50 gramos de material orgánico, se taparon y etiquetaron de acuerdo a cada tratamiento químico que recibieron. Todas las muestras se almacenaron a 4°C durante 11 días.



3.5. Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina y alginato en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración

3.5.1 Selección de la formulación del recubrimiento

Se ensayaron diferentes formulaciones de acuerdo con las tablas 11 y 12, donde muestran las concentraciones de grenetina y alginato, así mismo se indican las concentraciones de los aditivos y plastificante (glicerol), se agregó la mezcla de antioxidantes de ácido cítrico al 0.5% y ácido ascórbico 1%.

Tabla 11. Formulaciones a base de grenetina y aditivos para la conservación del mango fresco cortado

Tratamiento	Grenetina % (m/v)	Aceite esencial de limón % (v/v)	Antioxidante % (m/v)	Glicerol % (v/v)	Tween 80 % (v/v)	Tiempo de inmersión (min)
Grenetina	0.5	0.25	Mezcla de ácido ascórbico 1% y ácido cítrico 0.5%	1	0.6	2
		0.5				
	1	0.25				
		0.5				
		0.5				

Tween: Monoleato de polioxietilensorbitán.

A los recubrimientos comestibles se les adicionó Glicerol y Tween 80, usados para reducir la actividad acuosa superficial y emulsificante, respectivamente. El aceite esencial de limón se utilizó como agente antifúngico natural.

Tabla 12. Formulaciones a base de alginato y aditivos para la conservación del mango fresco cortado

Tratamiento	Alginato % (m/v)	Aceite esencial de limón % (v/v)	Antioxidante % (m/v)	Glicerol % (v/v)	Tween 80 % (v/v)	Tiempo de inmersión (min)	CaCl ₂ % (m/v)	Tiempo de inmersión en la sol. CaCl ₂ (min)
Alginato	0.5	0.25	Mezcla de ácido ascórbico 1% y ácido cítrico 0.5%	1	0.6	2	2	2
		0.5						
	1	0.25						
		0.5						

Tween: Monoleato de polioxietilensorbitán.



Para las formulaciones se utilizaron los siguientes ingredientes: Grenetina (280 bloom) marca Wilson, alginato de sodio (RGB/224/221), aceite esencial de limón persa (Aceites y Esencias 91031), ácido ascórbico (REFGB114) y cítrico, cloruro de calcio (Escamas TEC. 90%), Tween 80 (marca Baker) y Glicerol anhidro (marca Baker). La elección de las formulaciones se realizó en función a otros trabajos reportados aplicados a frutos frescos cortados (ver Tabla 9).

3.5.2 Elaboración del recubrimiento comestible

Se procedió a preparar el recubrimiento comestible de acuerdo al porcentaje establecido en las tablas 11 y 12. La hidratación de la grenetina fue a 38°C, mientras que la de alginato se hizo a 30°C, con agitación constante en una parrilla eléctrica adicionando el ácido cítrico en primer lugar para crear un medio ácido y así poder disolver mejor la grenetina y el alginato, enseguida se adicionó el glicerol, aceite esencial de limón y por último el Tween, se mantuvo la agitación constante hasta obtener una solución homogénea y transparente. Se ensayaron en total 6 formulaciones a base de grenetina y 4 a base de alginato y un grupo control (sin recubrimiento) para los dos estados de madurez: comercial y fisiológico.

3.6 Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración

En la figura 14 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración del mango fresco cortado con aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina. Se siguieron las mismas operaciones de lavado, desinfección y corte para el material y los frutos como se describe en el apartado 3.4.1.

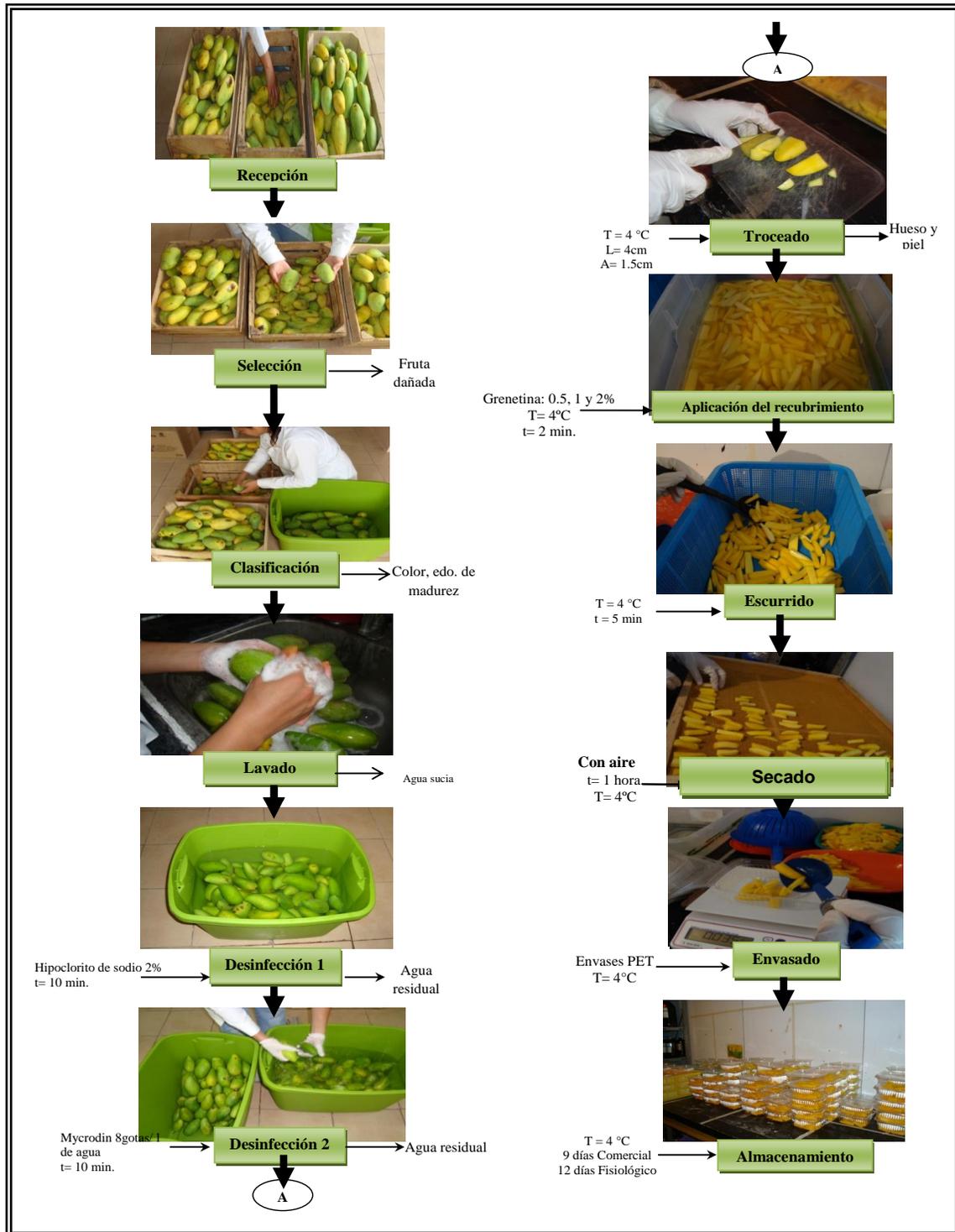


Figura 14. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con recubrimientos comestibles a base de grenetina.



Aplicación de los recubrimientos comestibles

El recubrimiento a base de grenetina se aplicó en el de mango ‘Manila’ fresco cortado con un tiempo de inmersión de 2 minutos a 4°C.

Ecurrido

El mango fresco cortado se sacó de la solución tras haber terminado el tiempo de inmersión y se eliminó el exceso del recubrimiento durante 5 minutos en un cedazo a 4°C.

Secado

Se dejó secar el recubrimiento comestible aplicado en el mango colocándolo sobre una malla durante una hora a una temperatura de 4°C.

Envasado, pesado y almacenamiento del producto

Finalmente el mango fresco cortado se envasó en charolas PET previamente lavados y desinfectados, llenando cada caja con 50 gramos y se etiquetaron de acuerdo a cada tratamiento que recibieron. Todas las muestras se almacenaron a 4°C con un tiempo de para el estado en madurez comercial 9 días y para el estado de madurez fisiológico 12 días.

3.7 Aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato en mango fresco cortado en dos estados de madurez almacenado en refrigeración

En la figura 15 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con aplicación de recubrimientos comestibles a base de alginato.

La aplicación del recubrimiento a base de alginato se realizó de la misma manera que el recubrimiento a base de grenetina con la diferencia de que se le incluyó un paso adicional que es sumergirlo en la solución de cloruro de calcio al 2% durante 5 minutos una vez que se aplicó la solución de alginato, después se realizaron las operaciones descritas en el apartado 3.7. El almacenamiento fue a 4°C durante 15 días para los dos estados de madurez.



Materiales y métodos

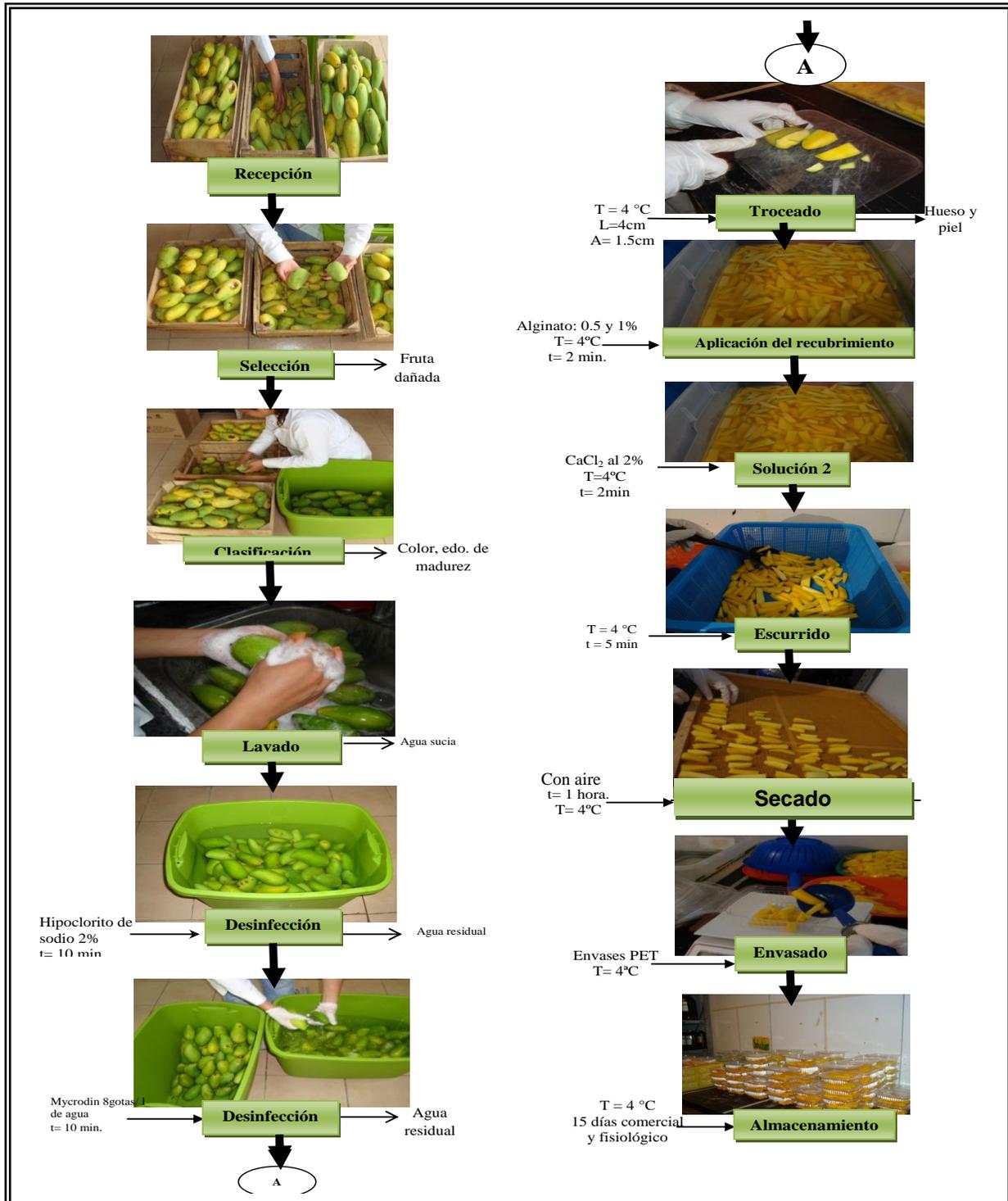


Figura 15. Diagrama de proceso para la elaboración del mango fresco cortado listo para consumir con recubrimientos a base de alginato.



3.8 Evaluación del efecto de los recubrimientos comestibles sobre los parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales

Una vez seleccionada la mezcla de los agentes antioxidantes con ácido ascórbico al 1% y ácido cítrico al 0.5% se adicionaron en la matriz de los recubrimientos comestibles formulados a base de grenetina (0.5, 1, 2% p/v) y alginato (0.5 y 1% p/v) con tiempos de inmersión de 2 minutos, se tomaron muestras en el primero, tercero, sexto, noveno, doceavo y quinceavo días de almacenamiento dependiendo del recubrimiento que se aplicó. Se evaluaron los parámetros de calidad: pH, acidez, sólidos solubles, color, pérdida de peso, liberación de líquidos y vitaminas C de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 3.10.

Una evaluación sensorial se realizó con un grupo de panelistas de 10 personas no entrenados para determinar el efecto de los recubrimientos en las características organolépticas del mango fresco cortado listo para consumir, donde se evaluaron los atributos de: color, olor, sabor y textura, utilizando una escala hedónica y aplicando una prueba de aceptabilidad (Carpenter *et al.*, 2002).

La inocuidad del producto se evaluó mediante un análisis microbiológico realizado al inicio y al final del experimento solo para aquellos frutos donde se les aplicó recubrimientos comestibles a base de grenetina en estado de madurez fisiológico y a base de alginato en estado de madurez comercial ya que fueron los que obtuvieron mayor aceptabilidad por parte del consumidor y mejores parámetros de calidad, se contaron mohos y levaduras, coliformes totales y mesófilos aerobios de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 3.10.4.

3.9 Métodos analíticos

3.9.1 Parámetros químicos

- **Determinación de humedad:** La humedad se realizó por el método de la estufa de aire caliente (Figura 16), que se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire caliente. Los resultados se expresaron en porcentaje (Pearson, 1998).

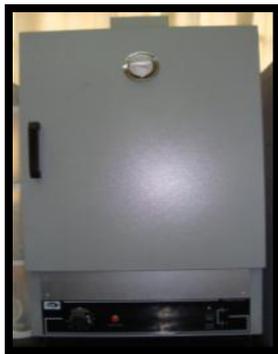


Figura 16. Estufa de aire caliente para determinar humedad

- **Determinación de Carbohidratos:** La determinación de azúcares reductores totales y reductores directos se hizo por el método de Lane y Eynon que está basado en la capacidad reductora de los azúcares que tienen libre el grupo carbonilo. Estos carbohidratos son capaces de reducir elementos como el Cu^{+2} y Fe^{+3} , (el Cu^{+2} pasa a Cu^{+1} por ejemplo). Se hace reaccionar sulfato cúprico con azúcar reductor en medio alcalino formándose óxido cuproso, el cual forma un precipitado rojo ladrillo y se usa como indicador el azul de metileno el cual es decolorado una vez que todo el cobre se reduce lo que indica el final de la titulación. Los resultados se expresaron en porcentaje (Pearson, 1998).
- **Determinación de Proteínas:** El método de Lowry *et al.* (1951) es un método colorimétrico de valoración cuantitativa de las proteínas mediante un espectrofotómetro (Figura 17). Este método consta de dos etapas: los iones Cu^{2+} , en medio alcalino, se unen a las proteínas formando complejos con los átomos de nitrógeno de los enlaces peptídicos. Estos complejos Cu^{2+} la proteína tienen un color azul claro y la segunda etapa consta de la reducción en medio básico del reactivo de Folin-Ciocalteu por los grupos fenólicos de los residuos de tirosina presentes en la mayoría de las proteínas, actuando el cobre como catalizador. Los resultados se expresaron en mg proteína / ml de extracto (Lowry *et al.*, 1951).



Figura 17. Espectrofotómetro UV

- **Determinación de Fibra cruda:** Se usó el método de Kennedy y Wendy. La fibra bruta es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de una hidrólisis ácida y alcalina. El contenido de fibra se expresó en porcentajes (Pearson, 1998).
- **Determinación de Cenizas totales:** Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de quemar la materia orgánica; representan el contenido mineral. El análisis de las cenizas se lleva a cabo por incineración total (Figura 18) de la muestra a temperaturas elevadas (550°C) y la determinación de su masa. El contenido de ceniza se expresó como porcentaje (Pearson, 1998).



Figura 18. Mufla para incineración de cenizas



- **Determinación de Vitamina C:** El ácido ascórbico se extrae de la muestra con una disolución de ácido acético o ácido oxálico transformándose a continuación con 2-6-diclorofenolindofenol en ácido dehidroascórbico, mediante el método volumétrico. La cantidad de vitamina C se expresa en mg del ácido por 100 g del alimento (Pearson, 1998).

3.9.2 Parámetros de calidad

- **Determinación de Firmeza:** Se utilizó un penetrómetro manual marca Tr. (Figura 19) con una sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro, los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para penetrar la pulpa de mango en $\text{Kg}_f / \text{cm}^2$.



Figura 19. Penetrómetro manual

- **Determinación de sólidos solubles:** La medición de este parámetro se hizo con un refractómetro de mano (marca Atago) poniendo una gota del jugo que se desprende del mango (Figura 20). Los resultados se expresaron como °Brix.



Figura 20. Refractómetro manual

- **Determinación de pH:** Se basa en la determinación de la actividad de iones hidrógeno (H^+) medidos en un potenciómetro usando un electrodo de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema. El pH del mango se midió con un potenciómetro manual (marca HANNA instruments), por medición directa a temperatura ambiente (Figura 21).



Figura 21. Potenciómetro manual

- **Determinación de Acidez:** La acidez titulable es el % de los ácidos contenidos en el producto. La determinación de este parámetro se realizó por medio del análisis conocido como titulación directa, que es la neutralización de los iones hidrógeno del ácido con una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida (Figura 22). El cambio de acidez a la alcalinidad se determina utilizando fenolftaleína como indicador (AOAC, 1994).



Figura 22. Acidez titulable

- **Determinación de Color:** La determinación del color se llevó a cabo con un colorímetro (marca Minolta), “L” que significa luminosidad donde el color negro presenta un valor de $L = 0$ mientras que el blanco $L = 100$. Este parámetro sirve para saber si alguno de los tratamientos aplicados en el mango cortado listo para consumir le confiere cierto brillo en la fruta.
- **Determinación de Pérdida de peso:** Se realizó mediante la diferencia de pesos, tomando como base el peso inicial del día de su procesamiento de cada uno de los envases menos su peso final. Los resultados se expresaron como % de pérdida de peso durante el almacenamiento (Sichmann *et al.*, 2006).



- **Determinación de Liberación de Líquidos:** Método usado por González – Aguilar *et al.* (2004), en el cual cada tira de mango se colocará entre dos papel filtro se sometió a la aplicación de un peso de 150 g por 20 segundos. Los papeles filtros se pesaron antes y después de la aplicación del peso, registrando la diferencia de peso. Los resultados obtenidos se expresaron en % de líquido desprendido.

3.9.3 Parámetros bioquímicos

- **Preparación del sustrato:** El extracto crudo fue preparado de acuerdo con el método descrito por Cano *et al.* (1997) con modificaciones en el pH del buffer de extracción, temperatura de incubación y sustrato utilizado de acuerdo al fruto en estudio. Se pesaron 200 mg de pulpa de mango la cual se maceró con nitrógeno líquido, colocándose después en microtubos a los que se les adicionó 1 mL de buffer fosfato frío 0.2 M y con un pH de 7.5. Las muestras se centrifugaron a 12,000 rpm durante 30 minutos, extrayendo el sobrenadante y descartando el precipitado obteniéndose de esta manera el extracto crudo usado para la determinación de la actividad enzimática de la PPO y PDO.
- **Determinación de la actividad polifenol oxidasa (PPO):** La actividad de esta enzima se determinó espectrofotométricamente, usando como sustrato dopamina. Las condiciones para enzima son: buffer fosfato de pH 7.5 temperatura de 40°C, $\lambda = 420$ nm.
- **Determinación de la actividad peroxidasa (PDO):** La actividad de esta enzima se determinó espectrofotométricamente, usando como sustrato *p*-fenildiamina dihidroclorada. Las condiciones para determinar la actividad enzimática son: pH 5 temperatura de 30°C, $\lambda = 485$ nm.

Nota: Los sustratos enzimáticos se almacenaron a temperatura de congelación.



3.9.4 Parámetros microbiológicos

La calidad sanitaria de las muestras se determinaron de acuerdo a las normas establecidas para:

- Coliformes totales: (NOM-113-SSA-1994)
- Mesófilos aerobios: (NOM-092-SSA-1994)
- Hongos y levaduras: (NOM-111-SSA-1994)

3.10 Método estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se analizaron mediante un análisis factorial donde las variables del diseño de experimentos y los niveles de variación se muestran en la tabla 13. Para determinar la diferencia estadística entre las medias se aplicaron pruebas de rango múltiple mediante el uso del programa estadístico SPSS versión 15.

Tabla 13. Descripción de variables

Factor de variación	Nivel de variación	Réplicas	Variables dependientes	Variables de respuesta
Agentes antioxidantes	Ácido cítrico (0.5 y 1%) Ácido ascórbico (0.5 y 1%)	2	Parámetro bioquímico	% de actividad de la PPO y PDO
Estado de madurez	Madurez comercial Madurez fisiológica		Parámetros químicos	Carbohidratos, fibra, proteína, cenizas y vitamina
			Calidad	pH, acidez, firmeza y °Brix
			Bioquímicos	% de actividad de la PPO y PDO
Recubrimientos comestibles	Alginato (0.5, 1%) Grenetina (0.5, 1, 2%)		Parámetros calidad	pH, acidez, luminosidad, sólidos solubles, liberación de líquido, pérdida de peso
			Bioquímicos	% de actividad de la PPO y PDO
			Sensoriales	Prueba de aceptabilidad y hedónica
Aceite esencial de limón	0.25% 0.5%		Nutricional	Vitamina C
			Microbiológico	Mohos y levaduras, coliformes mesófilos aerobios



Resultados y discusión



4 Resultados y discusión

4.1 Rendimientos del mango 'Manila'

La prueba de rendimiento se realizó para saber la cantidad de pulpa de mango que se obtendría para la elaboración del mango cortado listo para consumir con la aplicación tanto de los tratamientos químicos y recubrimientos comestibles en los dos estado de madurez: comercial y fisiológico (tabla 14).

Tabla 14. Rendimiento del mango

Mango Madurez	Pulpa (%)	semilla y piel (%)
Comercial	41.60	58.40
Mango Madurez fisiológica	38.10	61.90

Los valores representan la media de tres réplicas \pm desviación estándar

El rendimiento promedio de la pulpa de mango tanto en madurez fisiológica como comercial fue de 38-40%, estas variaciones dependieron del tamaño y las condiciones en las que se adquirieron la materia prima.

4.2 Caracterización química del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez

La composición química del mango depende del grado de madurez, el principal componente de esta fruta son los azúcares como la sacarosa. Representa una fuente importante de vitamina C como se muestra en el Tabla 15.

La humedad que se obtuvo para el mango en los dos estados de madurez fue de 89% no encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$). En cuanto al contenido de azúcares totales se encontró que hay mayor porcentaje en el mango con madurez comercial que en el estado de madurez fisiológica (Tabla 15).



Tabla 15. Composición química del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez

Componentes	Madurez	
	Comercial	Fisiológica
Humedad (%)	89.13±0.14	89.07±3.12
Azúcares totales (%)	7.01±0.16	5.28±0.28
Proteína (%)	4.85±0.44	3.66±0.25
Cenizas (%)	0.20±0	0.70±0
Fibra (%)	0.46±0.01	0.68±0.01
Vitamina C (mg ácido ascórbico/ 100 g muestra)	9.73±0.01	21.52±0.73

Los valores representan la media de tres réplicas ± desviación estándar.

Al igual que en la mayoría de las frutas y hortalizas, los hidratos de carbono son los macronutrientes mayoritarios en el mango, predominando entre ellos los azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), aunque en los mangos inmaduros existe cierta cantidad de almidón, que va convirtiéndose en azúcares simples a medida que madura el fruto, por lo que esto concuerda con los resultados obtenidos en la determinación de carbohidratos debido a que en el mango en madurez fisiológica fue menor la cantidad de carbohidratos (Astiasarán y Martínez, 2003). La fibra cruda fue mayor en el mango en estado de madurez fisiológica pues lo que se determina es la fibra insoluble ya que forma parte de la pared celular del fruto como son la celulosa, la hemicelulosa, la lignina y el almidón resistente son fibras alimentarias insolubles y se degradan a medida que el fruto va madurando, encontrando en el mango en estado de madurez comercial menor cantidad de esta (Astiasarán y Martínez, 2003; Badui, 2006; Luchsinger *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos de la vitamina C fueron mayores en el estado de madurez fisiológico ya que este compuesto es más estable a pH ácidos. La vitamina C se degrada a medida que el mango sigue su proceso de maduración disminuyendo sus niveles, es por esta razón que la acidez y el sabor astringente desaparecen dando lugar al sabor suave característico de la fruta, de esta manera en el mango en estado de madurez comercial la vitamina C es menor en comparación con el mango en estado de madurez fisiológico (Stafford, 1983).



4.3 Caracterización físico-química del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez

Los parámetros físico-químicos son importantes para determinar la calidad del mango y así establecer el grado de madurez para la elaboración del producto fresco cortado listo para consumir. En la tabla 16 se muestran los datos obtenidos de las pruebas físico-químicas del mango variedad 'Manila'.

Tabla 16. Parámetros físico-químicos del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez

Parámetro	Madurez	
	Comercial	Fisiológica
Firmeza (Kgf/cm ²)	4.81±0.30	12.36±0.52
Sólidos solubles (°Brix)	12.66±0.28	10.06±0.11
pH	4.46±0.11	3.00±0
Acidez (% ácido cítrico)	0.03±0	0.35±0

Los valores representan la media de tres réplicas ± desviación estándar.

La firmeza en el mango en estado de madurez fisiológico fue mayor que en el estado de madurez comercial debido a que hay un gran contenido en pectinas, protopectinas y pectina soluble en agua. A medida que va madurando el mango los compuestos que forman la pared celular se van solubilizando en el agua contenida en la fruta, produciéndose el ablandamiento característico del mango maduro (Primo, 1997; Pérez, 2008).

Respecto a los valores de pH y acidez se encontró que son inversamente proporcionales ya que si la acidez disminuye el pH se acerca más hacia la basicidad, esto es debido a que los ácidos orgánicos presentes en el mango cuando se encuentran en el estado de madurez comercial disminuyen, ya que al ser recolectado el mango, queda separado de su fuente natural de nutrientes, pero su tejido todavía respira y desarrolla actividades metabólicas, cuya energía se obtiene de la oxidación de azúcares y de otros sustratos, como los ácidos orgánicos (González-Aguilar *et al.*, 2001).



4.4 Caracterización de la actividad enzimática (polifenoloxidasa y peroxidasa) en el mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez: comercial y fisiológico

La PPO y la PDO son las responsables de pardeamiento enzimático que ocurre durante el almacenamiento, manipulación y procesamiento. Las magulladuras, el troceado y otros procedimientos mecánicos dañan las paredes de las frutas y vegetales, lo cual permite que el oxígeno penetre, dando como resultado el oscurecimiento o las reacciones de pardeamiento enzimático. Estas reacciones modifican las características organolépticas y nutricionales del alimento depreciando su calidad. En la tabla 17 se muestra la cuantificación de la actividad enzimática de la polifenoloxidasa (PPO) y la peroxidasa (PDO). Para el estado en madurez comercial se observó una mayor actividad enzimática debido a que los compuestos fenólicos presentes en el mango y la acción de factores como el oxígeno entran en contacto con el fruto y favorecen su incremento en comparación con el estado en madurez fisiológico donde la actividad enzimática es más baja.

En la prueba realizada para la determinación de la actividad enzimática de PPO se encontró que fue muy baja, esto pudo ser por diversos factores como el tipo de mango, el cultivo, la degradación de la enzima antes de la determinación, etc.

Tabla 17. Parámetros bioquímicos del mango variedad 'Manila' en dos estados de madurez

Madurez	Comercial	Fisiológica
PDO (Δ 485 min⁻¹ mg proteína⁻¹)	16.44±1.67	12.56±2.95
PPO(Δ 420 min⁻¹ mg proteína⁻¹)	1.43±0.04	0.71±0.23

Los valores representan la media de tres réplicas \pm desviación estándar.

4.5 Evaluación de la actividad enzimática en el mango variedad 'Manila' fresco cortado aplicando los tratamientos químicos para inhibir el pardeamiento enzimático (PPO y PDO)

Para determinar el efecto de los agentes antioxidantes utilizados en este trabajo (ácido ascórbico y cítrico) sobre el control del pardeamiento enzimático en el mango cortado listo para consumir se evaluaron las actividades residuales de la PPO y PDO.



4.5.1 Efecto en la actividad de la peroxidasa (PDO)

Como se observa en la tabla 17 se evaluó la PDO de forma residual, es decir la actividad de dicha enzima en los frutos tratados con agentes antioxidantes con respecto a los frutos control a lo largo de 11 días de almacenamiento en dos estados de madurez. En la tabla 18 se muestran los porcentajes de actividad de la enzima el primer día de almacenamiento, encontrándose que el tratamiento que presentó mayor actividad fue el ácido cítrico 0.5% con 15.48%, mientras que los demás tratamientos presentaron actividad residual entre 7-9%, siendo el ácido ascórbico al 1% el más bajo.

Tabla 18. Porcentajes de actividad residual de la PDO en dos estados de madurez

Madurez fisiológica Porcentaje de actividad residual (%)				
Día	1	4	8	11
Control	100	100	100	100
Ácido ascórbico 1%	9.38	5.22	4.23	6.15
Ácido ascórbico 0.5%	7.79	6.77	4.50	5.63
Ácido cítrico 1%	9.62	6.06	5.73	5.93
Ácido cítrico 0.5%	10.51	7.12	4.20	3.60
Madurez comercial Porcentaje de actividad residual (%)				
Día	1	4	8	11
Control	100	100	100	100
Ácido ascórbico 1%	7.73	9.20	19.57	17.77
Ácido ascórbico 0.5%	9.84	8.08	18.32	20.61
Ácido cítrico 1%	8.73	7.22	17.89	17.21
Ácido cítrico 0.5%	15.49	4.67	20.12	8.79

Los valores representan la media de tres réplicas.

Los mangos en estado de madurez comercial en el día 4 de almacenamiento el porcentaje de actividad presentó un mínimo y para el día 8 se observó un máximo para después disminuir finalmente el 11vo día, encontrándose que el tratamiento con ácido cítrico 0.5% la actividad residual fue de 8.79%, mientras que en los demás tratamientos los valores fueron entre 11-20%.



En el estado de madurez fisiológica la tendencia de la actividad residual fue a disminuir gradualmente al paso de los días, observando que la actividad fue mucho menor que si se comparase con el estado de madurez comercial. El tratamiento con ácido ascórbico 0.5% presentó una menor actividad de la enzima PDO 7.74%, mientras que para el ácido cítrico y ascórbico al 1% fue para ambos casos de 9% y para el ácido cítrico 0.5% fue del 10%. Siendo el ácido ascórbico al 0.5% el que ayudó con una mayor inhibición de esta enzima.

Para el final de la experimentación el tratamiento con ácido cítrico 0.5% fue el que logró disminuir la actividad de la enzima con 3.5%, ya que mantuvo los rangos de pH estables por debajo del pH óptimo de la enzima que es de 6 a 7 seguido de los tratamientos de ácido cítrico y ascórbico 1% con 5% para ambos y finalmente el ácido ascórbico 0.5% la inhibió 6% con respecto al control.

Contrastando éstos resultados con los de Rojas-Graü *et al.*, (2006), el uso individual de agentes antioxidantes no ejerció ningún efecto significativo en el control de la actividad enzimática de la peroxidasa (PDO), observándose un incremento gradual durante el almacenamiento con ácido ascórbico al 1%. También trabajos realizados por Oms-Oliu *et al.*, (2008), demostraron que trozos de melón “Cantaloupe” tratados con antioxidantes y envasados en atmósferas modificadas encontraron una relación inversa entre la pérdida de vitamina C y compuestos fenólicos con el aumento de la actividad de la enzima peroxidasa, demostrándose su afinidad a éstos compuestos.

4.5.2 Efecto en la actividad de la polifenoloxidasa (PPO)

La determinación de la actividad residual de PPO muestra que tanto en el estado de madurez comercial como fisiológico los porcentajes fueron muy bajos indicando que se tuvo poca actividad de la enzima en los frutos con los tratamientos antioxidantes con respecto al control, pudiéndose apreciar de mejor forma los porcentajes en la tabla 19. Durante el primer día de almacén, el tratamiento con ácido cítrico 0.5% tuvo una actividad de 9.45%, en tanto que el tratamiento con ácido cítrico 1%, ácido ascórbico a 1 y 0.5% fueron de 2, 4 y 6%, respectivamente para los mangos en estado de madurez comercial.



Resultados y discusión

De la misma forma en el estado de madurez fisiológico, los tratamientos que más inhibieron al primer día de almacenamiento fue el ácido ascórbico 0.5% con actividad residual de 1.73%, después le siguieron los ácidos ascórbico y cítrico 1% con 2% para ambos casos y finalmente el que menos inhibió fue el ácido cítrico 0.5% presentando una actividad del 3%, con respecto al control.

En los siguientes días de almacenamiento los tratamientos con ácido ascórbico tanto a concentraciones de 1 y 0.5% fueron los que más inhibieron la actividad de la PPO manteniéndolos constantes con porcentajes de 1% por el contrario a aquellos tratamientos que contienen ácido cítrico con 1 y 0.5% el residual fue del 3%. Terminando el almacenamiento todos los tratamientos terminaron con una actividad residual del 1% con respecto al control. Es así como los tratamientos con ácido ascórbico que actúa como secuestrante de metales, donador de electrones, atrapador de oxígeno impiden que se lleve a cabo la actividad enzimática, ya que secuestra el cobre presente en la PPO inhibiendo así el oscurecimiento.

Tabla 19. Porcentajes de actividad residual de la PPO en dos estados de madurez

Madurez fisiológica Porcentaje de actividad residual (%)				
Día	1	4	8	11
Control	100	100	100	100
Ácido ascórbico 1%	2.57	1.32	1.80	1.94
Ácido ascórbico 0.5%	1.73	1.38	2.92	0.96
Ácido cítrico 1%	2.86	3.03	2.98	1.16
Ácido cítrico 0.5%	3.87	2.27	3.03	1.28
Madurez comercial Porcentaje de actividad residual (%)				
Día	1	4	8	11
Control	100	100	100	100
Ácido ascórbico 1%	4.21	2.60	3.05	3.88
Ácido ascórbico 0.5%	6.50	2.75	3.37	2.96
Ácido cítrico 1%	2.50	2.76	4.34	4.32
Ácido cítrico 0.5%	9.45	3.95	4.30	3.62

Los valores representan la media de tres réplicas.



El mejor tratamiento para disminuir el pardeamiento enzimático fue el ácido ascórbico al 1% y ácido cítrico al 0.5%. El ácido ascórbico es un antioxidante sinergista y aumenta la efectividad de antioxidantes fenólicos tal y como se menciona en trabajos realizados por Reynosa Ocampo (1998). Comparando con otros trabajos realizados se encontró que la actividad enzimática de la PPO fue en aumento con respecto al tiempo con la aplicación de soluciones de agentes antioxidantes, algo que no se observó en el presente trabajo, puesto que si hay actividad enzimática en los dos estados de madurez del mango, teniendo actividades residuales menores al 20%, siendo que la autora Rojas-Graü *et al.* (2006), observaron desde el primer día de almacenamiento en trozos de manzana tratados con soluciones de ácido ascórbico al 1% alcanzaron valores superiores después de dos semanas.

En otro trabajo elaborado por Eissa *et al.* (2006) reportaron que el ácido ascórbico exhibió la menor inhibición de la actividad PPO igualmente en rodajas de manzanas “Red Delicious” tratados con diferentes compuestos antioxidantes. Sin embargo Oms-Oliu *et al.* (2010) reportaron que la actividad de la PPO disminuye al aumentar la concentración del ácido ascórbico atribuido a sus propiedades reductoras, pero concentraciones mayores de este ácido podría tener un efecto pro-oxidante en los tejidos vegetales en pera fresca cortada.

4.6 Efecto sobre parámetros de calidad, nutricional, bioquímicos, sensoriales y microbiológicos en el mango variedad ‘Manila’ fresco cortado listo para consumir aplicando los recubrimientos a base de grenetina en dos estados de madurez

Las frutas cortadas listas para consumir son susceptibles al deterioro físico, químico y nutricional, disminuyendo la calidad del producto. La aplicación de recubrimientos comestibles ha demostrado tener capacidad para reducir el deterioro del alimento, retrasar la maduración de frutas climatéricas, mejorar la apariencia y disminuir la pérdida de aromas (Chavarrias, 2009).



A continuación se describen los cambios, en los parámetros de calidad producidos por la aplicación de recubrimientos a base de grenetina.

4.6.1 Determinación de pH

En las figuras 23 y 24 se observa que los recubrimientos no provocaron un cambio de pH con respecto al control en los dos estados de madurez mostrando que no existe una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre estados de madurez pero si entre formulaciones, sin embargo entre los estados de madurez comercial y fisiológica si se encontró un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el pH. Esto debido a que el pH aumentó al avanzar el proceso de maduración, probablemente a que los principales ácidos orgánicos en el mango (cítrico, málico) disminuyen durante el periodo de maduración por actividad de las hidrogenasas; ácidos que se utilizan en el proceso respiratorio y se emplean en el metabolismo del fruto.

En la figura 23 se observó que el valor de pH en el mango control de madurez comercial es de 4.4, observando una ligera disminución de pH en los mangos con recubrimientos que tuvieron valores de 4-4.3, esto debido a la incorporación de ácido cítrico 0.5% y ascórbico 1% en la solución del recubrimiento a excepción de la formulación a 2% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 23C), con un valor de 4.5. Los valores de pH fueron en aumento conforme pasaron los días de almacenamiento, lo que indicó que el proceso de maduración no se afectó por la aplicación de recubrimientos, presentando un valor de 4.6 para el mango control y valores de 4.2-4.4 para el caso de los mangos con recubrimientos. Ligeros cambios de pH en los frutos con recubrimientos se observaron en relación al fruto control con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las formulaciones a 2% de grenetina con 0.25 y 0.5% de aceite de limón (Figura 23C).

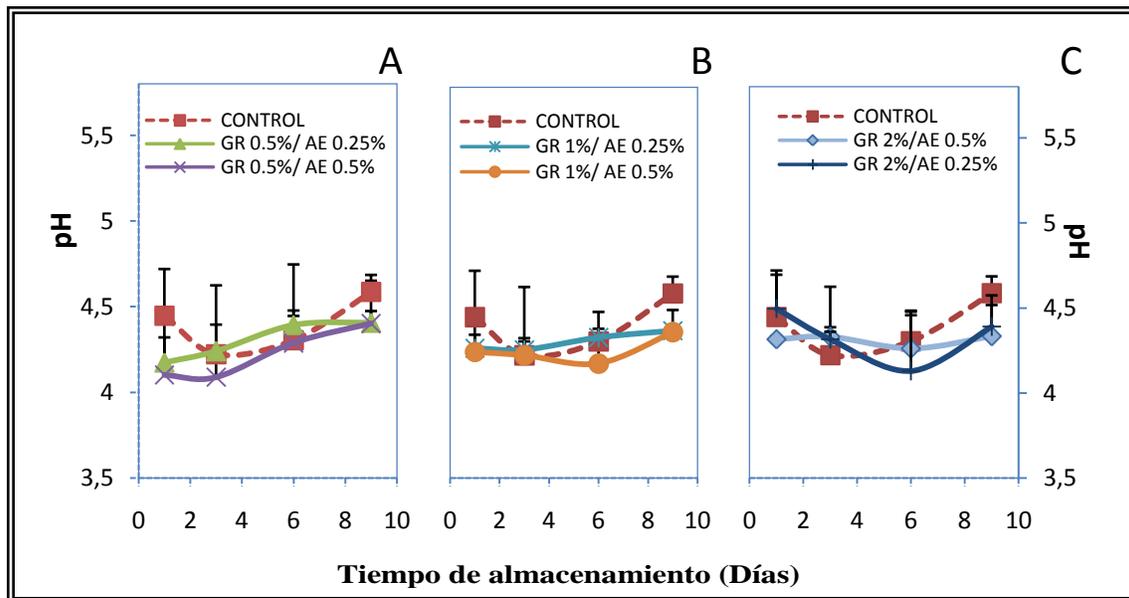


Figura 23. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% y C) Grenetina 2% adicionado con AE 0.25 y 0.5%

En la figura 24 se muestran los valores de pH entre 3.1-3.4 en los mangos con recubrimientos en madurez fisiológica en comparación con el control de 3.2, a excepción de la formulación que contiene 2% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón mostrando un valor de 3.6 (Figura 24C). Conforme pasaron los días de almacenamiento, se incrementando ligeramente los valores de pH, tanto para los mangos control con un valor de 3 como para los mangos con tratamiento 3.2-3-5. Estadísticamente se observó que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre formulaciones esto se atribuye a la diferencia de grenetina y aceite esencial de limón en los tratamientos.

Un estudio realizado por Castro y González (2010) en la uchuva recubierta con grenetina y aceite de orégano como agente antimicrobiano observa que el pH muestra una clara tendencia al aumento en todos los tratamientos, incluido el control.

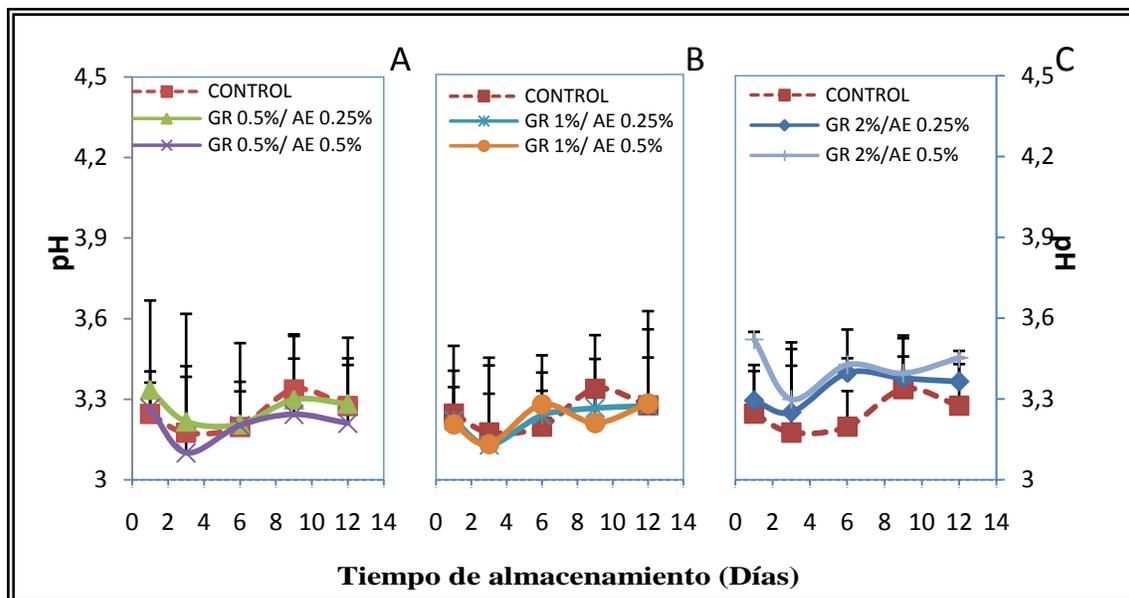


Figura 24. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% y C) Grenetina al 2% y AE 0.25 y 0.5%

Sin embargo, al final de la prueba no se encontraron cambios significativos entre los grupos, debidos probablemente a que los principales ácidos orgánicos en el fruto de uchuva (cítrico, málico y oxálico) disminuyen durante el periodo de maduración, por actividad de las hidrogenasas, ácidos que se utilizan en el proceso respiratorio y se emplean en el metabolismo del fruto. El mismo caso que se presentó en este estudio realizado en los mangos con recubrimientos a base de grenetina.

4.6.2 Determinación de acidez

La mayoría de las frutas son particularmente ricas en ácidos orgánicos que están usualmente disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres, glucósidos, etc. La acidez contribuye a reducir la pérdida de vitaminas y a evitar los cambios de color de frutas peladas, cortadas o trituradas.



En las figuras 25 y 26 se muestra el efecto que provocaron los recubrimientos comestibles en la acidez del mango fresco cortado expresado en % de ácido cítrico. No se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) a lo largo del almacenamiento en los dos estados de madurez.

En la figura 25 se observó que el % de acidez que presentó el mango en estado de madurez comercial fue de 0.04% de ácido cítrico para el control, mientras que los mangos con los recubrimientos mostraron un ligero aumento presentando valores que oscilaron entre 0.05-0.07% estos datos concuerdan con los obtenidos en el pH ya que al aumentar el % de ácido cítrico los valores de pH fueron más ácidos con excepción de la formulación que contiene 2% de gretina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 24C) que presentó un valor de 0.03% de ácido cítrico, para los siguientes días de almacenamiento fue disminuyendo el % de ácido cítrico, tanto para el control como para los tratamientos, con excepción de la formulación a 2% de gretina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 24C) ya que mostró ligeros incrementos en el día 3 y 6 de almacenamiento.

Para el día 9 los mangos con recubrimientos y el control mostraron el mismo comportamiento que es la disminución del % de ácido cítrico; observándose así que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las formulaciones y el fruto control, los recubrimientos con 2% gretina, 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón presentaron la mayor diferencia significativa con respecto al control.

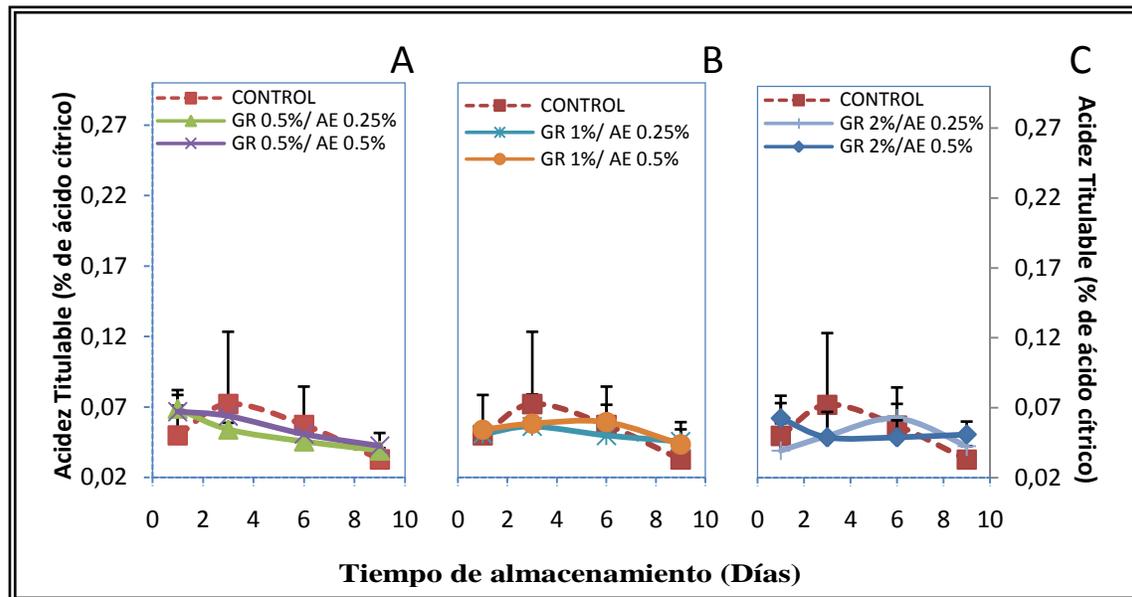


Figura 25. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón(AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la acidez en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 26 se muestra el efecto que tuvieron los recubrimientos y el control, en el % de ácido cítrico para el mango de madurez fisiológico, presentó valores aproximados de 0.25% de ácido cítrico el mango control, mientras que los tratamientos con 0.5% grenetina, 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón registraron valores de 0.25-0.27% (Figura 26A), 1% grenetina, 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón indicaron valores de entre 0.22-0.24% de ácido cítrico (Figura 26B); presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre formulaciones, pero no con respecto al control.

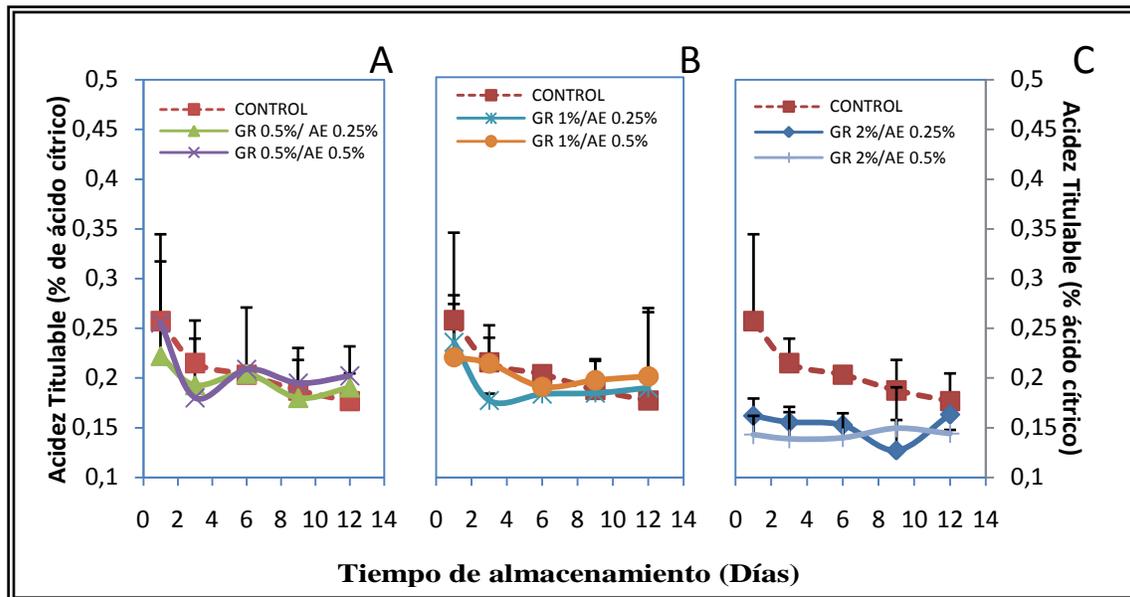


Figura 26. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la acidez en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

Para los siguientes días de conservación 3 y 6 se observó un decremento en el % de ácido cítrico en comparación al día 1, tanto para el mango control como con recubrimiento; presentándose los siguiente valores para el caso del control 0.16% de ácido cítrico, para los mangos con los tratamientos 0.5% grenetina con 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 26A) y los tratamientos 1% grenetina con 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 26B) se encontraron valores aproximados 0.17-0.20% de ácido cítrico, y para el caso de los tratamientos al 2% grenetina con 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 26C) se encontraron valores de 0.14-0.16% de ácido cítrico. Estadísticamente se observó que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamiento y control, pero si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes tratamientos.

En un estudio realizado por Restrepo *et al.* (2010) para la conservación de fresa por medio de un recubrimiento a base de mucilaginoso de penca de sábila almacenado a 5°C 75% HR durante 10 días, se encontró que los tratamientos mostraron una tendencia de la acidez a



disminuir con el aumento del pH de los frutos, debido a que en el caso de los RC estos ralentizan la frecuencia respiratoria en las fresas y retrasan la utilización de los ácidos orgánicos en las reacciones enzimáticas. Misma situación se presentó en este trabajo ya que la aplicación del recubrimiento no generó una modificación de la acidez en el mango fresco cortado listo para consumir en dos estados de madurez.

4.6.3 Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles es un buen estimador del contenido azúcar en las frutas, ya que ésta representa más del 90% de la materia soluble en la mayoría de ellos.

En las figuras 27 y 28 se observa el efecto de los recubrimientos comestibles en el mango fresco cortado en los dos estados de madurez (comercial y fisiológica). Estadísticamente se observó que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambos estados de madurez, durante los 9 días de almacenamiento para el estado comercial y 12 para el estado fisiológico.

En la figura 27 se registran los valores de sólidos solubles para el mango en estado de madurez comercial, para el control se alcanzaron valores de 13 °Brix, mientras que para los tratamientos los valores al primer día de almacenamiento fueron de 13-14.5 °Brix. Indicando que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y las formulaciones, ni entre los diferentes tratamientos. Para los siguientes días de almacenamiento se observó un ligero aumento de los sólidos solubles para el caso del control y de los tratamientos mostrando 14.6 °Brix en los mangos control y para el caso de los tratamientos los valores registrados estuvieron por arriba del control oscilando entre 14.9-16 °Brix.

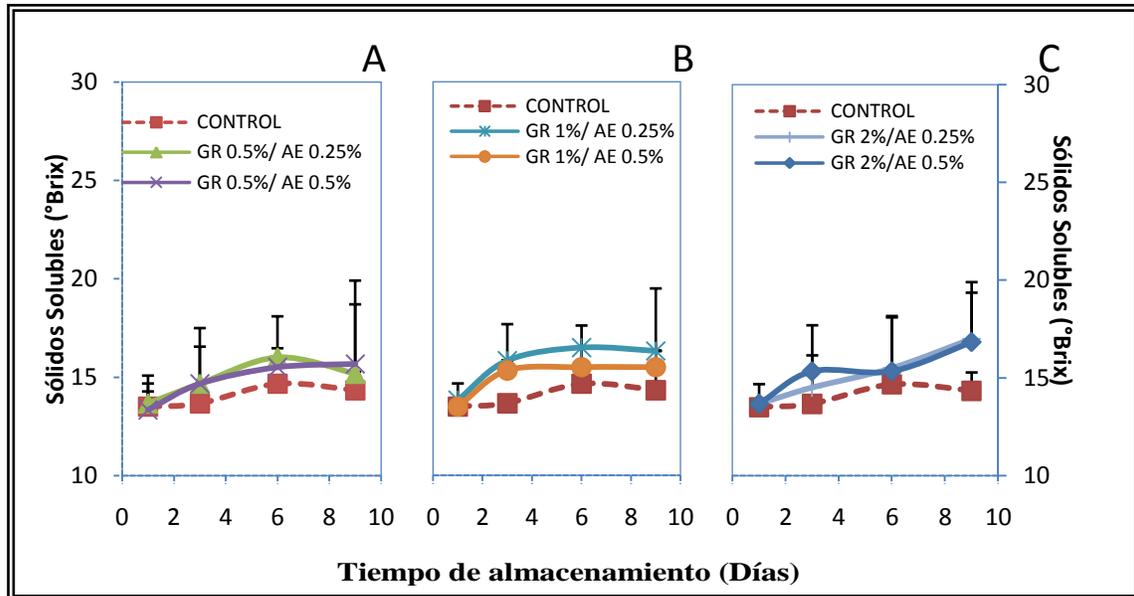


Figura 27. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre los sólidos solubles en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.

Estadísticamente se observó que las formulaciones a 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 27B), 2% de grenetina con 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 27C), fueron las que presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

Para el noveno día de almacenamiento se observó que los sólidos solubles del control se encontraron 14.3 °Brix, mientras que los tratamientos se encontraron entre 15.5-16.8 °Brix. Mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos y el control, pero no existiendo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las 6 formulaciones de los recubrimientos comestibles.

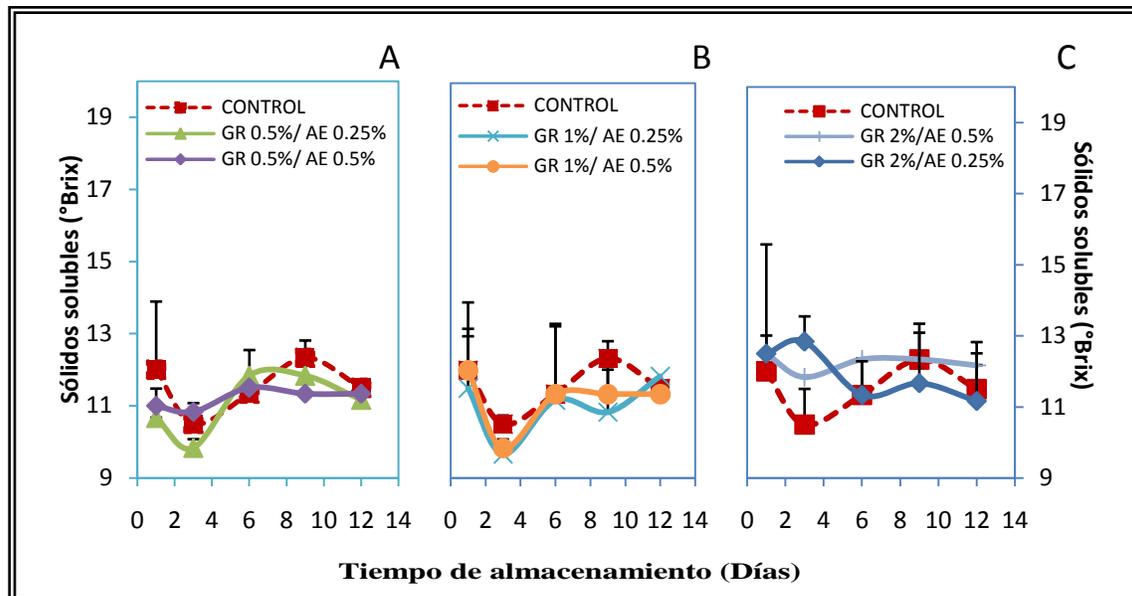


Figura 28. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre los sólidos solubles en el estado de madurez fisiológico A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 28 se presentan los valores de los sólidos solubles para los mangos en estado de madurez fisiológica, en los frutos control el valor se encontró en 12 °Brix, para los frutos con tratamiento de las formulaciones con 0.5% de grenetina con 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 28A), y la formulación al 1% de grenetina con 0.25% de aceite esencial de limón mostraron valores entre 10-11°Brix (Figura 28 B), y para las formulaciones al 1% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón, y 2% de grenetina con ambas concentraciones de aceite esencial de limón se registraron valores entre 12-12.5 °Brix (Figura 28 B y C). Estadísticamente se observó que no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las formulaciones con respecto al control, y las formulaciones entre sí.

Durante el tercer día de almacenamiento se observó una ligera disminución de los °Brix tanto en los frutos control como los frutos con recubrimientos comestibles con excepción de la formulación al 2% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón, que mostró un



aumento en los sólidos solubles en los frutos control de 10 °Brix, mientras que las formulaciones al 0.5% grenetina en ambas concentraciones de aceite de limón, 1% grenetina con 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón sus valores aproximados se encontraron entre 9.6-10.8 °Brix (Figura 28 A y B), las formulaciones 2% grenetina con 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón presentaron valores de 12.8 y 11.8 °Brix (Figura 28C), respectivamente. Los tratamientos al 2% de grenetina presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control y al resto de los tratamientos.

Para los siguientes días de almacenamiento se observaron ligeros incrementos en los sólidos solubles, por lo que los recubrimientos comestibles no impiden la maduración del mango fresco cortado, el fruto control presentó un valor de 11.5 °Brix, mientras que los tratamientos se encontraron entre 11.5-12.1 °Brix. Los tratamientos no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control, ni entre tratamientos.

En un estudio realizado por Puschmann *et al.* (2007) reportaron que los sólidos soluble en minizanahorias con recubrimiento a base de almidón de maíz, y un agente antimicrobiano quitosan almacenadas a 5°C durante 21 días apenas modificó los sólidos solubles, alcanzándose valores próximos a 8 % para minizanahorias tratadas o no, al final de la conservación. Sin embargo, en los primeros días de conservación, las minizanahorias inmersas en suspensión presentaron valores de sólidos solubles totales ligeramente superiores respecto al control.

Con éstos datos obtenidos los resultados sugieren que un recubrimiento a base de grenetina no retarda el proceso de maduración y senescencia en un producto fresco cortado, como lo que sucedió en este estudio

4.6.4 Determinación de luminosidad

La mayoría de las frutas y vegetales deben su color a sus correspondientes pigmentos, que son sustancias con una función biológica muy importante en el tejido (Badui, 1999).



Resultados y discusión

La mayoría de los colores anaranjado y amarillo de las frutas se debe a los carotenoides, siempre asociados en los tejidos con la clorofila, los carotenoides por su carácter lipofílico no se solubilizan en el agua de cocción, por esto las pérdidas son bajas durante los procesos de industrialización; sin embargo, se afectan por la oxidación. Su distribución varía según la especie, el caroteno y sus isómeros se encuentran principalmente en la zanahoria y el mango.

En las figuras 29 y 30 se muestran los cambios generados en la luminosidad de los frutos con recubrimientos comestibles y de los frutos control en dos estados de madurez. Observándose ligeros aumentos de los valores tanto para el estado de madurez comercial como para el estado de madurez fisiológico, dando mayores valores de luminosidad el estado de madurez fisiológico, estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los dos estados de madurez.

En la figura 29 los valores de luminosidad que se presentaron en el estado de madurez comercial para el fruto control fue de $L=50$, mientras los frutos con tratamiento presentaron valores de $L= 52-56$, esto indicó que se encontraron por arriba del fruto control, con excepción de la formulación al 2% gnetina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 29C) que su valor promedio fue de $L= 63$. Existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes tratamientos, pero no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los frutos con tratamientos y los frutos control.

Para los siguientes días de almacenamiento el control presentó un valor de $L=45$ y las formulaciones al 0.5% de gnetina y 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón y 1% de gnetina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 29 A y B) se observó un ligero aumento de la luminosidad presentándose los siguientes valores respectivamente $L=57$ y $L=59$, lo que representó un aumento del 17-19% con respecto al control, mientras que para las siguientes formulaciones al 1% de gnetina y 0.5% de aceite esencial de limón, y 2% de gnetina y 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 29 B y C) respectivamente,



Resultados y discusión

se observó una disminución de la luminosidad con respecto a los demás tratamientos presentándose valores de $L=53$ y $L=56$ lo que representó un 8-11% por arriba del control. Estadísticamente se observó que existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las diferentes formulaciones, pero también entre los frutos control y los frutos con tratamiento.

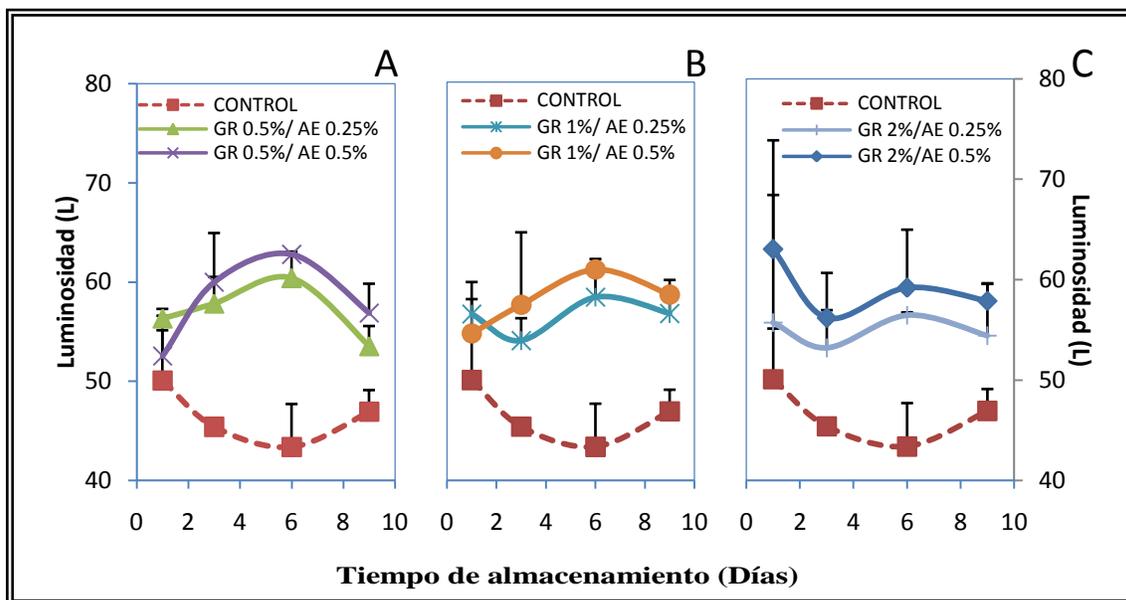


Figura 29. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

Para el último día de almacenamiento se observó un ligero aumento en la luminosidad del fruto control registrándose valores de $L=46.9$, mientras que para los frutos con recubrimientos comestibles existió un ligero decremento del valor de luminosidad con valores de $L=53-57$, pero aun así siempre se encontraron en 11% por arriba de los valores marcados por el fruto control. Presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) los mangos con recubrimientos en comparación al fruto control, indicando que la formulación al 2% de grenetina y 0.25 y 0.5% (Figura 29C) de aceite esencial fueron las que presentaron la mayor diferencia significativa.



Resultados y discusión

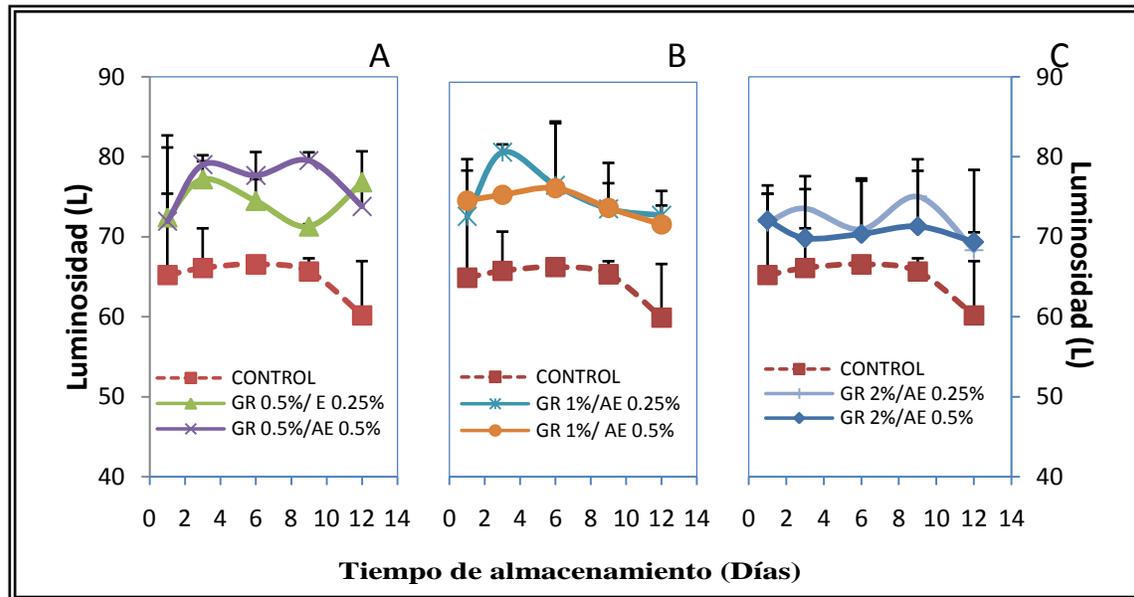


Figura 30. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 30 se presentan los datos de luminosidad para el mango en estado de madurez fisiológico con y sin tratamiento, el fruto control presentó un valor de $L=65$, mientras que los frutos con recubrimiento a base de grenetina presentaron valores aproximados de $L=72-74$, valores casi 10% mayores a los mostrados por el fruto control. Aunque no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos y el control, a excepción de la formulación al 1% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 30B) que muestra una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control, pero no con respecto a los otros tratamientos.

Para el tercer y sexto día de almacenamiento se mostró un ligero aumento de la luminosidad tanto para el fruto control como para los tratamientos, presentándose valores de $L=66$ para el fruto control, mientras que para los frutos con las formulaciones al 0.5% de grenetina y 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón y 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 30 A y B) presentaron valores de $L=77-81$ un 15% por arriba



Resultados y discusión

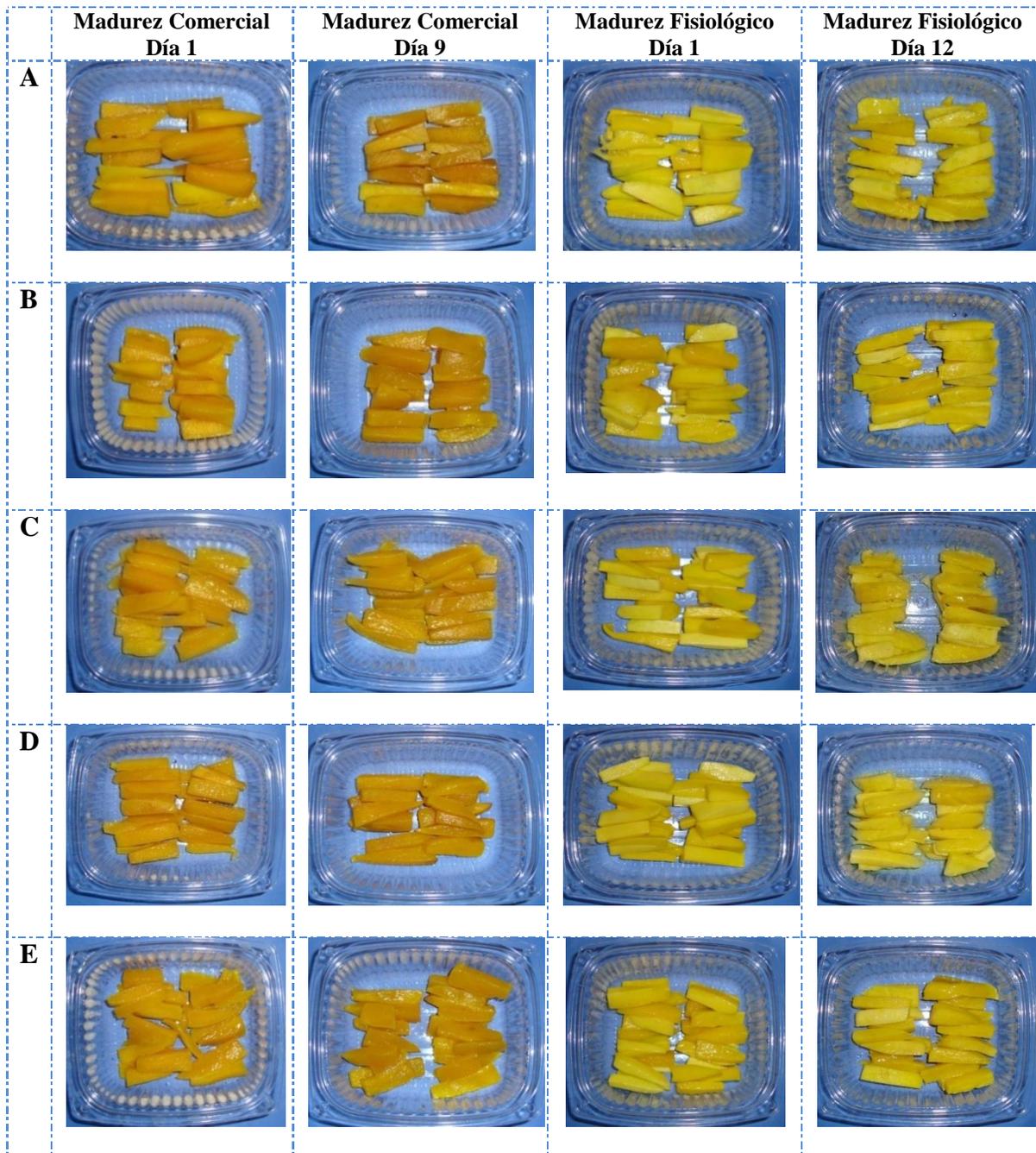
del fruto control, y para las otras formulaciones 1% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón y 2% de grenetina y 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 30 B y C) fueron de L=69-75 con un 9% por arriba del control. Estadísticamente se encontró que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre formulaciones y el fruto control. Para el doceavo día de almacenamiento los valores de luminosidad disminuyeron con respecto a los primeros días de almacenamiento mostrando que el fruto control fue el más bajo con un valor de L= 60, mientras que el resto de las formulaciones presentaron un valor similar de L=70, por lo que se mantuvieron por arriba del control esto debido a la adición del recubrimiento que inhibió el proceso de oscurecimiento debido a la incorporación de agentes antioxidantes. Estadísticamente existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el fruto control y las formulaciones.

En la figura 31 se presentan algunas imágenes de los trozos de mango fresco cortado en dos estados de madurez al inicio y al final de la experimentación con y sin la aplicación de recubrimientos comestibles elaboradas a base de grenetina, donde se observa un efecto en la coloración de la pulpa del mango en cada estado de madurez demostrándose por lo valores de luminosidad analizados en la parte de arriba.

En un estudio realizado por Baldwin *et al.* (1996), en manzanas y papas cortadas almacenadas a 5° C durante dos semanas, se observó que la acción del ácido ascórbico para controlar el oscurecimiento, fue mejor cuando se incorporaba a una película comestible. De la misma manera una cubierta comestible a base de carboximetilcelulosa en un estudio realizado por Baldwin *et al.* (1996) no fue capaz de prevenir el oscurecimiento de manzanas y papas cortadas, sin embargo, cuando está cubierta se combinó con aditivos (antioxidante, acidulantes y conservadores químicos), el control del oscurecimiento fue mejor que la inmersión en soluciones con los mismos aditivos. Por lo que los frutos tratados muestran valores de L mayores a los frutos no tratados. Estos datos obtenidos concuerdan con los del presente trabajo, donde la adición de agentes antioxidantes, previno el oscurecimiento en los frutos frescos cortados debido a las reacciones enzimáticas.

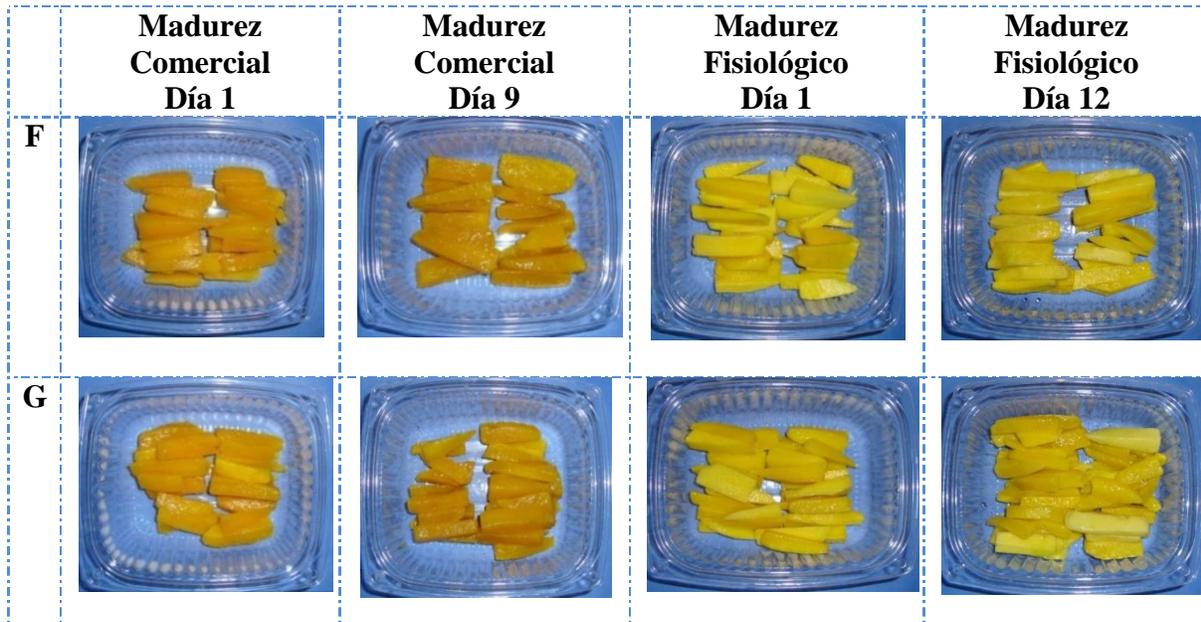


Resultados y discusión



A) Control; B) Grenetina 0.5%-0.25% aceite de limón; C) Grenetina 0.5%-0.5% aceite de limón; D) Grenetina 1%-0.25% aceite de limón; E) Grenetina 1%-0.5% aceite de limón; F) Grenetina 2%-0.25% aceite de limón; G) Grenetina 2%-0.5% aceite de limón.

Figura 31. Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de grenetina en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.



A) Control; B) Grenetina 0.5%-0.25% aceite de limón; C) Grenetina 0.5%-0.5% aceite de limón; D) Grenetina 1%-0.25% aceite de limón; E) Grenetina 1%-0.5% aceite de limón; F) Grenetina 2%-0.25% aceite de limón; G) Grenetina 2%-0.5% aceite de limón.

Figura 31 (continuación). Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de grenetina en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.

4.6.5 Determinación de pérdida de peso

En las figuras 32 y 33 se observa el efecto de los recubrimientos en los mangos en dos estados de madurez con respecto al fruto control en la pérdida de peso. No existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los dos estados de madurez, ni entre las formulaciones. En el primer día de almacenamiento para el estado en madurez comercial (Figura 32) el fruto control y las formulaciones no presentaron pérdida de peso, para el tercer día de almacenamiento el fruto control fue el que presentó la mayor pérdida de peso 0.19%, mientras que las formulaciones estuvieron por debajo de este valor (0.16%) con excepción de la formulación a 2% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 32C) que fue la que tuvo la menor pérdida de peso 0.03%. Para el sexto día de almacenamiento se observó que el fruto control fue el que siguió presentando la mayor pérdida de peso con un valor del 0.39% y los mangos con tratamientos permanecieron con valores inferiores alrededor de 0.33%.



Resultados y discusión

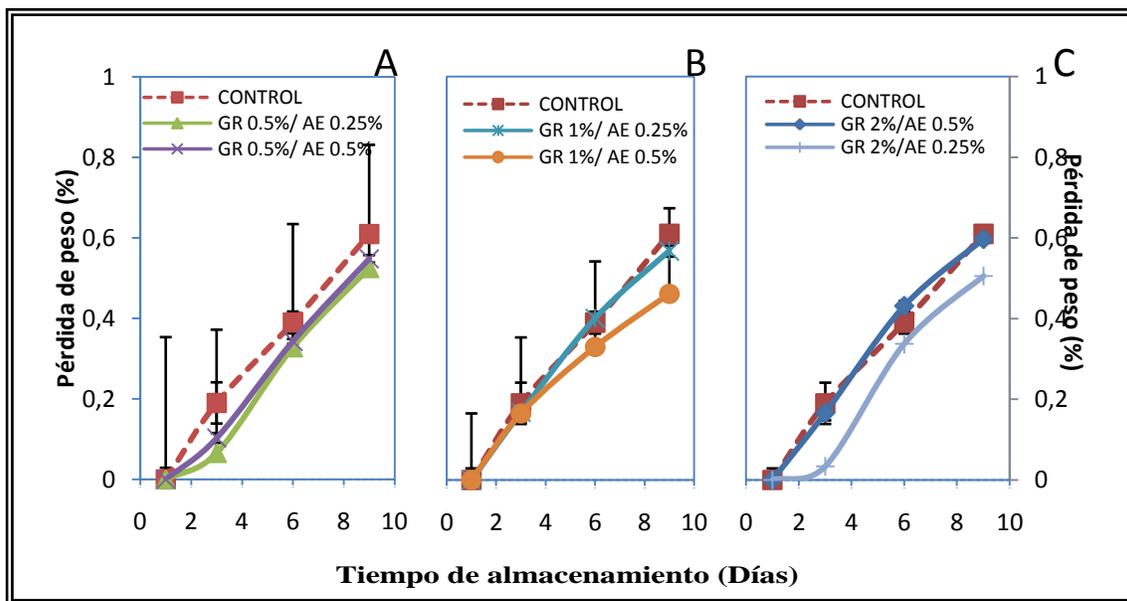


Figura 32. Efecto del recubrimiento a base de gretina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en el estado de madurez comercial A) Gretina 0.5% B) Gretina 1% C) Gretina 2% y AE 0.25 y 0.5%

Para el último día de almacenamiento (Figura 32) se encontró que el fruto control presentó la mayor pérdida de peso 0.61% con respecto a las formulaciones. No encontrando entre días de muestreo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y las formulaciones.

En la figura 33 se observa la pérdida de peso para el mango en estado de madurez fisiológico con y sin recubrimiento. No existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y las diferentes formulaciones. Gráficamente se observó que el grupo control fue el que presentó la mayor pérdida de peso en los 12 días de almacenamiento con un valor final de 0.95% con respecto al día inicial y las formulaciones estuvieron por debajo indicando valores promedios de 0.70% con excepción de 1% gretina y 0.5% aceite esencial de limón y 2% gretina y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 33 B y C) que presentaron valores menores de pérdida de peso entre 0.30%.

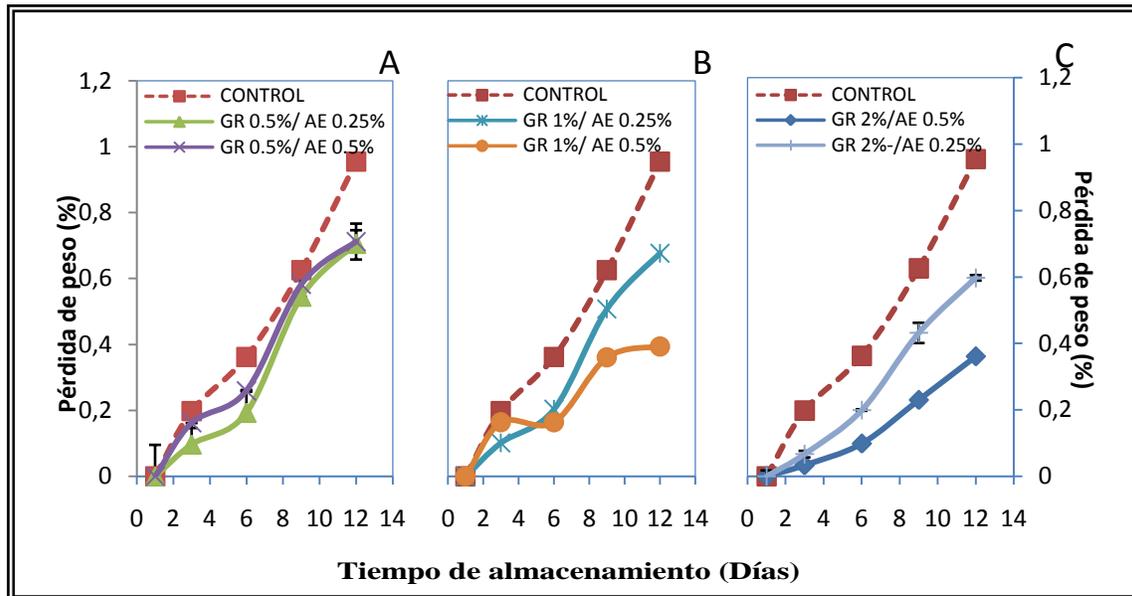


Figura 33. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En un estudio realizado por González-Aguilar *et al.* (2005) en papayas frescas cortadas con recubrimiento a base de quitosan se observó que la pérdida de peso incrementó con el tiempo de almacenamiento, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, los frutos control perdieron más peso que los frutos tratados con quitosan esto debido a que los tratamientos utilizados formaron una barrera en la superficie del fruto que evitó considerablemente junto con el envase la pérdida de peso del fruto.

También, se observó que las cubiertas de 2% de quitosan fueron más efectivas en la pérdida de peso que las de 1%. Esto se debe a que al aumentar la concentración, aumenta la viscosidad de la solución y al aplicarla a los frutos se obtiene una menor permeabilidad de vapor de agua. De igual forma se observó en los mangos del presente estudio en donde al aumentar los días de almacenamiento la pérdida de peso se incrementó y más en el fruto control, pero no existió una diferencia significativa con respecto a los frutos con recubrimiento.



4.6.6 Determinación de liberación de líquido

En las figuras 34 y 35 se aprecian los valores obtenidos del parámetro liberación de líquido en los dos estados de madurez tanto para el fruto control como para las formulaciones observándose en ambos casos que el fruto control fue el que presentó el mayor porcentaje de liberación de líquido. Los frutos de madurez fisiológica fueron los que presentaron el menor porcentaje de liberación de líquidos en comparación con los de madurez comercial esto debido a que al madurar un fruto se van degradando compuestos de la pared celular como la hemicelulosa, provocando un mayor desprendimiento de líquidos. Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ambos estados de madurez, pero sí entre las diferentes formulaciones del recubrimiento.

En la figura 34 para los mangos control en estado de madurez comercial, en el primer día de almacenamiento presentaron el mayor porcentaje de liberación de líquidos, 15% en comparación con los frutos con recubrimientos que presentaron valores del 6%, con excepción de la formulación a 0.5% gretina y 0.5% aceite esencial de limón y 1% gretina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 34 A y B) que presentaron una menor liberación de líquido del 2%. Existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el fruto control y las formulaciones.

Para los siguientes días de almacenamiento se observó que el fruto control siempre mantuvo un valor constante de porcentaje de liberación de líquidos del 15%, pero para las formulaciones este % fue aumentando en los días de almacenamiento. Para el noveno día de almacenamiento la formulación al 1% gretina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 34B) presentó la menor liberación de líquido con un valor de 2% mientras, que el fruto control terminó con un valor del 14%, la formulación al 0.5% gretina y 0.25% aceite esencial de limón y al 2% gretina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 34 A y C) presentaron valores de un valor del 10%. Encontrándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el fruto control y las formulaciones.

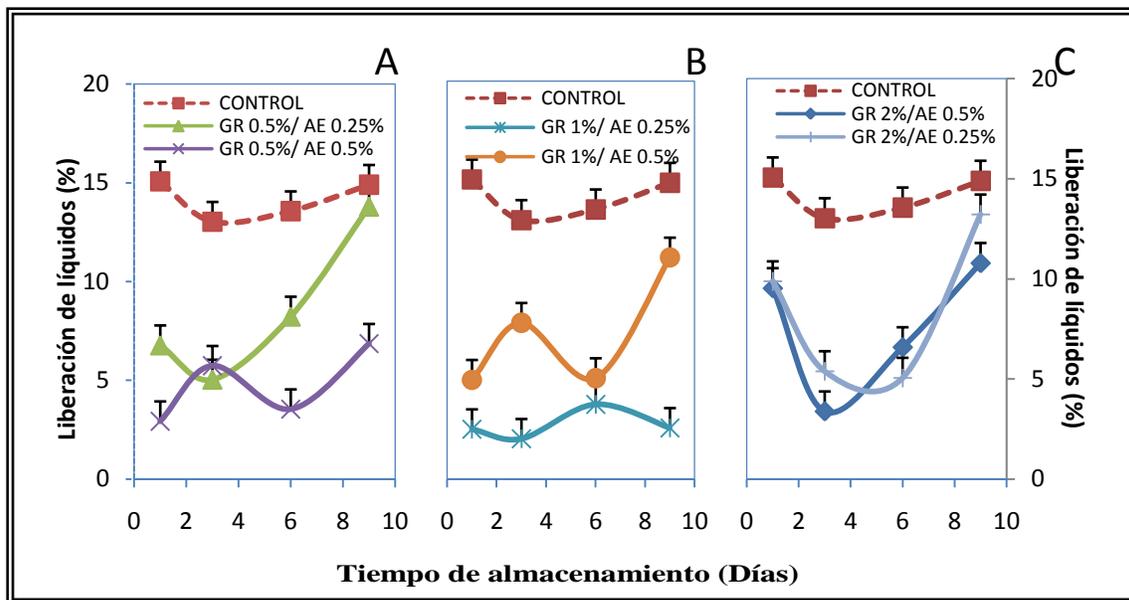
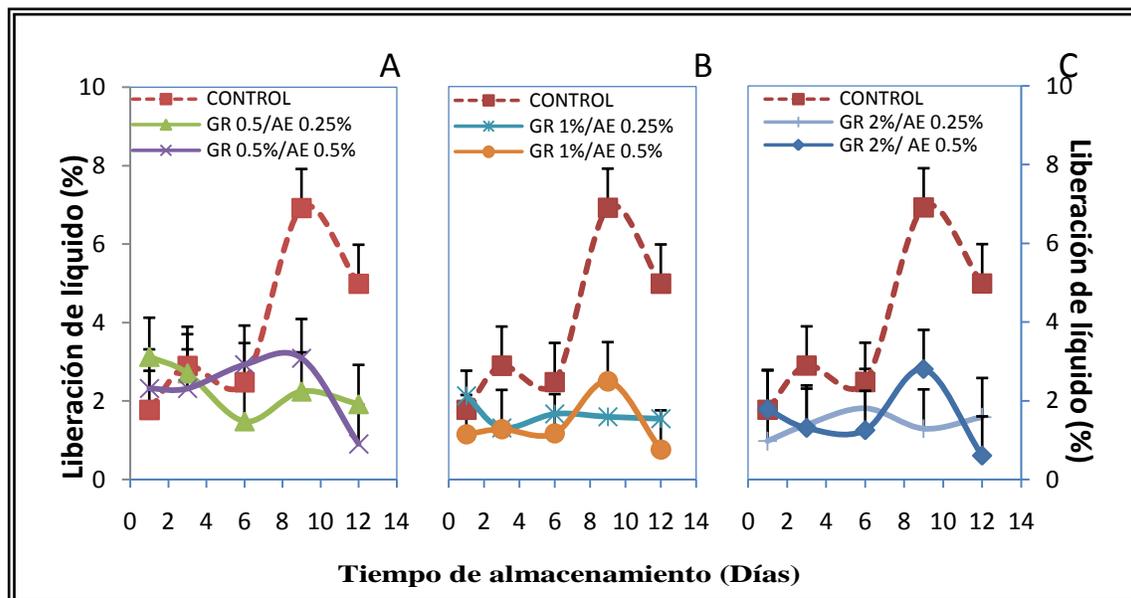


Figura 34. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la liberación de líquido en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 35 se muestran los datos obtenidos del mango en madurez fisiológica donde se observó que la formulación al 0.5% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 35A) presentó un mayor % de liberación de líquido con un valor del 3%, mientras que las demás formulaciones y el fruto control tuvieron un valor similar de 1%. Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y las formulaciones.

Para los siguientes días de almacenamiento el fruto control presentó un aumento en el % de liberación de líquido para el sexto día obtuvo un valor del 2%, en las formulaciones los valores obtenidos fueron del 1% aproximadamente aunque estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y las demás formulaciones.



Para el doceavo día de almacenamiento el porcentaje de liberación de líquido para el fruto control alcanzó hasta un 4%, dejando abajo a los frutos con recubrimientos lo que nos indicó que estos funcionan como una capa protectora pero también impide la pérdida de líquidos que contienen nutrientes como vitaminas propias del mango. Estadísticamente no se encuentra diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las formulaciones.

De acuerdo con Martínez-Ferrer *et al.* (2002), la pérdida de firmeza observada en frutos precortados de piña (*Ananas comosus* L.) y mango, se debe a varios factores como pérdida de turgencia celular, pérdida del aire extracelular y vascular, y degradación de los constituyentes de la pared celular lo que va generando pérdida de líquidos afectando tanto su apariencia como sus propiedades nutricionales., de igual manera se observó este comportamiento en el presente estudio.



4.6.7 Determinación de vitamina C

En las figuras 36 y 37 se muestran el contenido de vitamina C en el mango con y sin tratamiento en los dos estados de madurez, observándose que para el estado de madurez comercial los datos se encuentran por debajo del fisiológico, también se observó que conforme pasan los días de almacenamiento la vitamina C se va perdiendo esto debido a que al ser una vitamina hidrosoluble puede ser afectada por muchos factores como son modificaciones de pH, temperatura, desprendimiento de líquidos. Estadísticamente no existió una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ambos estados de madurez, pero sí por las diferentes formulaciones de los recubrimientos aplicados.

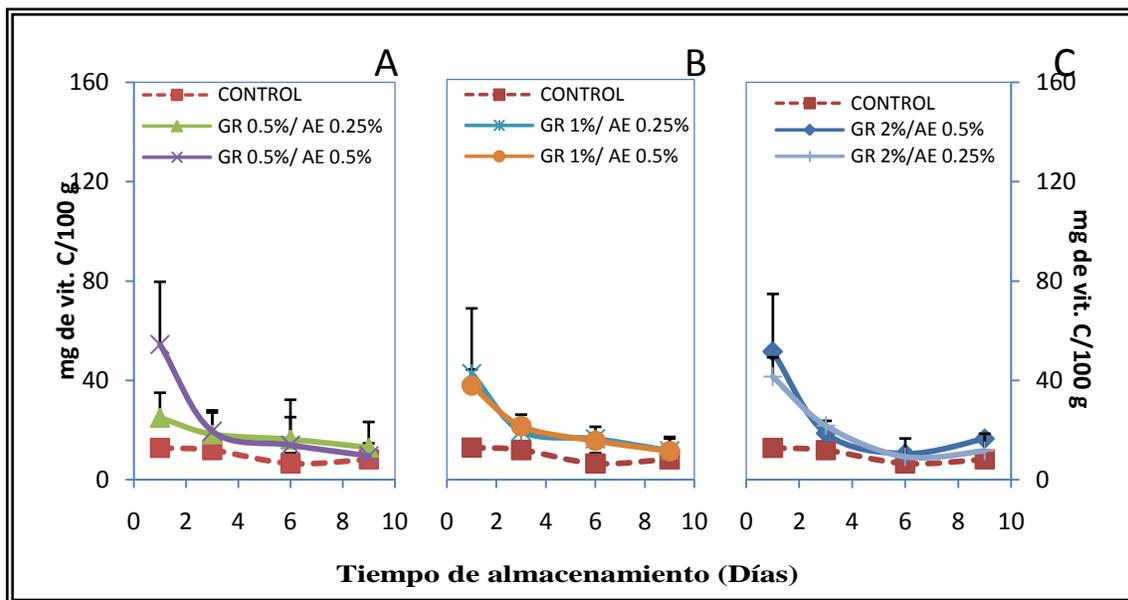


Figura 36. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la vitamina C en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 36 se muestran los datos obtenidos para el estado de madurez comercial en donde el control siempre se encontró por debajo de las formulaciones, esto debido a que dentro de las formulaciones uno de los componentes fue el ácido ascórbico utilizado para inhibir la actividad enzimática, también otro de los factores fue que la aplicación de un



recubrimiento sirve como protección para que la vitamina C, propia del mango, los datos obtenidos para el primer día de almacenamiento fueron los siguientes para el fruto control 12.7 mg de vit C/ 100g respectivamente, para las formulaciones se registró un aumento con respecto al fruto control mostrándose valores de 54 mg de vit C/100g, con excepción de la formulación al 0.5% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 36A) que presentó 24 mg de vit C/100g, los mayores valores de vitamina C, fueron los registrados por las formulaciones a 2% grenetina y 0.25% y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 36C). Estadísticamente existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el fruto control y las formulaciones.

Para los siguientes días de almacenamiento se observó una disminución de la vitamina C, en todos los casos, aunque para las formulaciones se mantuvieron por arriba del control mostrando una menor pérdida de la vitamina C. Estadísticamente se observó que la formulación a 2% grenetina y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 36C) presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al fruto control, en madurez comercial.

En la figura 37 los datos obtenidos para el mango de madurez fisiológico fueron los siguientes para el fruto control, 21 mg de vit C/100 g para el inicio del almacenamiento, para las formulaciones al 0.5% grenetina y 0.25 y 0.5 % aceite esencial de limón, 1% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 37 A y B) hubo un aumento de cuatro veces más con respecto al control quedando en valores de 90 mg de vit C/100g, pero para las formulaciones al 2% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 37C) tuvieron un aumento de tres veces mayor con 57 y 60 mg de vit C/100g, respectivamente. Estadísticamente si se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el mango control y los mangos con tratamiento.

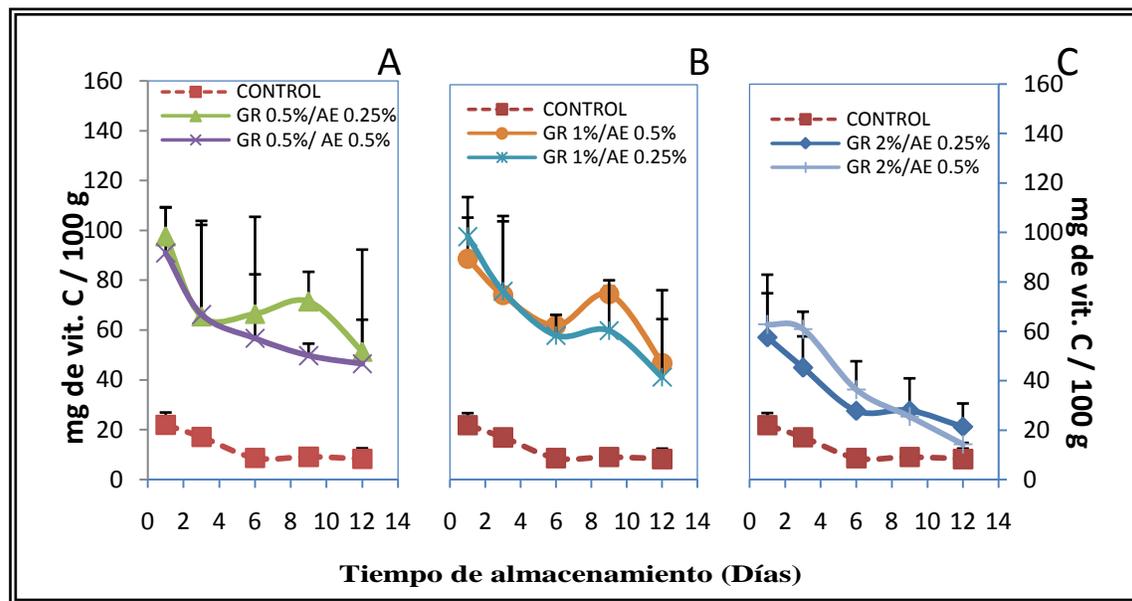


Figura 37. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la vitamina C en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

Para los siguientes días de almacenamiento se observó una disminución de la vitamina C, para el fruto control se registraron 8 mg de vitamina C/100g, mientras que para el resto de las primeras cuatro formulaciones (Figura 37 A y B) terminaron con un aumento de cinco veces más con respecto al control terminando en valores de 47 mg de vit C/100g, para el caso de las formulaciones al 2% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 37C) solo se tuvo un aumento de tres veces más con respecto al control 23 mg de vit C/100g. Estadísticamente se observa diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el fruto control y las formulaciones.

Las formulaciones al 2% grenetina siempre se encontraron por debajo del resto de las formulaciones, lo que indicó que a una mayor concentración del la matriz del recubrimiento se presentó una mayor inestabilidad del recubrimiento conforme pasaron los días de almacenamiento en el estado de madurez fisiológico, aunque este caso no fue lo mismo



para el mango de madurez comercial, ya que en ese estado fueron las que presentaron una mayor estabilidad este indicó que el estado de madurez fue un factor a considerar al aplicar un recubrimiento esto debido al pH del fruto.

En un estudio realizado por Robles-Sánchez *et al.* (2007) estudiaron el efecto del procesado mínimo sobre el contenido de vitaminas de mango fresco cortado estos autores concluyeron que el contenido de vitamina se mantiene mejor durante el almacenamiento en muestras tratadas con soluciones antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) respecto a las no tratadas, lo que concuerda con los resultados del presente trabajo. En un estudio realizado por Oms-Oliu *et al.* (2010) en peras fresca cortada con un recubrimiento a base de alginato, pectina y gelano con adición de agentes antioxidantes, el uso de RC junto a agentes antioxidantes redujo significativamente la pérdida de vitamina C de pera fresca cortada durante más de una semana. La incorporación de N-acetilcisteína y glutatión a las formulaciones de RC mejoró significativamente la capacidad antioxidante de las muestras recubiertas y sin recubrir. Por tanto, la incorporación de N-acetilcisteína y glutatión a RC a base de alginato, pectina y gelano no sólo controló el pardeamiento enzimático de pera fresca cortada sino que además, contribuyó al mantenimiento de su potencial antioxidante, comportamiento similar al encontrado en el mango fresco cortado.

4.6.8 Efecto en la actividad de la peroxidasa y polifenoloxidasa

El oscurecimiento es uno de los problemas más importantes que se produce en las frutas y hortalizas frescas cortadas y una de las causas más importantes de su pérdida de calidad (Artés *et al.*, 1998). Este deterioro tiene gran importancia por su impacto visual que perjudica la aceptación sensorial, la calidad comercial y por reducir el valor nutricional de frutas y hortalizas (McDonald y Schaschke, 2000).

En las figuras 38 y 39 se muestra el efecto que tuvieron los recubrimientos con agentes antioxidantes (ácido ascórbico y ácido cítrico) en la inhibición de la actividad de la enzima peroxidasa. El % de actividad residual fue evaluada en los frutos, la cual nos indica, la relación del % de la actividad de la enzima en los mangos con recubrimientos con respecto



a la de actividad que representa el grupo control en los diferentes días de almacenamiento. Mostrándose que para los frutos en madurez fisiológica; el % de actividad residual fue mucho menor en comparación al de madurez comercial, además se encontró un efecto significativo por las diferentes formulaciones de recubrimientos.

En la figura 38 se muestran los datos obtenidos para mango en madurez comercial en los diferentes días de almacenamiento. Al inicio del almacenamiento se observó un aumento de la actividad peroxidasa con respecto al control donde la formulación al 1% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 38B) fue la que presentó la mayor actividad residual de 220%, al 1% grenetina y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 38B) fue la que presentó la menor actividad residual 173%, pero mayor en cuanto al fruto control. Para el resto de las formulaciones los valores obtenidos fueron entre 130-150% de actividad residual. Para el tercer día de almacenamiento se muestra una disminución en la mayoría de las formulaciones en el % de actividad residual, aunque estas continúan por arriba del fruto control.

Para el sexto día de almacenamiento se observó un incremento de la actividad residual con respecto al control en todas las formulaciones, mostrando que las que mayor % de actividad residual presentaron fueron las formulaciones al 1% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 38B) con valores de 206 y 254%, respectivamente. Las formulaciones al 2% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 38C) presentaron valores de 146 y 118%, respectivamente. Para el último día de almacenamiento las formulaciones al 2% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 38C) fue la que aumentó su actividad llegando hasta 376%, en cambio al 1% grenetina y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 38B) su valor final fue de 176% de actividad residual con respecto al control. Encontrándose que la actividad de esta enzima no fue inhibida en ninguna de las concentraciones de los recubrimientos aplicados.



Resultados y discusión

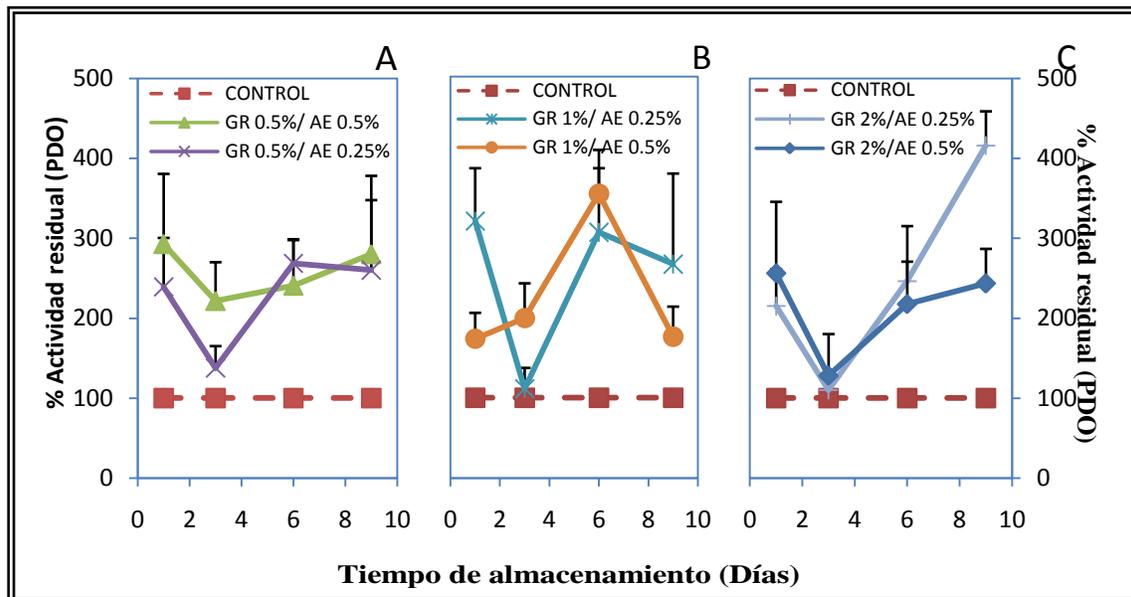


Figura 38. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PDO en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.

En la figura 39 se presentan los datos de actividad residual para el estado de madurez fisiológico de la PDO, para el primer día de almacenamiento, los % de actividades residuales estuvieron por debajo del fruto control, obteniéndose los siguientes valores para las formulaciones al 0.5% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 39A) se obtuvieron valores de 97 y 87% de actividad residual, menor al % de el fruto control. Para las formulaciones al 1% grenetina y 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 39B) los valores fueron de 59 y 29% de actividad residual.

Para el tercer día de almacenamiento los valores de los mangos con las formulaciones al 0.5% grenetina/0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 39A) disminuyeron obteniéndose valores de 57 y 31% de actividad residual encontrándose por debajo del fruto control y para el resto de las formulaciones aumentaron pero continuaron por debajo del fruto control con excepción de la formulación al 1% grenetina y 0.25% aceite esencial de limón (Figura 39B) que presentó un valor de 128% de actividad residual.



Resultados y discusión

Para el sexto día de almacenamiento todas las formulaciones presentaron una disminución en su % de actividad residual siendo similares los valores de actividad residual que presentaron 70% por debajo del fruto control. Para el último día del almacenamiento se observó que los mangos con tratamiento disminuyeron la actividad de la PDO, ya que todas se ubicaron por debajo del fruto control, mostrando que las formulaciones inhibieron la actividad de la enzima en un 50% menos.

En un estudio realizado por Baquero-Duarte *et al.* (2005) en pitaya donde se midió la actividad de la peroxidasa en la maduración y senescencia del fruto, se encontró que la actividad permaneció significativamente igual durante los nueve primeros días de almacenamiento y se incrementó de manera significativa en los frutos senescentes. Lo que se observó en los mangos de madurez comercial ya que se generó un aumento en la actividad de la peroxidasa

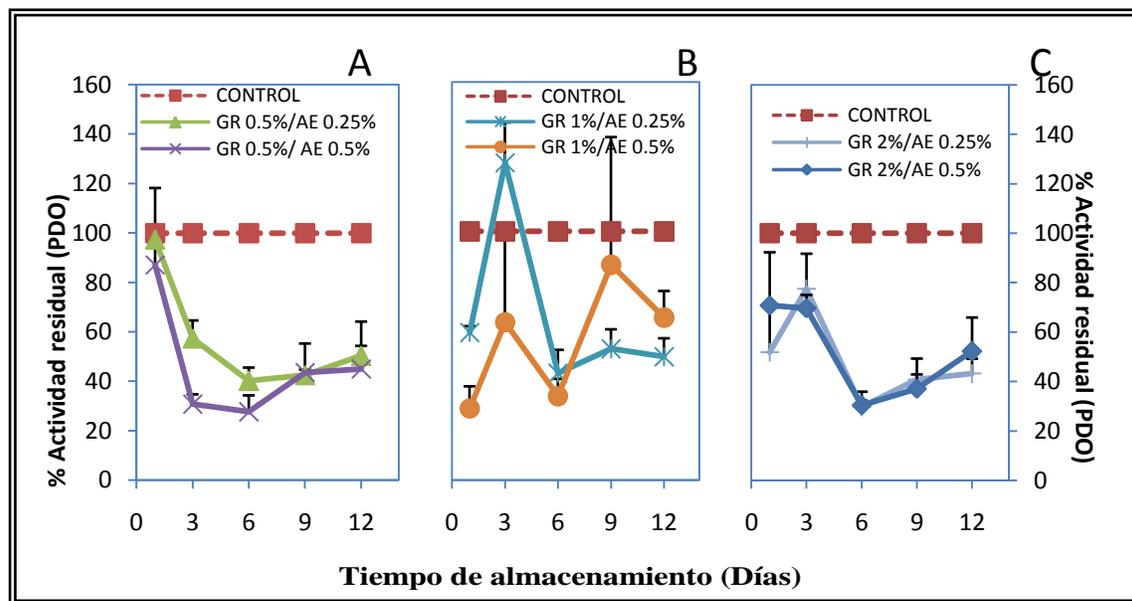


Figura 39. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PDO en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.



En las figuras 40 y 41 se observa el efecto que tuvieron los recubrimientos para la inhibición de la PPO, como se puede observar al contrario de lo que sucedió con la PDO, en donde solo se inhibió en madurez fisiológica, aquí se redujo la actividad en ambos estados, pero para la madurez comercial se presentaron valores más altos en comparación al de madurez fisiológico.

En la figura 40 se muestran los valores de la actividad de PPO, en comparación con la actividad residual del fruto control en estado de madurez comercial, para las 6 formulaciones de recubrimientos en el primer día de almacenamiento se obtuvieron valores similares con 80% menos de actividad residual por debajo del fruto control. Para el sexto día de almacenamiento se mostró un aumento en la actividad de la PPO, pero continuo por debajo del fruto control obteniéndose los siguientes valores: 0.5% grenetina/0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 40A) de 44 y 38%, respectivamente; al 1% grenetina/ 0.25 y 0.5 % aceite esencial de limón (Figura 40B) de 37 y 42%, y al 2% grenetina/ 0.25y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 40C) de 43 y 36% respectivamente de actividad residual encontrándose por debajo del 100% que representó el fruto control. Para el último día de muestreo los valores tuvieron un aumento pero continuaron por debajo del fruto control, para las formulaciones al 0.5% grenetina/0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 40A) se obtuvieron valores de 40% de actividad residual, al 1% grenetina/ 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 40B) de 25%, y al 2% grenetina/ 0.25 y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 40C) de 46% y 25%, respectivamente.

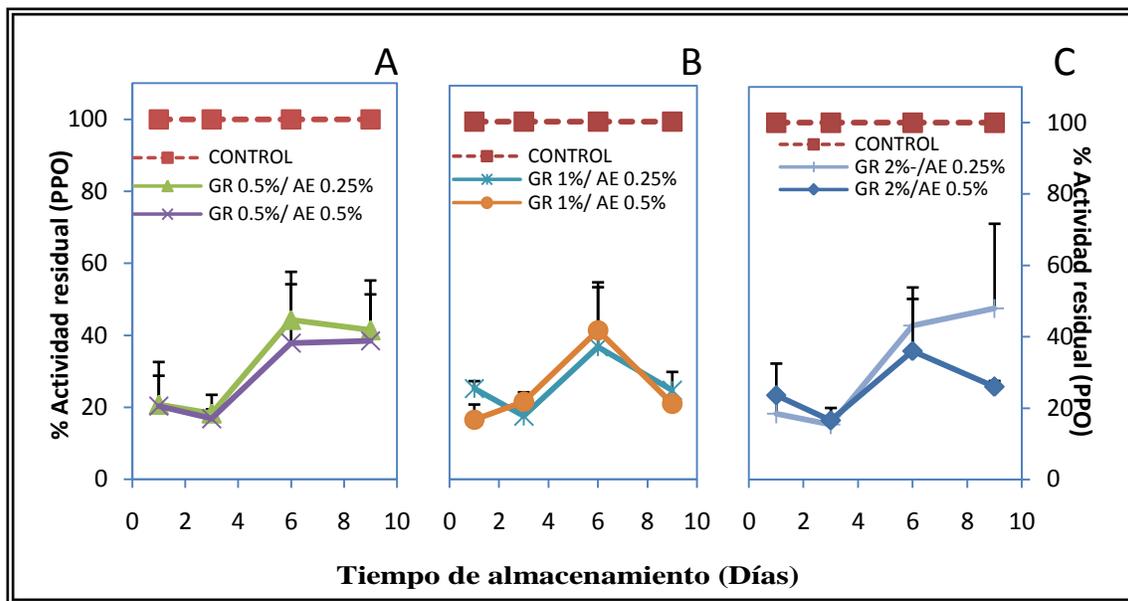


Figura 40. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PPO en el estado de madurez comercial A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%

En la figura 41 se muestran los datos para el estado de madurez fisiológico en la inhibición de la actividad de PPO, mostrándose valores muy pequeños en las formulaciones al 0.5% grenetina y 0.5% aceite esencial de limón y 2% grenetina y 0.5% aceite esencial de limón (Figura 41 A y C) fueron las que presentaron valores más altos en el primer día de almacenamiento con valores de 26 y 11%, respectivamente menores a la actividad del fruto control, para las siguientes formulaciones los valores obtenidos fueron similares entre sí obteniéndose un valor promedio de 7% de actividad residual, menos al fruto control, por lo que nos indicó que la actividad de esta enzima casi no se presentó.

Continuando con los siguientes días de muestreo se observó un comportamiento muy similar para el tercer, sexto y noveno día de almacenamiento con un valor promedio del 5% de actividad residual, menor al fruto control.



Resultados y discusión

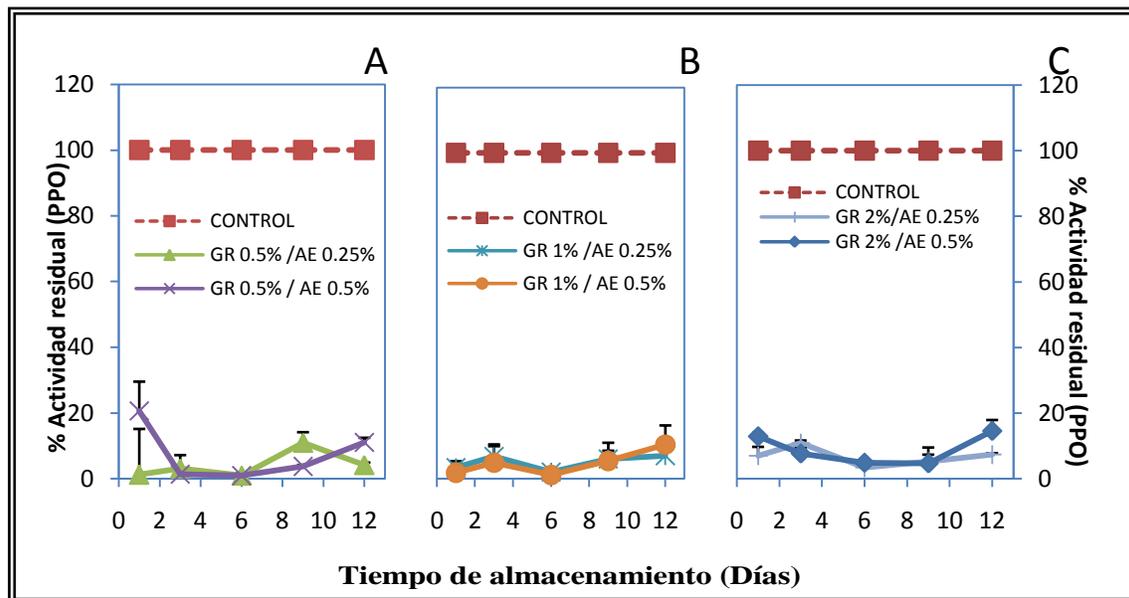


Figura 41. Efecto del recubrimiento a base de grenetina (GR) y aceite esencial de limón(AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la PPO en el estado de madurez fisiológica A) Grenetina 0.5% B) Grenetina 1% y C) Grenetina 2% y AE 0.25 y 0.5%.

En el último día de almacenamiento, se observó un ligero incremento en el % de actividad residual por parte de los mangos con recubrimientos aunque continuaron por debajo del fruto control, obteniéndose valores alrededor del 7-15% de actividad, menor con respecto al control. Las formulaciones al 0.5% y 2% de grenetina (Figura 41 A y C) fueron las que presentaron una menor inhibición de la actividad de la PPO en el último día de almacenamiento

El pH óptimo para la PPO es cercano a la neutralidad, en la mayoría de frutas y vegetales la actividad de PPO óptima se observa a un pH de 6.0-6.5; se puede detectar poca actividad por debajo de un pH de 4.5. También se ha reportado que una inactivación irreversible de PPO se puede lograr a un pH menor a 3.0 (Richardson y Hyslop, 1985). Es por eso que la actividad que se presentó de la PPO en los mangos fue mínima para el caso de los mangos de estado de madurez comercial, ya que su pH se ubica entre 4 – 4.5, y en el caso del estado de madurez fisiológico fue casi nula la actividad de la PPO ya que sus valores de pH se ubican en 3-4.



El uso de químicos que bajan el pH del producto, o acidulantes, se pueden aplicar ampliamente para controlar el pardeamiento enzimático. El acidulante comúnmente utilizado es el ácido cítrico. Los acidulantes frecuentemente se usan en combinación de otros tipos de agentes antipardeamiento, ya que es muy difícil lograr una inhibición completa del oscurecimiento únicamente con el control del pH (Ponting *et al.*, 1960). El ácido ascórbico es probablemente el más ampliamente utilizado como agente antipardeamiento, ya que además a sus propiedades reductoras, disminuye ligeramente el pH. El ácido ascórbico reduce a las benzoquinonas a difenoles (Whitaker, 1994; Golan-Goldhirsh y Witaker, 1992). Es por eso que al ser una combinación del ácido ascórbico al 1% y ácido cítrico al 0.5% en los recubrimientos, se observó una mejor inhibición de la actividad de la PPO.

Varios estudios sobre la incorporación de antioxidantes en recubrimientos comestibles se han realizado para ver si se obtiene un mejor resultado. La acción del ácido ascórbico para controlar el oscurecimiento se observó y fue mejor cuando se incorporaba a una película comestible (Baldwin *et al.*, 1995). De la misma manera una cubierta comestible a base de carboximetilcelulosa no fue capaz de prevenir el oscurecimiento de manzanas y papas cortadas, sin embargo, cuando está cubierta se combinó con aditivos (antioxidante, acidulantes y conservadores químicos), el control del oscurecimiento fue mejor que la inmersión en soluciones con los mismos aditivos (Baldwin *et al.*, 1996). Lo ocurrido en los mangos ya que al aplicar una mezcla de antioxidantes se generó sinergismo para evitar el oscurecimiento en los mangos frescos cortados.

4.6.9 Evaluación de los parámetros sensoriales

Los mangos con recubrimientos a base de gretina en los estados de madurez comercial y fisiológica fueron evaluados en sus características sensoriales que permitiera la identificación de algunos atributos como son brillantez, firmeza, aroma, sabor y textura por parte de los consumidores.



Resultados y discusión

En la figura 42A se muestra la evaluación sensorial del mango en estado de madurez comercial donde el atributo de aroma indicado lo siguiente los panelistas percibieron una diferencia entre el mango control y los frutos con las formulaciones al 2% de gretina/ 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 42A), esto debido a la presencia de aceite esencial de limón en la formulación del recubrimiento encontrándose con un valor de 4, lo que indicó que fue agradable. Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el fruto control y los frutos con recubrimientos. Para los atributos de sabor y textura no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control mostrándose en la escala “agradable” lo que indicó que la incorporación del recubrimiento a base de gretina en el primer día de almacenamiento no modificó la mayoría de los atributos sensoriales en el mango de madurez comercial.

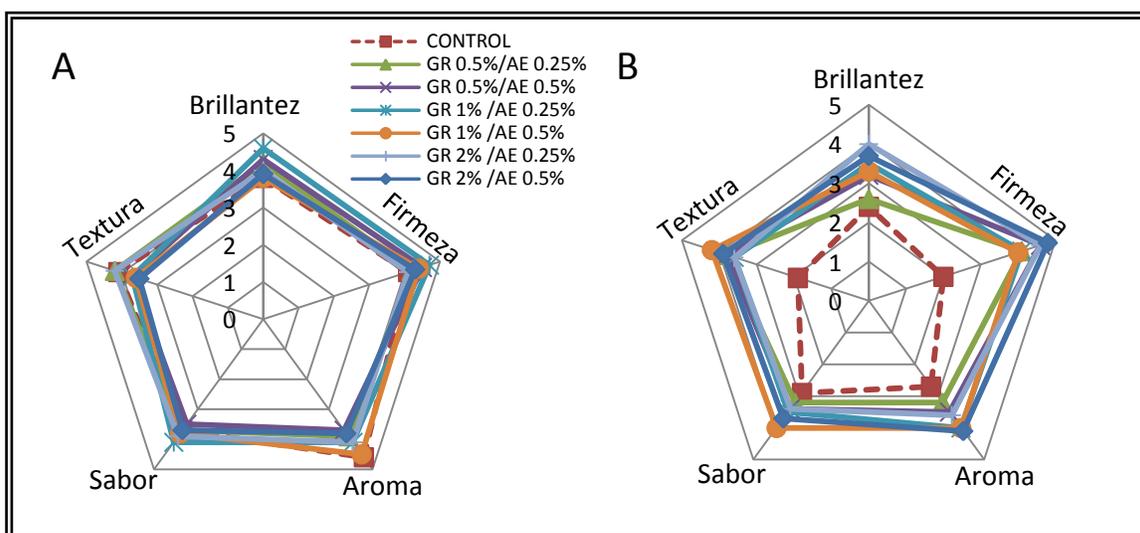


Figura 42. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez comercial en la aplicación del recubrimiento comestible a base de gretina al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento

Como se observó en la figura 42B para el último día de almacenamiento la mayoría de los atributos evaluados difieren entre el control y los frutos con recubrimiento. Mostrándose mayor aceptabilidad para los mangos con formulaciones que para el mango control. Para el caso de la brillantez las formulaciones al 2% de gretina/ 0.25 y 0.5% de aceite esencial de



limón (Figura 42B) fueron las más aceptadas, estadísticamente se observó que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de estas formulaciones con respecto al control, a diferencia de las otras cuatro formulaciones que no presentan diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control.

La firmeza y textura fueron los parámetros que más cambios se tuvieron con respecto al control, teniendo mayor agrado los mangos con recubrimientos existiendo diferencia significativa entre formulaciones y el control ($p \leq 0.05$). Para el parámetro de aroma se observó que todas las formulaciones difieren con respecto al control, aunque estadísticamente las formulaciones del 1% de gretina/ 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón, y 2% de gretina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 42B) fueron las que presentaron la diferencia significativa ($p \leq 0.05$), en la mayoría de los casos fueron aceptados los mangos con recubrimientos, al fruto control ya que este se presentaba por el panelista en la escala como “desagradable”. En el caso del sabor estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y las formulaciones, encontrándose en la escala de los panelistas como agradable en las formulaciones, y en el caso del control como ni agradable ni desagradable, por lo que encontramos que al utilizar un recubrimiento a base de gretina en el mango de madurez comercial permite mantener la calidad sensorial para su vida de anaquel.

En la figura 43 se observan los datos obtenidos de la evaluación sensorial realizada a los mangos de madurez fisiológica con recubrimientos a base de gretina en el primer y doceavo día de almacenamiento. Los datos obtenidos por los panelistas en el primer día de almacenamiento (Figura 43A) se observó que para el atributo de brillantez los mangos control y los mangos de la formulación al 2% de gretina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43A), mostraron la mayor aceptabilidad ya que los panelistas lo encontraron en “brillante”, para las siguientes formulaciones todas se encontraron en la escala de “ni brillante, ni opaco” por lo que la presencia del recubrimiento, no modifica este parámetro. Estadísticamente se observó que no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre la



Resultados y discusión

formulación al 2% de grenetina/0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43A) con respecto al control, ya que estas presentan la mayor luminosidad. Con respecto a las demás formulaciones si se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control, por lo que la adición de este recubrimiento afecta este atributo, generando rechazo por los panelistas.

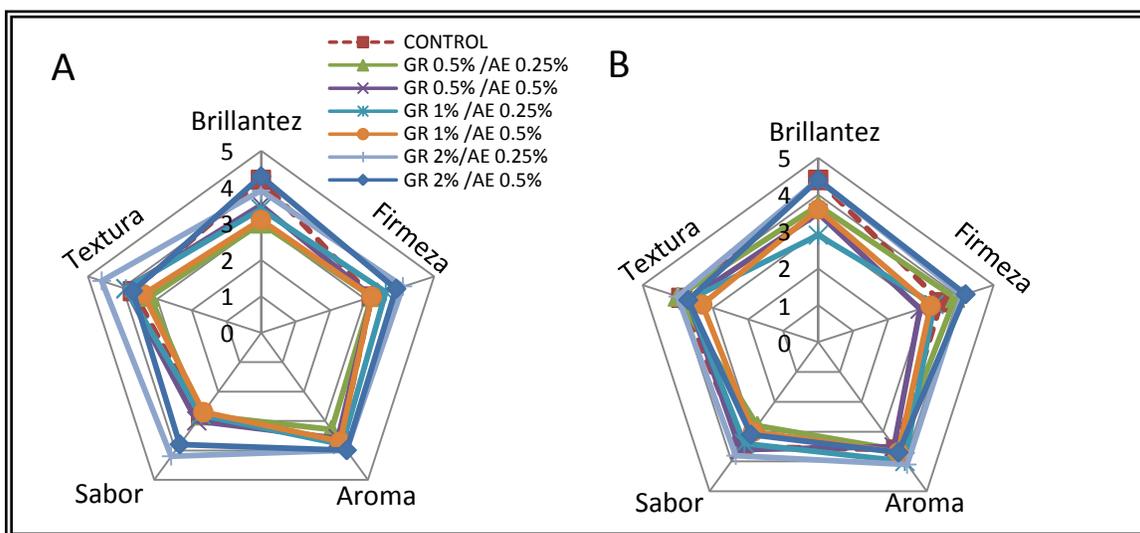


Figura 43. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez fisiológico en la aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento

Para el atributo de la firmeza se observó lo siguiente para el mango control se encontró que los panelistas evaluaron con 3 lo que significa que “ni suave, ni duro” de igual forma se encontraron las diferentes formulaciones. Estadísticamente no existió diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y las formulaciones.

En el parámetro de aroma los resultados fueron los siguientes para el grupo control y las formulaciones al 0.5 y 1% de grenetina “ni agradable, ni desagradable”, aun con la adición del aceite esencial de limón (Figura 43A) pero para las formulaciones al 2% de grenetina/0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43A) se encontraron por parte de los panelistas “agradable”, por lo que la adición del recubrimiento mejoró la aceptabilidad



por parte de los panelistas, esto se atribuye a la adición del aceite esencial de limón, que al ser un mango en estado de madurez fisiológico no desarrolló en su totalidad su aroma característico. No se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y las formulaciones.

Para el sabor lo percibido por los panelistas fue que en el grupo control este fue “desagradable”, esto debido a que al ser un mango de estado de madurez fisiológico, no ha desarrollado sus propiedades organolépticas agradables para el consumidor de igual forma se calificó las formulaciones al 0.5 y 1% de gretina (Figura 43A) no sucedió lo mismo para las formulaciones al 2% de gretina/ 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43A) que fueron de mayor aceptabilidad por parte de los panelistas que se encontraron en “agradable” pese a la adición del aceite esencial de limón, por lo que se atribuye que al contener mayor % de gretina disminuyó la acidez que se percibe en un mango de madurez fisiológica. Estadísticamente solo se encontró que la formulación al 2% de gretina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 43A) fue la que presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

La textura otro de los atributos evaluados mostraron los siguientes resultados para el grupo control y las formulaciones al 0.5, 1 y 2% de gretina fueron evaluadas por parte de los panelistas como “ni agradable, ni desagradable” a excepción del caso de 2% de gretina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43A) fue “agradable”. No se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y los frutos con recubrimiento.

Para el día 15 de almacenamiento (Figura 43B) también se evaluaron los parámetros sensoriales mostrándose que para el caso de la brillantez fue considerada como “ni brillante, ni opaca” estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y las formulaciones. Para el atributo de la firmeza el grupo control fue evaluado por los panelistas “ni suave, ni duro”, igual para las formulaciones al 0.5% de gretina y 0.25% de aceite esencial de limón, 1% de gretina/0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón



(Figura 43B). Para las formulaciones al 2% de grenetina/ 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43B) los panelistas lo encontraron como “suave” y al 0.5% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón (Figura 43B) fue evaluada como “duro”. Estadísticamente esta última formulación fue la que presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el grupo control y el resto de las formulaciones. Este parámetro no mostró mucha diferencia con el primer día de almacenamiento.

En el caso del aroma tanto el grupo control y los frutos con recubrimientos se encontraron en el gusto de los panelistas ya que fue calificado como “agradable”. No hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y los mangos con tratamiento.

En el parámetro de sabor los resultados fueron los siguientes para la formulación al 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 43B) fue la que tuvo mayor aceptabilidad por parte de los panelistas calificando como “agradable”, por lo que se demuestra que la adición del recubrimiento no afectó el desarrollo de sus propiedades organolépticas. Sin embargo, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el mango control y con recubrimiento.

La textura fue considerada como “ni agradable, ni desagradable” para el caso del grupo control y las formulaciones tuvieron mayor aceptabilidad ya que fueron calificados como “agradable”. Sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los diferentes tratamientos y el grupo control.

4.6.10 Evaluación de los parámetros microbiológicos

La pérdida de la calidad que algunas veces se produce en las frutas frescas cortadas durante el tiempo que media entre la cosecha y el consumo, puede deberse a cambios físicos, químicos, enzimáticos o microbiológicos. En consecuencia la pérdida de calidad por acción de los microorganismos supone un riesgo para el consumidor debido a la posible presencia de toxinas o microorganismos patógenos, además de las pérdidas económicas causada por la alteración (Raybaudi, 2006).



Resultados y discusión

Es por ello que se hace necesaria la búsqueda de nuevas alternativas a los métodos de conservación actuales, con el fin de desarrollar tecnologías simples y baratas que retrasen los procesos de deterioro y mantengan la calidad e inocuidad microbiológica de los productos durante el periodo de comercialización (Ruíz-Cruz, 2004).

Es aquí donde el uso de recubrimientos comestibles sobre el tejido cortado de la fruta constituye una interesante alternativa ayudándonos junto con la incorporación de compuestos antimicrobianos a reducir la carga microbiana.

Entre los principales agentes microbianos incorporados a los recubrimientos se encuentran los sorbatos, ácidos, bacteriocinas, lizosimas y más recientemente aceites esenciales (Rojas-Graü *et al.*, 2006).

En la tabla 20 se presentan los datos de las pruebas microbiológicas para el estado de madurez fisiológico en el fruto control y en los frutos con recubrimiento a base de grenetina. Se eligió este estado de madurez ya que se encontró que fue el que presentó los mejores parámetros de calidad con recubrimiento a base de grenetina. Debido a que en el estado de madurez comercial la vida de anaquel solo duró 9 días en comparación al estado de madurez fisiológico que mantuvo su vida de anaquel de 12 días.

Dentro de los parámetros microbiológicos que se evaluaron fueron el conteo de mohos y levaduras, mesófilos aerobios y coliformes totales, estos microorganismos se utilizan de referencia para conocer si durante el proceso de elaboración del producto se mantuvo la higiene. Para el conteo de mohos y levaduras en el primer día de almacenamiento se encontró que los tratamientos 0.5% de grenetina 0.25y 0.5% de aceite esencial de limón y al 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón fueron los que más carga microbiana presentaron con valores de 5×10^3 , 4×10^3 y 1.2×10^4 UFC/g respectivamente, mientras que el tratamiento que presentó menor cuenta de hongos y levaduras fue al 2% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón con 3×10^2 UFC/g, en tanto que el tratamiento



Resultados y discusión

al 2% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón tuvo 2×10^3 UFC/g seguido del control y al 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón presentando el mismo valor de 3×10^3 UFC/g.

Tabla 20. Parámetros microbiológicos en mango 'Manila' fresco cortado en estado de madurez fisiológico con recubrimiento a base de grenetina

Tratamientos	Mohos y Levaduras (UFC/g)		Mesófilos (UFC/g)		Coliformes totales (UFC/g)	
	1 ^{er} día	12 ^{vo} día	1 ^{er} día	12 ^{vo} día	1 ^{er} día	12 ^{vo} día
Control	3×10^3	8.5×10^3	2×10^2	4.3×10^4	NP	1×10^2
Formula 1	5×10^3	9.8×10^5	2×10^2	3.4×10^4	NP	NP
Formula 2	4×10^3	2.9×10^5	1×10^2	4.5×10^4	NP	NP
Formula 3	3×10^3	5.8×10^5	2×10^2	4.4×10^5	NP	NP
Formula 4	1.2×10^4	6.9×10^5	1×10^2	5.9×10^4	NP	NP
Formula 5	2×10^3	5×10^5	1×10^2	3.5×10^4	NP	NP
Formula 6	3×10^2	4.1×10^5	1×10^2	3.1×10^4	NP	NP

NP= No presente, F1= (grenetina 0.5%/aceite esencial 0.25%), F2= (grenetina 0.5%/aceite esencial 0.5%); F3= (grenetina 1%/aceite esencial 0.25%); F4= (grenetina 1%/aceite esencial 0.5%); F5= (grenetina 2%/aceite esencial 0.25%); F6= (grenetina 2%/aceite esencial 0.5%).

Al final de almacenamiento se cuantificó una alta carga microbiana de hongos y levaduras en todos los tratamientos que fueron en un rango de $2.9-9.8 \times 10^5$ UFC/g, en comparación con los frutos que no tenían ningún tratamiento tuvo la menor cuenta con 8.5×10^3 UFC/g. Los datos obtenidos durante las pruebas microbiológicas se atribuyen a varios factores dentro los cuales se encuentran, presencia de estos microorganismos en el ambiente de la cámara de refrigeración donde se elaboró y almacenó el producto.

En la cuenta de mesófilos aerobios se detectó que los frutos control y las formulaciones al 0.5% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón y 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial de limón presentaron la misma cuenta con 2×10^2 UFC/g, mientras que al 0.5% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón, 1% de grenetina y 0.5% de aceite esencial de limón, 2% de grenetina 0.25y 0.5% de aceite esencial se contabilizó una menor cantidad de mesófilos de 1×10^2 UFC/g, esto para el inicio del almacenamiento.



Resultados y discusión

Cuando se finalizó la experimentación a los 12 días de almacén, al 1% de grenetina y 0.25% de aceite esencial alcanzó la mayor cuenta de mesófilos en comparación con el control y los demás tratamientos, con una cuenta total de 4.4×10^5 UFC/g; mientras que el control y el resto de los tratamientos presentaron cuentas de $3.1-5.9 \times 10^4$ UFC/g.

Igual que en el conteo de hongos y levaduras se obtuvo datos de carga microbiológica elevada para mesófilos aerobios esto debido a que la proliferación de estos microorganismos se debe a condiciones de pH ácidos (3-5). Otro de los factores a los que se les atribuye es que su principal fuente de energía son los carbohidratos, principales macronutrientes en el mango, por lo que la carga aumento al final de almacenamiento debido a la degradación del almidón a azúcares simples aumentando la concentración del sustrato para la proliferación de mesófilos. Una alta carga microbiológica pudo deberse a varios factores como son, una elevada carga microbiológica en la materia prima, deficiente manipulación durante el proceso de elaboración, la inmediata alteración del producto (Albino, 2007). Dentro de la NOM-093 se especifica que para hortalizas verdes crudas o de frutas el límite máximo permisible de mesófilos aerobios es de 1.5×10^5 UFC/g, por lo que los valores obtenidos están dentro del límite con excepción de la formulación de 1% de grenetina, que se elevó al último día de almacenamiento.

La cuenta de los coliformes totales es el parámetro más importante pues da una idea general de si el personal que elaboró el producto tuvo buenas prácticas de manufactura y está relacionado con el lavado de manos, la desinfección de la materia prima, sanitización de los utensilios usados en el proceso, etc. Tanto al inicio como al final del almacenamiento no se detectó la presencia de coliformes totales ni para el control ni para los frutos con recubrimiento, con excepción de los frutos control para el día 12 de almacenamiento se detectaron 1×10^2 UFC/g formadoras de colonia, lo que hace pensar que hubo una contaminación en alguna de la charolas o que haya entrado en contacto con algún instrumento que no se haya desinfectado, puesto que los demás frutos no presentaron cuenta de microorganismos.



Los frutos frescos cortados proporcionan condiciones tales como pH y fuentes de carbono, favorecedores de la sobrevivencia de coliformes totales, pero la presencia de estos microorganismos indica falta de higiene en el personal que manipula la materia prima, ya que estos microorganismos se encuentran en las heces fecales tanto de animales como de humanos, por lo que la presencia de estos microorganismo en el fruto control pudo atribuirse a una contaminación en la toma de la muestra (Castro *et al.*, 2004).

En el estudio realizado por Navarrete (2009), en zarzamoras cubiertas con grenetina y ácido cítrico, los recubrimientos al 2% de grenetina reportaron un valor de 4.3×10^2 UFC/g al inicio del almacenamiento y al final 7.6×10^2 UFC/g atribuyendo el aumento de la carga microbiana a lesiones causadas por los tiempos de inmersión en la solución del recubrimiento y al proceso de desinfección, por otro lado en la cuenta de coliformes totales no presentan presencia de estos microorganismos tanto en el control como en los tratamientos, para mesófilos aerobios reporta valores menores a 1.5×10^5 UFC/g tanto para el control como para los tratamientos similares a los datos que se reportan en el presente trabajo.

4.7 Evaluación de los parámetros de calidad, nutricional y bioquímicos, en el mango variedad 'Manila' fresco cortado listo para consumir aplicando los recubrimientos a base de alginato en dos estados de madurez

4.7.1 Determinación de pH

El efecto que tuvieron los recubrimientos comestibles a base de alginato sobre los cambios de pH en los dos estados de madurez se encontró que si hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$), es decir, que al aplicar el recubrimiento comestible en el estado de madurez comercial (Figura 44A) si disminuye el pH con valores mínimos de 3.7 para la formulación que contiene 0.5% de alginato y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 44A) esto comparándolo con el mango que no fue recubierto o grupo control que mantuvo valores de pH por arriba de todos los tratamientos de inicio a fin del almacenamiento en refrigeración a 4 °C.



Para el mango fresco cortado en estado de madurez fisiológico, se observó que en la Figura 44B los valores de pH que se registraron durante los días de muestreo fueron más bajos en aquellos donde se les aplicó los recubrimientos comestibles con alginato, mientras que el grupo control registró valores mayores. Se encontró también que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre si se aplica cualquiera de las cuatro formulaciones, pues mantiene el pH bajo con respecto al control independientemente si se usa el estado de madurez fisiológico o comercial.

El análisis estadístico también arrojó que si hay una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los estados de madurez y las formulaciones, lo que quiere decir que si usamos el estado de madurez fisiológico y aplicamos el tratamiento obtendremos un alimento con un pH más bajo que el control, mientras que si usamos el estado de madurez comercial tendremos un alimento donde disminuya aún más el pH provocando que el alimento se haga más ácido.

Analizando este parámetro durante todos los días de muestreo se encontró que en los días 1, 3 y 9 de almacenamiento no hubo ninguna diferencia significativa ($p \geq 0.05$), mientras que para el quinceavo día de almacenamiento los tratamientos que contiene 0.5% de alginato y 0.5 de aceite esencial de limón, 1% de alginato y 0.25% de aceite esencial de limón (Figura 44A), difieren de los tratamientos que están hechos con 0.5 y 1% de alginato con 0.25 y 0.5% de aceite esencial de limón pues tiene un comportamiento semejante con respecto al control.

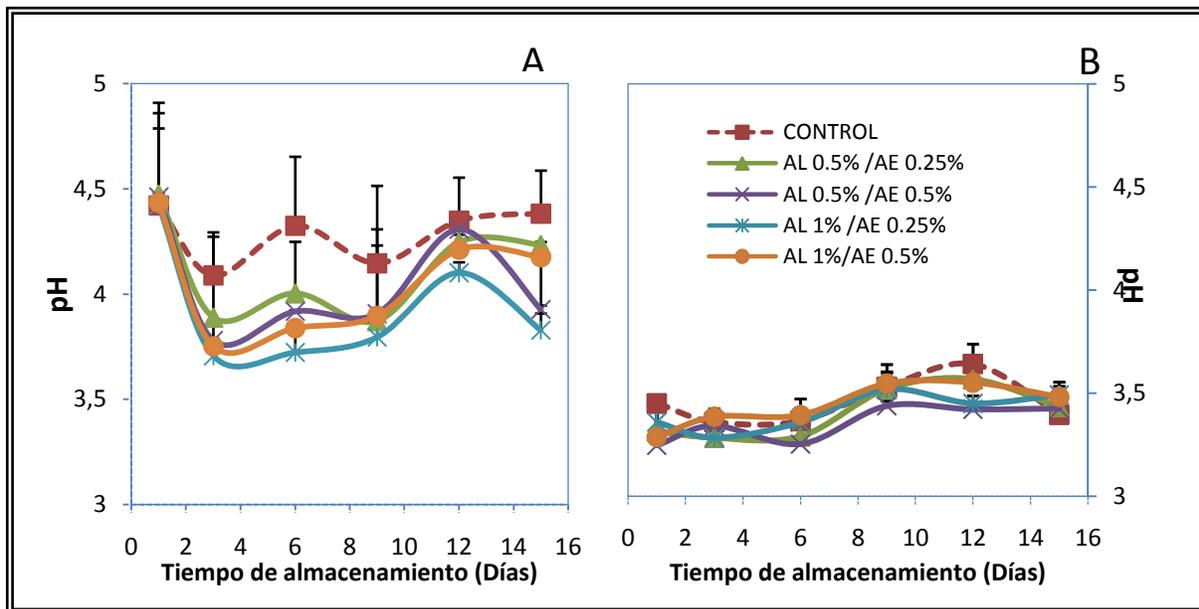


Figura 44. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el pH en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

4.7.2 Determinación de acidez

Los valores de acidez que se registraron durante los días de muestreo en el mango fresco cortado a base de recubrimientos comestibles elaborados con alginato se encontró que si hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los dos estados de madurez (Figura 45). Donde la acidez titulable expresada como % de ácido cítrico en el estado de madurez comercial (Figura 45A) durante el primer día de almacenamiento no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control ya que los valores de acidez estuvieron entre los 0.06 a 0.07%. Los mango control presentaron valores de acidez de 0.08% de ácido cítrico al primer día de almacenamiento, mientras que los mangos con recubrimientos aumentaron la acidez.



Resultados y discusión

Los recubrimientos que proporcionaron mayor acidez en el noveno día de almacenamiento fueron las formulaciones que contienen las concentraciones 0.5% de alginato y 0.25% de aceite esencial de limón seguidas de las formulaciones con las concentraciones de 1% alginato y 0.5% aceite esencial de limón.

El grupo control en el estado de madurez comercial se mantuvo dentro de los valores de acidez en las cuatro formulaciones aplicadas en el mango, observando que a pesar de que los recubrimientos contenían una mezcla de ácidos para inhibir el pardeamiento enzimático no le confirió valores de acidez mayores con respecto al estado de madurez fisiológico, sin embargo la acidez titulable se mantuvo constante de inicio a fin durante los 15 días de almacenamiento.

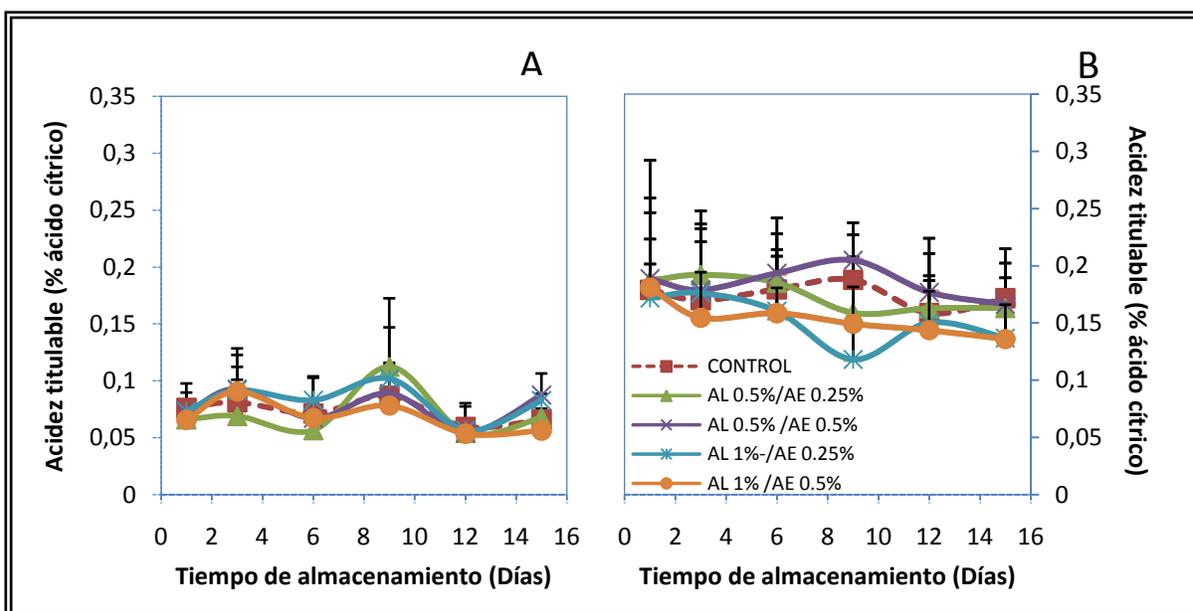


Figura 45. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de acidez titulable en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica



4.7.3 Determinación de sólidos solubles

En la Figura 46 se muestra un aumento de los sólidos solubles durante los 15 días de almacenamiento para todos los frutos, tanto con recubrimientos y los frutos control. Se encontró que si hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre cada estado de madurez. Al inicio del almacenamiento el mango control presentó 14 °Brix para el estado de madurez comercial (Figura 46A), mientras que los frutos con recubrimiento presentaron valores de sólidos solubles menores con respecto al control, este valor fue de 13 °Brix para los cuatro tratamientos. Las formulaciones que contienen la mayor concentración de alginato 1% disminuyó ligeramente la cantidad de sólidos solubles de hasta un 5.5% comparado con el grupo control pero con tendencia al aumento de este parámetro, para el tercer día de almacenamiento también se encontró que fueron los valores más bajos, es decir, de 13 °Brix con respecto al control, para los tratamientos con alginato a 0.5% y ambas concentraciones de aceite esencial con valores de 14.83 y 13.66 °Brix, respectivamente.

En el día 15 de almacenamiento, el mango fresco cortado con tratamientos registró sólidos solubles de 17 °Brix mientras que el control tuvo 18.83 °Brix. Se encontró que no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre formulaciones con respecto al control.

Sin embargo para el estado de madurez fisiológico (Figura 46B) se observó que el grupo control mantiene valores de sólidos solubles mayores a los registrados por los tratamientos durante toda la experimentación, pero con un claro aumento conforme pasan los días de almacenamiento para este parámetro, notando que el mango fresco cortado va madurando e hidrolizando los almidones en azúcares, tanto para aquellos que tienen tratamiento y sin tratamiento. Durante el primer día de refrigeración a 4°C el mango fresco cortado presentó valores de sólidos solubles de 8.6, 8.83 con alginato al 0.5% mientras que las formulaciones con alginato a 1% tuvo valores de 9 y 8.5 en tanto que el control presentó 9.3 °Brix, encontrando que no hubo diferencia significativa entre las formulaciones ($p \geq 0.05$).

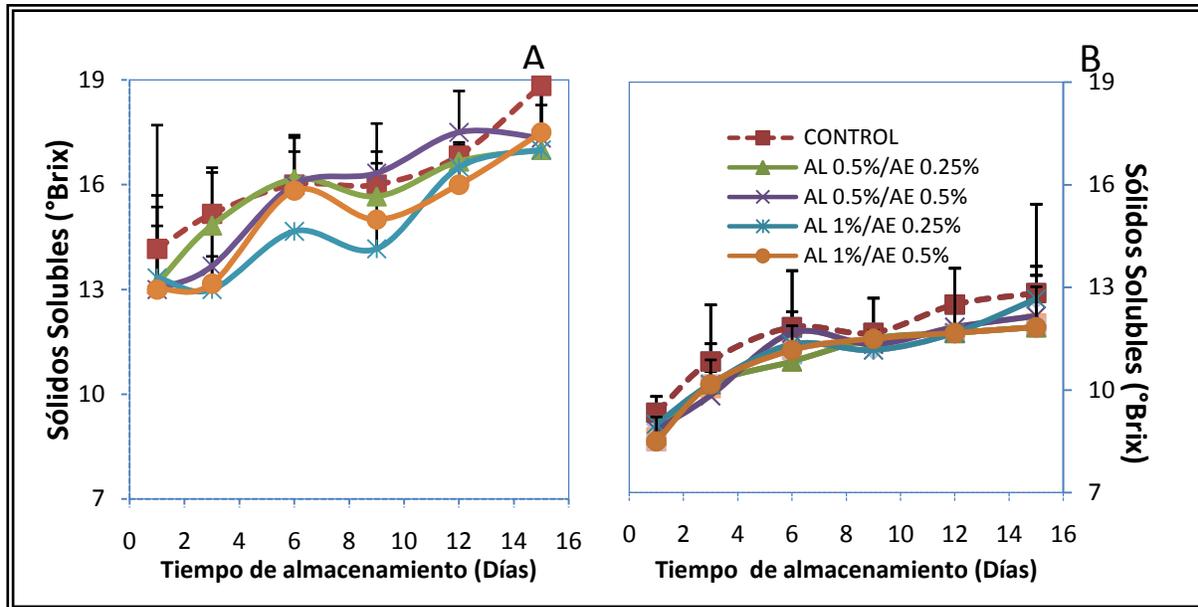


Figura 46. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de sólidos solubles en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

Al final de este experimento los sólidos solubles siguieron con la misma tendencia en ir aumentando, terminando con 12.83 de sólidos solubles para el control y 11.83, 12.16, 12.66, 11.83 para las formulaciones con alginato a 0.5 y 1%. De esto se puede inferir que el recubrimiento comestible elaborado con alginato disminuyó en un 9.71% los sólidos solubles con respecto al control al final del almacenamiento para el estado de madurez fisiológico. En el análisis estadístico se obtuvo que si hubo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) entre la interacción de las formulaciones y el estado de madurez.

Al igual que en el presente trabajo, un estudio realizado por González-Aguilar *et al.* (2005) reportaron que los sólidos solubles de papayas fresca cortada recubiertas con quitosán almacenadas a 5 °C, los frutos tenían un contenido inicial de SST de 7% y fue aumentando ligeramente durante el almacenamiento como consecuencia de la maduración y senescencia



del producto, sin embargo el control tiene los más altos niveles de SST a partir del día 12 donde alcanza valores de 10% comparándolo con los frutos que contenían el recubrimiento de quitosán. Con estos resultados se puede asumir que las cubiertas de alginato fueron capaces de retardar la maduración y senescencia del mango fresco cortado en dos estados de madurez.

4.7.4 Determinación de luminosidad

La luminosidad es un parámetro que nos permite describir objetivamente los cambios de color en los frutos, que va de una reflexión nula ($L=0$) a reflexión difusa perfecta ($L=100$). El valor de L o luminosidad fue el más bajo para el grupo control encontrando una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los dos estados de madurez (Figura 47).

También se puede observar que en el estado de madurez fisiológica apuntó valores de luminosidad mayores tanto en los frutos con recubrimiento y en el grupo control pero que van disminuyendo conforme avanzaron los días de almacenamiento con respecto al estado de madurez comercial.

La aplicación de recubrimientos a base de alginato sobre el mango fresco cortado aumento un 13.12% en los valores de luminosidad con respecto al control durante el primer día de refrigeración a 4° C para los frutos en estado de madurez comercial (Figura 47A). El tratamiento que tiene la mayor concentración de aceite esencial 0.5% y la menor concentración de alginato 0.5% adquirió un valor de $L=66.07$, así mismo para el tratamiento elaborado a partir de 1 % de alginato y 0.5% aceite esencial de limón presentó una $L=66.86$. El comportamiento que siguieron con concentraciones de alginato y aceite de limón a 0.5 y 0.25% arrojó un valor de $L=59.05$ mientras que con 1% de alginato y 0.25% de aceite de limón logró un valor de $L=60.64$.

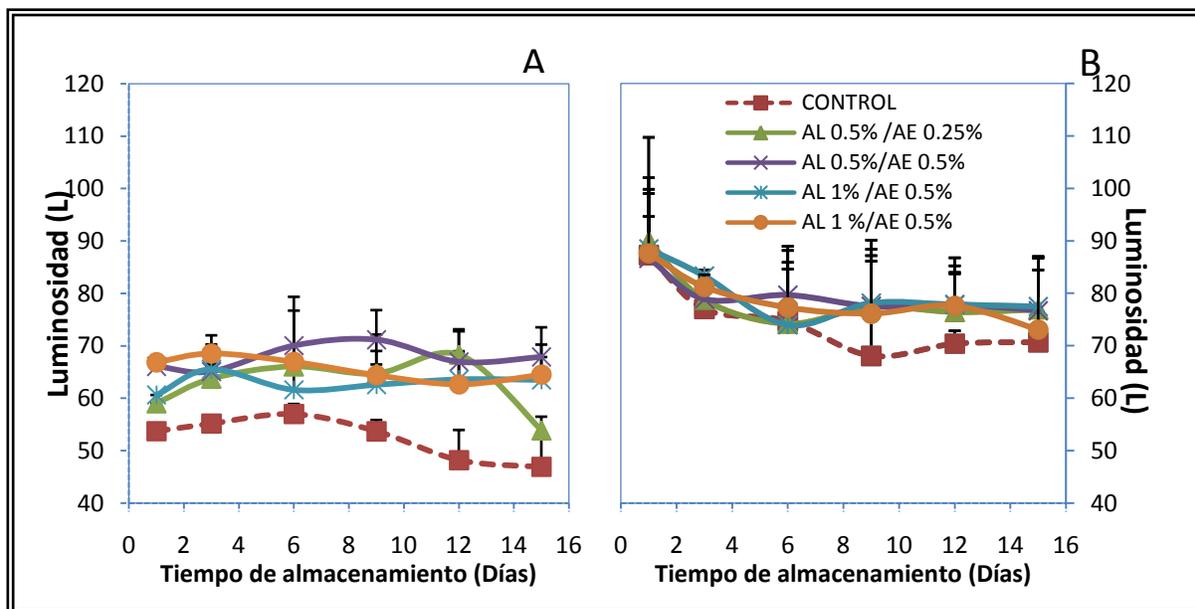


Figura 47. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la luminosidad en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

En el noveno día de almacenamiento el mango control comenzó un descenso de la luminosidad hasta llegar al final del experimento, pues estos descensos se le atribuyen a que comienzan las reacciones de oscurecimiento en la pulpa del mango lo que hace que los frutos ya no se vean tan luminosos provocando una disminución de la calidad del fruto fresco cortado listo para consumir (Mastrocola y Lerici 1991; Monsalve-González *et al.*, 1993).

El control tuvo $L=53.71$, en tanto que la formulación que proporcionó mayor luminosidad fue el recubrimiento con alginato 0.5% y aceite esencial 0.5% con $L=71.18$, seguido de alginato 0.5% y aceite esencial 0.25% con $L=64.74$, alginato 1% y aceite 0.25% tuvo un valor de $L=64.40$ y alginato 1% y aceite esencial 0.5% con $L=62.61$; manteniendo un comportamiento constante en este parámetro hasta el final del almacenamiento en los últimos tres tratamientos



Para el quinceavo día de refrigeración de los mangos, el tratamiento con 0.5 % de alginato y 0.25% de aceite esencial de limón terminó con una luminosidad de 53.89 que se encuentra por encima del grupo control con $L=46.94$. La formulación que proporcionó mayor luminosidad fue el recubrimiento con alginato 0.5% y aceite esencial 0.5% con $L=67.89$, y que estadísticamente si hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las formulaciones con respecto al control.

En el estado de madurez fisiológica la luminosidad (Figura 47B) fue mayor en el primer día de almacenamiento tanto en el mango con tratamiento como sin tratamiento, esto fue porque la pulpa del mango presentó un color más cercano a la reflexión difusa dispersa ($L=100$) dado que la coloración de los frutos se debe principalmente por el pigmento α -caroteno y se van intensificando conforme van madurando (Fischer y Martínez, 1999). Los valores de luminosidad al primer día del almacenamiento de los tratamientos varían ligeramente con respecto al control, el recubrimiento con alginato 0.5% y aceite esencial 0.25% proporcionó $L=89.92$ en comparación con el control $L=87.30$.

Finalmente, se observó que las formulaciones frente al control varió ligeramente la luminosidad, pero siempre por encima de este. La interacción entre las formulaciones y los estados de madurez si hay un efecto significativo ($p \leq 0.05$).

En la Figura 48 se muestran los cambios de color al inicio y al final del almacenamiento de los mangos frescos cortados con y sin la aplicación de las diferentes formulaciones aplicadas en dos estados de madurez, vemos que los recubrimientos a simple vista mantuvieron el color amarillo característico sin coloraciones cafés o con algún signo de que estuvieran oxidándose siendo este efecto más visual en los mangos con tratamientos donde tenemos la alta concentración de alginato (Figura 48D y 48E), con respecto al control que desde un inicio comenzó a oxidarse haciéndose más notorio al final de la experimentación.

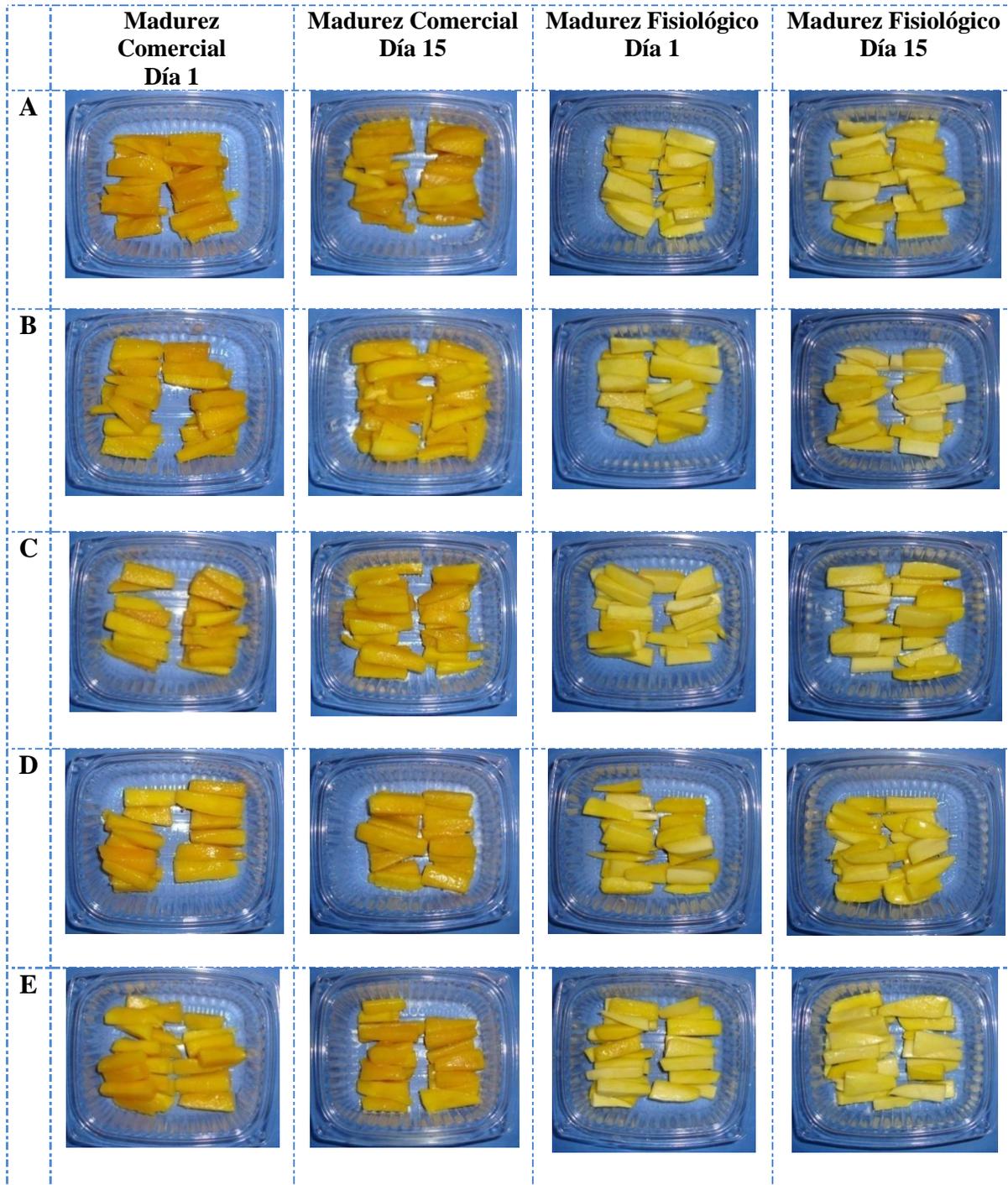


Mientras que en el estado fisiológico a simple vista no se ve ninguna diferencia entre el control y los tratamientos, sin embargo para los mangos con los tratamientos con alta concentración de alginato 1% se ven mucho más brillosos, reflejándose en los valores luminosidad (Figura 48D y 48E).

De igual manera el aumento en los valores de luminosidad provocado por los recubrimientos a base de alginato se puede encontrar similitud con los experimentos realizados por Rojas-Graü *et al.* (2006) en rebanas de manzana y recubiertas con goma gelana y alginato adicionadas con N-acetilcisteína como agente antioxidante mostraron un aumento en la luminosidad con respecto al control durante 21 días de almacenamiento. Demostrando que las películas elaboradas con alginato en este trabajo son buenas portadoras del agente antioxidante, en este caso la mezcla que se hizo con ácido ascórbico y ácido cítrico durante los 15 días de almacenamiento de los mangos frescos cortados.



Resultados y discusión



A) Control; B) Alginato 0.5%-0.25% Aceite de limón; C) Alginato 0.5%-0.5% Aceite de limón; D) Alginato 1%-0.25% Aceite de limón; E) Alginato 1%-0.5% Aceite de limón

Figura 48. Efecto de la aplicación de recubrimientos a base de alginato en la calidad del mango mínimamente procesado en dos estados de madurez (comercial y fisiológico) almacenados a 4°C.



4.7.5 Determinación de pérdida de peso

En la Figura 49 se muestra que en la pérdida de peso no se tuvo un efecto significativo ($p \geq 0.05$), en ningún estado de madurez ni entre las formulaciones. Sin embargo en el primer día de almacenado para el estado madurez comercial (Figura 49A) en el grupo control no presentó pérdida de peso significativa ni con los tratamientos, sino hasta el tercer día donde el tratamiento con 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón perdió 0.16%, los porcentajes de este parámetro en las demás formulaciones estuvieron por debajo, mientras que para el sexto día el grupo control presentó 0.3% en comparación con los trozos de mango recubiertos presentaron valores de alrededor de 0.1%.

Al final del experimento se registró que el grupo control tuvo una mayor pérdida de peso respecto de los frutos recubiertos, este valor fue de 1.25%, en tanto que la formulación con alginato 0.5% y aceite esencial 0.25% fue la que menor perdió peso con 0.53%. No encontrado entre cada día de muestreo ninguna diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

La Figura 49B que son los mangos con recubrimiento y sin recubrimiento en estado de madurez fisiológico, se observó que no hay ningún efecto significativo ($p \geq 0.05$), pues la pérdida de peso fue mínima tanto en grupo control como para los cuatro diferentes tratamientos, cabe mencionar que al inicio del almacenamiento no se registró ninguna pérdida por ninguna unidad experimental, siendo que para el tercer día de vida de anaquel se registraron para el control como para los tratamientos porcentajes de alrededor de 0.1%.

Experimentos realizados por González–Aguilar *et al.* (2008), demostraron que la pérdida en cubos de papaya recubiertos con quitosan no presentaron ningún cambio en este parámetro, sino hasta el tercer día de almacenamiento a 5°C, donde el control perdió hasta un 0.8% y para los tratamientos perdieron hasta 0.5%, mostrando ninguna diferencia significativa entre el control y los tratamientos en cubos de papaya tal y como sucedió en los resultados obtenidos en el presente trabajo.



La reducción de la pérdida de peso podría ser atribuida a que se creó una barrera por el alginato, quien reduce los cambios en la transpiración y pérdida de agua o líquido en los trozos de mangos mínimamente procesados.

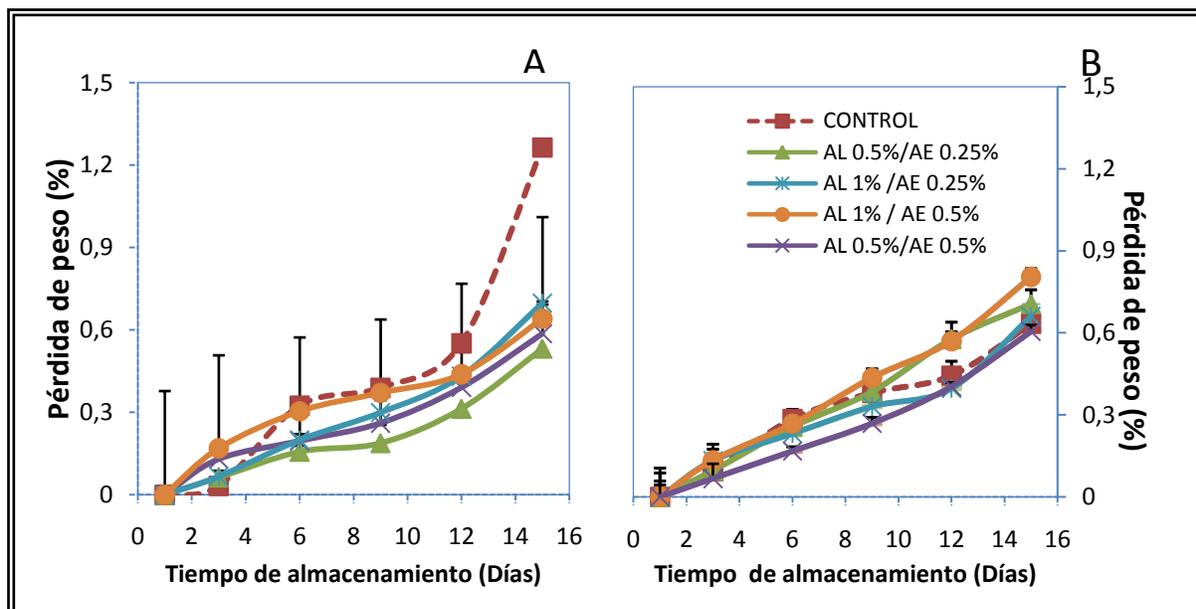


Figura 49. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la pérdida de peso en estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

4.7.6 Determinación de liberación de líquido

En la Figura 50 se presentan los datos del % de liberación de líquidos en el mango usando las películas comestibles a base de alginato y almacenadas durante 15 días a 4°C, donde el estado de madurez fisiológico se observó menor liberación de líquido en comparación con el estado de madurez comercial donde el control tiene los % más altos, pues estadísticamente si hubo efecto significativo ($p \leq 0.05$) entre cada estado de madurez. Esto también se debe a una degradación de la pared celular provocada por la solubilización y despolimerización de las sustancias pécticas, haciendo que el fruto pierda su firmeza permitiendo precisamente la liberación de líquido acuoso, lixiviando sustancias químicas propias del mango (Wong, 1995; Sakai *et al.*, 1993; Chauchan *et al.*, 2001).



Resultados y discusión

Durante el estado de madurez comercial en la Figura 50A, para los mangos con el tratamiento de alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.5% presentaron menor liberación de líquidos con 6.76%, seguido de el tratamiento con alginato 1% y aceite esencial de limón 0.5%, 1% de alginato y aceite esencial de limón 0.25% y 0.5% alginato y aceite esencial de limón 0.25% con 7.09, 7.78 y 8.18%, respectivamente, que en comparación con el control liberó hasta un 15% de líquido. Se encontró que si hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de las formulaciones con respecto al grupo control para el primer día del almacenamiento a $^{\circ}4C$.

El recubrimiento comestibles ayudó a que los mangos para el noveno día se registraran todavía menor porcentaje de liberación de líquido con 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón valor que corresponde al 6.58%, pues a partir de este día la liberación de líquidos se hizo más notoria para cada tratamiento hasta finalizar el experimento, donde el control libero un valor de 14.89%.

Al finalizar nuestra experimentación las con alginato 1% y aceite esencial de limón 0.25% con 13.73% y alginato 1% y aceite esencial de limón 0.5% con 15.25%, liberaron más líquido en comparación con alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.25% y alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.5% que terminaron liberando líquido 11.45%, con respecto al control que tuvo 13.43% de líquido liberado.

Para la madurez fisiológica (Figura 50B) el control liberó 7.76% de líquidos, mientras que los mangos con tratamiento estaban por debajo del control, siendo el más bajo con alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.5% con 4% y para los demás formulaciones tuvieron un valor similar de alrededor de 5%. En los siguientes días los mangos no tuvieron tendencia para los días 2 y 12 de almacenamiento donde el control se ve por debajo de las formulaciones, sin embargo, para el día 6 el control presentó el valor más alto en toda la experimentación con 11.56% en relación con alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.25% que fue la que libero 4.38% en este parámetro.

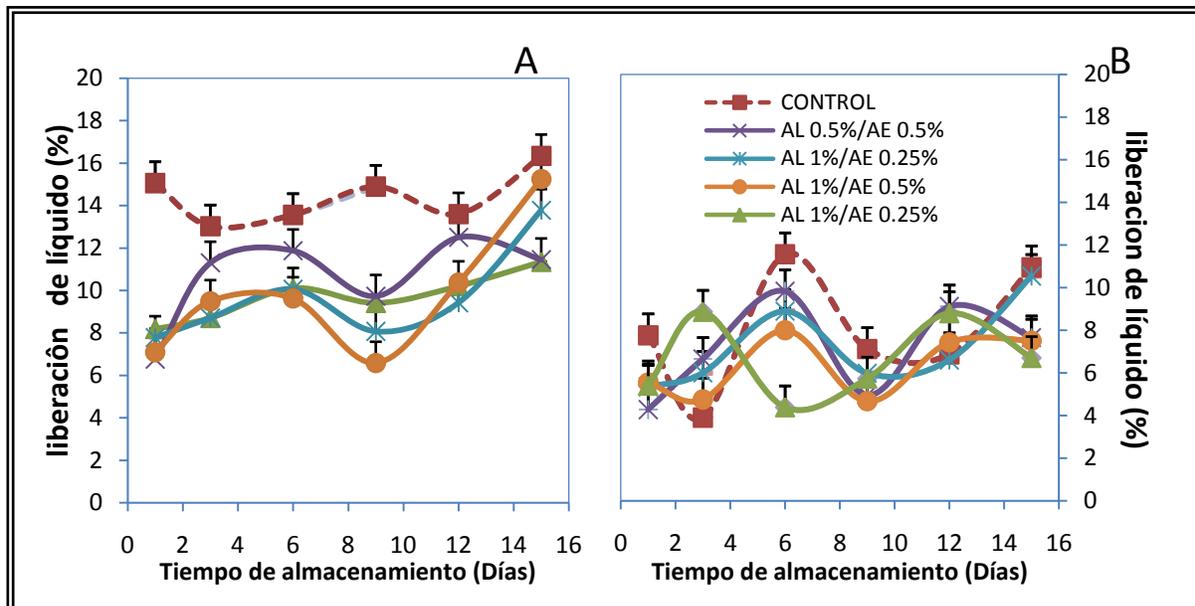


Figura 50. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre la liberación de líquido en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

La experimentación concluye cuando el control ha liberado 10.95%, dejando por debajo a los tratamientos, una vez más alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.25% fue la que menos liberación de líquido con 6.7%, alginato 0.5% y aceite esencial de limón 0.5%, alginato 1% y aceite esencial de limón 0.5% con 7% y alginato 1% y aceite esencial de limón 0.25% con 10.54%.

En este estado de madurez fisiológico el porcentaje de liberación de líquido tuvo valores menores con respecto al estado comercial pues, es aquí donde aún no se ha perdido la firmeza en los tejidos y las pectinasas aun no comienza su función de degradación para ablandar el fruto, sin embargo si se vio un efecto por la aplicación de los recubrimientos comestibles con diferencia significativa ($p \leq 0.05$).



Dado que los mangos presentaron mayor firmeza en el estado madurez comercial, se observó que si hubo un beneficio al aplicar el recubrimiento con mayor contenido de alginato, estadísticamente si hubo efecto significativo ($p \leq 0.05$) entre las interacciones del estado de madurez comercial y las formulaciones.

Esto es probablemente a que los mangos comerciales liberan más líquido debido a que se aceleran sus reacciones metabólicas provocadas por las operaciones unitarias, aunado a esto los recubrimientos comestibles elaborados con alginato fueron sumergidos en soluciones de cloruro de calcio al 2%, formando geles con el alginato (Poovaiah, 1986; Teullado *et al.*, 2005), es por ello los mangos frescos cortados con tratamiento perdieron menor cantidad de líquidos, mejorando su textura y apariencia.

4.7.7 Determinación de Vitamina C

Este parámetro es muy importante ya que a las películas comestibles con alginato se le adicionó una mezcla de antioxidantes teniendo como componente mayoritario el ácido ascórbico al 1%, en la Figura 51 se muestra la evolución de la vitamina C durante los 15 días de almacenamiento, el cual indicó que en los dos estados de madurez usados en la experimentación hubo mayor cantidad de esta vitamina y que fue disminuyendo conforme el paso de los días. Estadísticamente se obtuvo que si hubo efecto significativo por el estado de madurez ($p \leq 0.05$).

Durante el primer día de conservación en el mango comercial (Figura 51A) el grupo control tuvo 15.25 mg de vitamina C por cada 100 gramos de fruta, en los tratamientos se vio un aumento cinco veces más de esta vitamina, pues los recubrimientos comestibles a base de alginato funcionaron como transportes para aumentar su valor nutricional (Guilbert y Biquet, 1996).

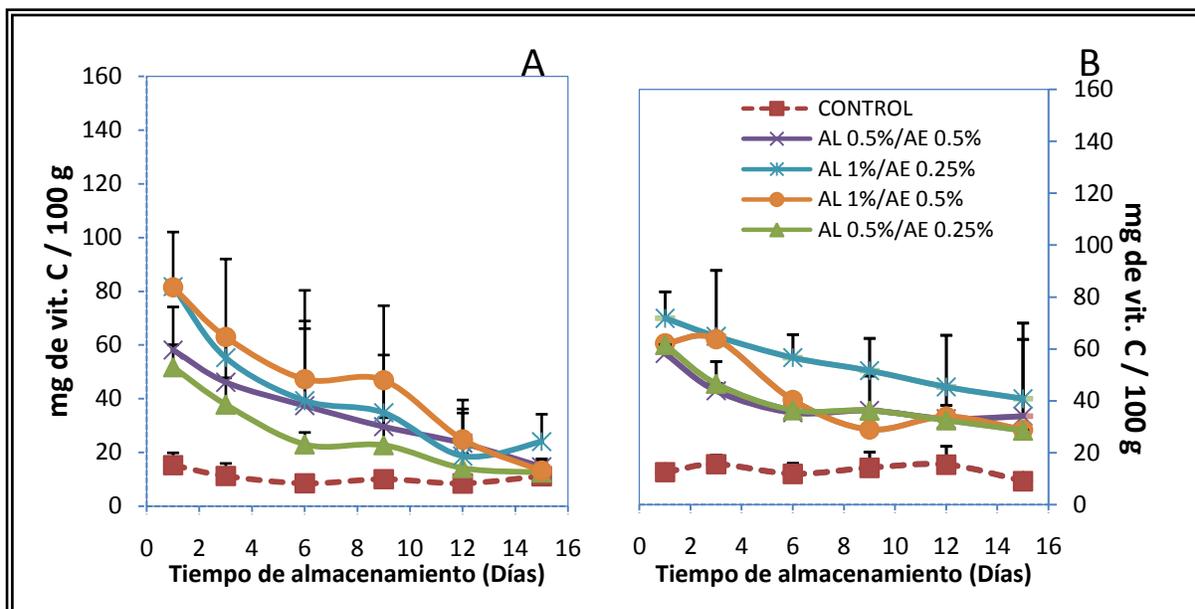


Figura 51. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de vitamina C en los estados de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

Los tratamientos que le aportaron mayor cantidad de ácido ascórbico fueron las formulaciones con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% con valores de 81.71 y 81.74 mg de vit. C/100 g, respectivamente. Estas formulaciones fueron elaboradas con alginato al 1% lo que nos hace inferir que a mayor concentración de la matriz estructural del recubrimiento se retienen mayor cantidad de aditivos adicionados, pues en los tratamientos con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% tienen 51.76 y 58.17 mg de vitamina C/100 g.

En el día 12 se registró una disminución súbita de este parámetro en los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% la que presentó menor cantidad de ácido ascórbico con 14.17 mg de vitamina C con respecto al control.



Resultados y discusión

Al terminar el almacenamiento los valores de vitamina C fueron similares entre los tratamientos y el control, lo que significó que el recubrimiento fue perdiendo estabilidad dejando que los componentes o aditivos se perdieran comportándose de la misma forma que el control, con excepción de la formula con alginato 1% y aceite esencial de limón 0.25% que fue la que menos dejó perder vitamina C con valor de 24.01 mg /100 g. Estas diferencias entre tratamientos, demostraron estadísticamente que si hubo efecto significativo en las formulaciones ($p \leq 0.05$). Estos comportamientos también se presentaron en el estado de madurez fisiológico aunque de manera gradual (Figura 51B), donde el tratamiento con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% aumento cinco veces el contenido de vitamina C quedando en 71.82 mg, para el primer día de conservación.

Para el resto de las formulaciones presentó valores de 62, 58 y 62 para alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25y 0.5%, y alginato1%/aceite esencial de limón 0.5%, respectivamente y el control inicio con 12.50 mg de vitamina C. El comportamiento que tuvo el mango fresco cortado durante el día 9 de almacenamiento, presentó un ligero aumento con 14.17 mg de vitamina C para el control, así mismo la formula con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% adquirió un valor de 51.62 mg de la vitamina mostrando que con respecto a los demás tratamientos fue mayor la retención en el recubrimiento comestible. Con respecto a la formulación con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25y 0.5%, y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% presentaron alrededor de 2 veces menos si se compara con la formulación con alginato al 1% y aceite esencial de limón 0.25%, pero con respecto al control se aumentó hasta 3 veces más la vitamina C.

En el día 15 los mangos con la formulación 1% de alginato y 0.25 de aceite esencial de limón fue la que retuvo en mayor medida la cantidad de vitamina C con 40.78 mg/100 g, en tanto que la 0.5% de alginato/0.25% de aceite esencial de limón y 1% de alginato/0.5% de aceite esencial de limón tuvieron valores similares de alrededor de 28.80 mg de vitamina C/100 g, mientras que la 0.5% de alginato/0.5% de aceite esencial de limón alcanzó para este día de almacenamiento 34.10 mg; con respecto al control que finalmente registro 9.01



mg de vitamina C/100g. También se encontró que la formulación que más retuvo la vitamina C fue con 1% de alginato/0.25% de aceite esencial de limón, tanto en el estado de madurez comercial y fisiológica, al final del almacenamiento. El estadístico mostro que si hubo efecto significativo entre la interacción del estado de madurez y las formulaciones ($p \leq 0.05$).

Los resultados del presente trabajo concuerdan con los datos obtenidos por Oms-Oliu *et al.* (2008), donde aplicaron recubrimientos elaborados a base de alginato y goma gelana sobre el melón fresco cortado almacenado durante 15 días a 4 °C obteniendo diferencia significativa entre la composición del recubrimiento y el tiempo de almacén. Presentaron mayor cantidad de vitamina C aquellos tratamientos en lo que se les aplicó goma gelana reteniendo 85% y el alginato con un 75%, respecto del control, similar a lo que presentaron los mangos con la aplicación del recubrimiento con mayor porcentaje de alginato 1%.

4.7.8 Efecto en la actividad de la peroxidasa y polifenoloxidasa

Después de observar el comportamiento de las enzimas en los mangos en dos estados de madurez con la aplicación de los tratamientos químicos, se observa que el comportamiento de la PDO no es la misma con la aplicación de recubrimientos a base de alginato, pues los porcentajes de actividad residual fueron mayores para el estado de madurez comercial rebasando el porcentaje del 100% del control a comparación del estado de madurez fisiológica que durante los primeros días algunos tratamientos con recubrimientos sobrepasan al control, siendo que la actividad residual de estos mangos fueron menores que si se comparan con el estado de madurez comercial, mostrándose en la Figura 52.

En los mangos en estado de madurez comercial (Figura 52A), el porcentaje de actividad residual a lo largo de todos los días de almacenamiento varían con máximos y mínimos en este parámetro, siendo que para el primer día de almacén los mangos con recubrimiento donde se usaron las bajas concentraciones de 0.5% de alginato y aceite esencial de limón 0.25y 0.5%, mostraron valores de 105 y 110% cada uno.



La formulación con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% fue la que en mayor medida obtuvo un porcentaje de actividad residual de 385% y para alginato 1%/aceite esencial 0.5% fue de 173%, estas formulaciones estuvieron elaboradas con la mayor concentración de alginato 1%.

En el día seis la actividad residual disminuyó con respecto al control con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% teniendo un valor de 47.29%, pasando este día la actividad aumentó junto con los demás tratamientos para después disminuir y mantenerse. La formulación con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% fue la que tuvo mayor actividad residual en este día donde fue de 289% seguido de alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% con 256% y las que menos tuvieron fueron con alginato a 1% con ambas concentraciones de aceite esencial de limón con 145 y 203%, respectivamente.

Para el final de almacenamiento con tratamiento con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% fue la que tuvo mayor actividad residual con 190%, seguido de alginato 0.5% y 0.5% de aceite de limón con 162%, por el contrario las formulaciones con la mayor concentración de alginato 1% y aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% ayudaron a tener una menor actividad residual pero no menor comparada con la del control, estos valores son de 151 y 142%, respectivamente para cada condición, esto indicó que durante los últimos días de conservación el recubrimiento fue actuando en la inhibición de la enzima, en este caso de la PDO para el estado de madurez comercial.

En el caso de los mangos en estado de madurez fisiológico la Figura 52B muestra que la formulación con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% al inicio del almacenamiento fue la que presentó menor actividad residual y que se encuentre por debajo del control con valor de 83% ya que los otros tres tratamientos estuvieron por arriba del control siendo la alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% la que menor disminuyó la actividad de la



Resultados y discusión

PDO con 139% seguido de alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% con 128% y por último alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% con 125%, con respecto al control.

Conforme transcurrieron los días de almacenamiento el efecto que tuvo el recubrimiento comestible con las cuatro formulaciones para el día 9 comenzaron a disminuir con excepción de la formulada con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% que aún siguió por arriba del control con valor del 154%, el tratamiento con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% obtuvo una actividad de 106%, alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% con 81% seguido de alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% con la actividad más baja en este día con 78%. Al término de la experimentación las formulaciones alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25y 0.5% tuvieron actividades residuales de 32 y 28% para cada uno en tanto que las formulaciones con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% inhibieron en menor medida con 49 y 57%.

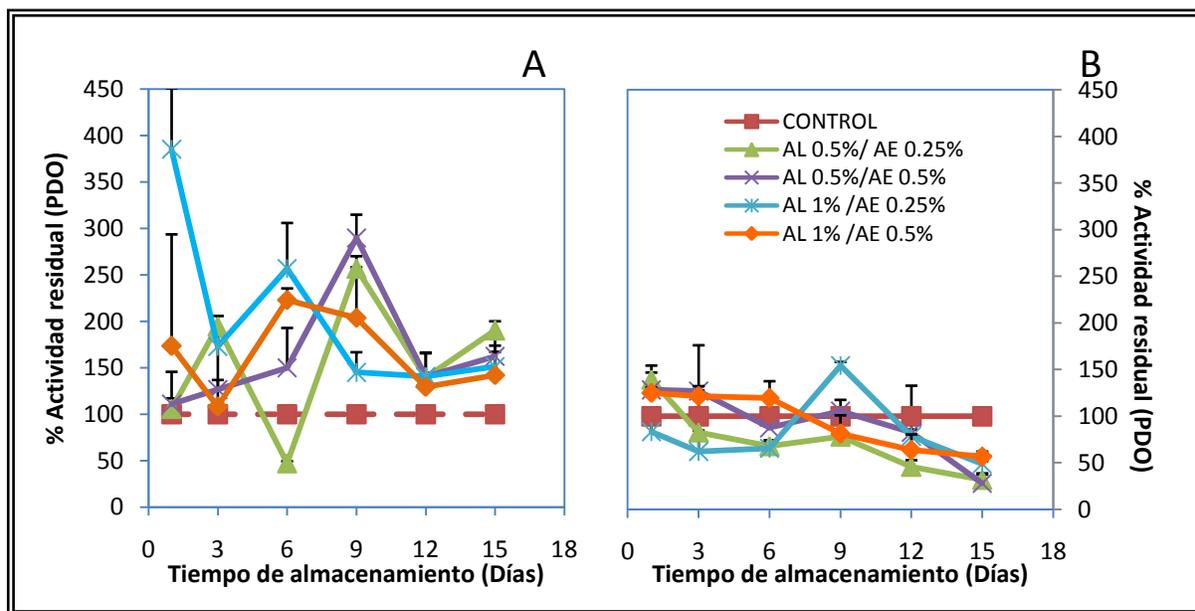


Figura 52. Efecto del recubrimiento a base de alginato(AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el contenido de PDO en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica



Resultados y discusión

Al contrario de lo observado en la actividad residual de la PDO el efecto que tuvieron los recubrimientos comestibles si disminuyó este parámetro con respecto al control para la enzima PPO, siendo menor para el estado de madurez fisiológico tal y como se muestra en la Figura 53.

Los mangos en estado de madurez comercial (Figura 53A) la formulación que disminuyó en mayor medida la actividad residual fue la menor concentración de alginato 0.5% con 16%, seguido de las formulas con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% obteniendo 22% mientras que alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% fue la que mayor tuvo actividad residual con 35%, con respecto al control.

Para el día 6 de almacenamiento todos los tratamientos con excepción la formulada con 1% de alginato y 0.25% de aceite esencial de limón presentaron un súbita disminución, siendo la que más inhibió fue la formulación con mayor cantidad de alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% teniendo una actividad del 7% por el contrario de alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% que tuvo 36% y quedando entre estos valores los tratamientos con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% observándose la misma cantidad de enzima residual al 14%. Después de los 15 días de experimentación se mantuvieron los valores de actividad residual constante con valores entre 20 y 23% para todos los casos con tratamiento con respecto al control. Los mangos en madurez fisiológica también tuvo valores similares que el estado de madurez comercial pues se puede ver en la Figura 53B que las formulaciones que tuvieron menor actividad residual al inicio del almacenamiento fueron alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% pues presentaron valores de 7 y 8% cada uno, siendo que para las formulaciones con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% su actividad residual fue de 14 y 17%, con respecto al control.

La tendencia durante toda la experimentación fue constante para tratamiento ya que en el día 9 la formulación con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% experimentó menor



Resultados y discusión

actividad residual con 12% que en comparación con la formula con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% tuvo la mayor actividad con el 17% para este día, sin embargo los tratamientos con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% quedaron con 16 y 22% todos con respecto del control. Simplemente para el final de la experimentación los mangos que presentaron menor porcentaje de actividad residual con la aplicación de recubrimientos fue alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% con 19% seguida de alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% con valores correspondientes a 20 y 22%, ya que alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% fue la que obtuvo 25% en actividad residual.

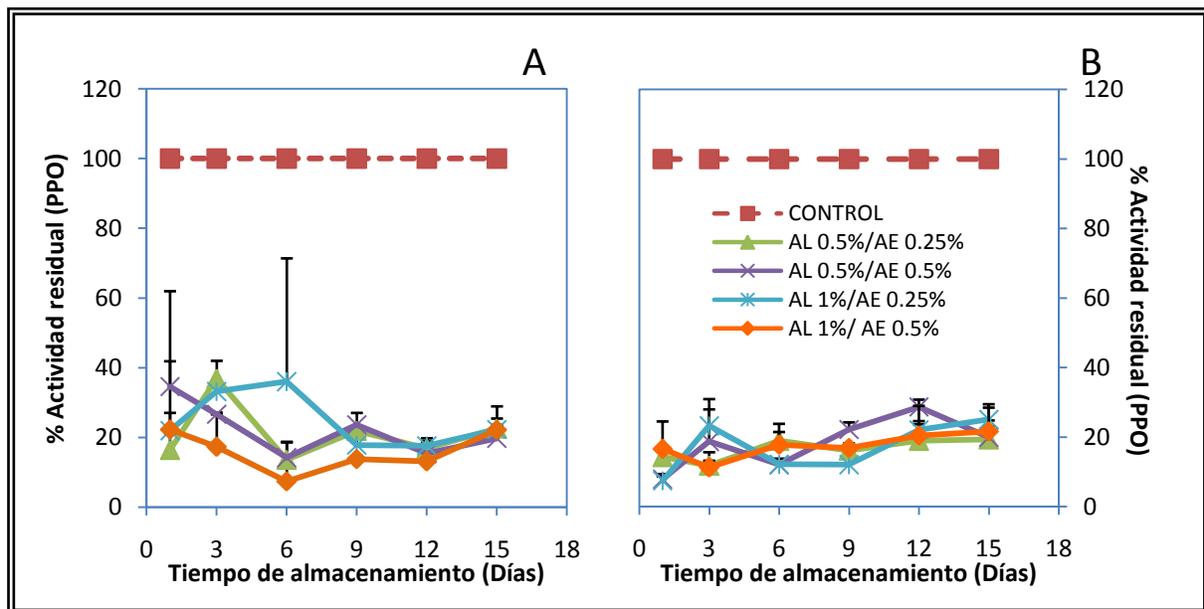


Figura 53. Efecto del recubrimiento a base de alginato (AL) y aceite esencial de limón (AE) a diferentes concentraciones en el mango cortado listo para consumir sobre el % de actividad residual de la PPO en el estado de A) madurez comercial y B) madurez fisiológica

Autores como Baldwin *et al.*, (1996) reportó que el pardeamiento enzimático de manzanas troceadas se evitó con más efectividad cuando el ácido ascórbico fue incorporado como parte del recubrimiento comestibles que por inmersión directa de los trozos en una solución acuosa. Lo mismo ocurrió con el presente trabajo cuando se aplicaron los tratamientos



químicos en solución y con recubrimientos comestibles. Otro trabajo realizado por Robles Ozuna *et al.*, (2007) demostraron que el uso del quitosano como un agente protector para inhibición de la PPO se inactivo totalmente mientras que la PDO se redujo cerca del 3%, así mismo el uso de recubrimientos a base de almidón de mandioca adicionando ácido ascórbico se encontraron diferencias significativas en la actividad PDO entre los trozos de papa fresca cortada sometidos al tratamiento. La actividad de la enzima PPO resultó 3 a 4 veces menor que la actividad de la PDO y distinguieron cierta inhibición por el ácido ascórbico experimentado por Ojeda y Sgroppo, (2009).

4.7.9 Evaluación de los parámetros sensoriales

En la figura 54 se muestran los datos obtenidos de los atributos evaluados para el mango de madurez comercial con recubrimientos a base de alginato para el primero y el último día de almacenamiento. Así mismo se evaluaron los atributos que son brillantez, firmeza, aroma, sabor y textura. La Figura 54A muestra la evaluación sensorial de los mangos en el primer día de conservación donde se observó que para el atributo de brillantez la mayoría de los panelistas notaron que los mangos con tratamientos no son ni brillantes ni opacos con respecto al control, estadísticamente no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$), pudiendo destacar que el recubrimiento con alginato le proporciona al mango menor brillantez comparándolo con los mangos que estaban recubiertos con grenetina, la formulación con 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón fue la que obtuvo 4 puntos del cual significa que fue brillante con respecto al control.

Los recubrimientos que tienen mayor concentración de alginato, los panelistas si detectaron diferencia en textura entre alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% con el grupo control pues les dieron 3 puntos con “ni agradable ni desagradable”, en tanto que alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% dijeron que si les “agradaba” la textura de los mangos con estas formulaciones, de igual forma al control lo calificaron como “agradable” para el atributo de textura, estadísticamente alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% no fueron significativamente diferentes



Resultados y discusión

($p \geq 0.05$) entre sí, pero con respecto al control, alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

El grupo de mangos control fue “muy agradable” al paladar del panelista en el atributo de sabor, seguido de alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25% con bajo contenido de alginato y aceite esencial de limón que pese a que si fue percibida el recubrimiento en la fruta fue aceptada por parte del consumidor, a diferencia de los mangos con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5%) y alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% fueron “ni agradable ni desagradable” pues la que menos gusto fue alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% calificándola como “desagradable” siendo diferente significativamente con respecto al control ($p \leq 0.05$).

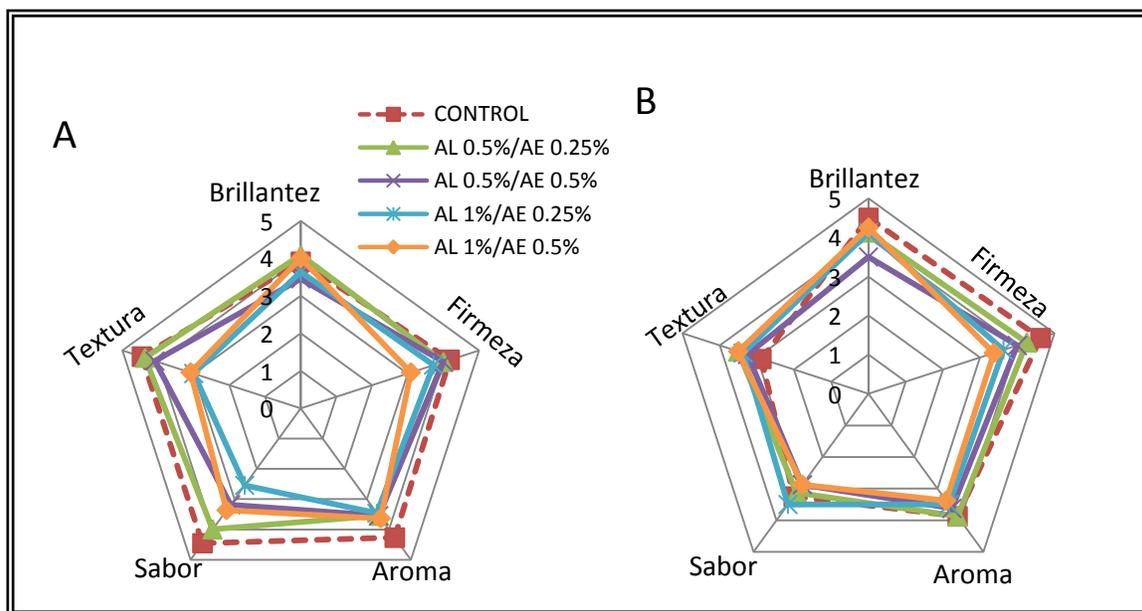


Figura 54. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez comercial en la aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento



Resultados y discusión

El aroma que proporcionaron los recubrimientos fue un olor a limón que enseguida los panelistas lo percibían, siendo un olor no característico del mango y por lo tanto encontraban diferencia entre las cinco muestras que probaban, no obstante el grupo control lo encontraron “agradable”, seguido de los tratamientos con “ni agradable ni desagradable” tomando en cuenta que estadísticamente no hubo diferencia significativa entre el grupo control y los tratamientos ($p \geq 0.05$).

Por último la firmeza que le confería la película a los mangos evitaba que estos perdieran turgencia, pérdida de agua y retención de compuestos nutrimentales, el grupo control fue evaluado como “suave” así como también las formulaciones con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5%, en tanto que alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% fueron “ni suaves ni duras”, esto también se podía apreciar por parte del consumidor ya que los alginatos con mayor concentración y adicionándoles cloruro de calcio hacían del mango más firme pero que al consumidor no le agradado mucho, siendo que estadísticamente no hubo ninguna diferencia significativa entre cada tratamiento con respecto al control ($p \geq 0.05$).

Al término de la experimentación 15 días después, los panelistas consideraron que tanto el grupo control como los mangos con tratamiento los veían “brillantes”, resultando que alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.5% fue menos “brillante” con respecto al control pues fue diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$). Sin embargo como era de esperarse en el mango control los panelistas notaron que fue “muy suave” en cuanto a firmeza se refiere, debido a todos los procesos metabólicos y a la senescencia del fruto, por otro lado el recubrimiento que más ayudó a que los mangos no perdieran su firmeza fue alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% , por la alta concentración de alginato que evaluaron como “ni suave ni duro”, el estadístico arrojó que estos mismos tratamientos si difieren con respecto al control ($p \leq 0.05$) pero en las formulaciones con 0.5% alginato en ambas concentraciones de limón no hubo diferencia significativa respecto al control ($p \geq 0.05$).



Resultados y discusión

Los parámetros de aroma, sabor y textura no se encontraron ninguna diferencia significativa con respecto al control ($p \geq 0.05$).

Finalmente la textura para el grupo control fue “desagradable” siendo que estos ya no eran atractivos visualmente porque la pulpa del mango ya estaba oxidada, es decir, con tonos cafés y sobre todo que a los 15 días de conservación el grupo control ya no era comerciable debido a todas la pérdida de calidad tanto fisicoquímica y nutrimental del producto fresco cortado mientras que los mangos tratados fueron evaluados como “ni agradable ni desagradable”, estos presentaban buena apariencia, color, olor, sabor y sobre todo firmeza alargando su vida útil por 5 días más, pese a que el consumidor si detectó el recubrimiento en la fruta los que menos aceptaron son aquellos donde el mango era recubierto con las altas concentraciones de alginato 1%, pues se podía observar a simple vista el grosor del recubrimiento, siendo que los recubrimientos con baja concentración 0.5% fueron los más aceptados de acuerdo con la evaluación sensorial descrita.

De la misma forma en la Figura 55 nos muestra los parámetros sensoriales para el primero y quinceavo día de almacenamiento de los mangos en estado de madurez fisiológico con y sin recubrimiento a base de alginato. La figura 55A demuestra que el atributo de brillantez en los mangos el control fue el que mayor puntaje obtuvo dado por los panelistas como “ni brillante ni opaco”, seguido de las formulaciones alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5%, esto se debió a que los mangos tuvieron el mayor % de alginato proporcionándoles mayor luminosidad ($L=88$ y $L=87$, respectivamente), aunque las formulaciones con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% fueron consideradas las más opacas con respecto al control, teniendo en cuenta que estos tratamientos fueron los que tienen menor concentración de alginato, estadísticamente no se hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamientos con respecto al control, para este atributo.



Resultados y discusión

La textura que percibieron los panelistas en los mangos fue que el grupo control obtuvo la mayor calificación seguido de los demás frutos con recubrimiento, esto quiere decir que ninguno de los panelistas noto alguna diferencia significativa entre cada tratamiento ($p \geq 0.05$), sin embargo el sabor que proporcionaron las recubrimientos sobre los mangos con alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% fue evaluada como “ni agradable ni desagradable” lo que significó que los panelistas si percibieron aun más el sabor ácido propio del mango en estado fisiológico y por la adición de las recubrimientos comestibles, pues el control junto con los tratamientos con alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5%, y alginato 1%/ aceite esencial de limón 0.25% fueron evaluadas como desagradables, no encontrando diferencia significativa entre recubrimientos con respecto al control ($p \geq 0.05$).

El aroma de los mangos al inicio del almacenamiento, pese a que olían mucho a limón debido a la adición del aceite esencial de limón al recubrimiento tampoco se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) estadísticamente entre control y tratamientos, provocando en los panelistas la evaluación de “ni agradable ni desagradable”, la firmeza en los mangos entre el control y los mangos con recubrimiento fue en general “ni duro ni suave”, pese a que en este estado de madurez aun las enzimas pectinolíticas no comienzan a degradar los tejidos del fruto, de igual forma tampoco se encontró diferencia significativa con respecto al control ($p \geq 0.05$).

Estos mangos también fueron evaluados al final del experimento, la Figura 55B se observan los parámetros sensoriales donde la brillantez evaluada para formulado con 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón fue la que más percibieron como “opaca”, sin embargo con alginato al 1% y aceite esencial de limón 0.25% la consideraron como “brillante” a comparación del control que fue “ni opaca ni brillante” el estadístico indicó que al 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón si tuvo diferencia significativa con respecto control ($p \leq 0.05$), la firmeza para el grupo control fue considerado como “suave”, esto debido a que conforme pasaron los días fue madurando el fruto, mientras los frutos que



Resultados y discusión

estaban recubiertos retrasaron su madurez evitando que perdieran firmeza y por lo tanto los panelistas evaluaron a los mangos con las cuatro formulaciones como “duro”, sin embargo no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

En el aroma, sabor y firmeza tanto el grupo control como los recubrimientos no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$), por lo que a los panelistas les desagradaron los frutos con y sin tratamiento.

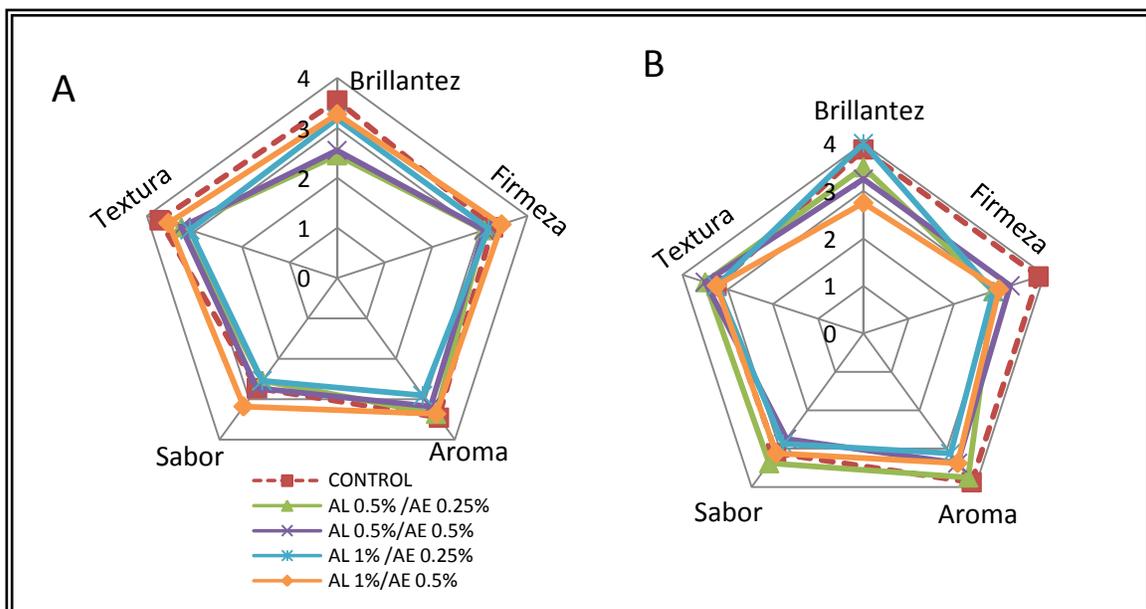


Figura 55. Evaluación de las propiedades sensoriales del mango cortado listo para consumir en el estado de madurez fisiológico en la aplicación del recubrimiento comestible a base de alginato al A) primer y B) quinceavo día de almacenamiento

Contrastando los resultados del presente trabajo con los experimentos de recubrimientos de alginato y puré de manzana hechos por Rojas-Graü *et al.*, (2007), se ha visto que no produce por sí mismo un cambio apreciable en las características sensoriales de manzana fresca cortada. En cambio si detectaron cambios apreciables de las características sensoriales de los trozos de manzana al añadir aceite de orégano, hierba de limón o vainillina dentro del recubrimiento, demostrando que los recubrimientos comestibles



podrían mejorar la retención de aromas en frutas frescas cortadas, lo mismo pasó con la adición del aceite esencial de limón incorporado en los recubrimientos comestibles.

4.7.10 Evaluación de los parámetros microbiológicos

En la tabla 21 se muestran los datos obtenidos de las pruebas microbiológicas obtenidas para el mango de madurez comercial con recubrimiento a base de alginato, se trabajó con este estadio debido a que presentaron las mejores características de calidad, sensoriales y bioquímicas.

Tabla 21. Parámetros microbiológicos en mango 'Manila' fresco cortado en estado de madurez comercial con recubrimiento a base de alginato

Tratamientos	Mohos y Levaduras (UFC/g)		Mesófilos (UFC/g)		Coliformes totales (UFC/g)	
	1 ^{er} día	15 ^{vo} día	1 ^{er} día	15 ^{vo} día	1 ^{er} día	15 ^{vo} día
Control	NP	3.8×10^5	2.6×10^4	3.7×10^3	NP	6×10^2
Formula 1	NP	4×10^3	2×10^3	3.2×10^3	NP	NP
Formula 2	NP	1.7×10^3	5×10^3	4×10^3	NP	NP
Formula 3	NP	1×10^3	3×10^3	1.9×10^3	NP	NP
Formula 4	NP	6×10^2	3×10^3	4.4×10^4	NP	NP

NP= No presente, F1= (alginato 0.5%/aceite esencial 0.25%), F2= (alginato 0.5%/aceite esencial 0.5%); F3= (alginato 1%/aceite esencial 0.25%); F4= (alginato 1%/aceite esencial 0.5%).

Para el primer día de almacenamiento en la cuantificación de mohos y levaduras tanto en el control como en los cuatro tratamientos no presentaron cuenta microbiana, sin embargo al final de la experimentación que fueron quince días después, si presentaron mohos y levaduras teniendo mayor carga microbiana el control con 3.8×10^5 UFC/g, al contrario de esta la que menor presento fue alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% con 6×10^2 UFC/g seguida de alginato 1%/aceite esencial de limón 0.25% con 1×10^3 UFC/g, y con los tratamientos con recubrimientos comestibles que tuvieron en su formulación menor % de alginato que son alginato 0.5%/aceite esencial de limón 0.25 y 0.5% obtuvieron mayor cuenta que respecto a las que tenían mayor % de alginato con valores de 4×10^3 UFC/g y 1.7×10^3 UFC/g, respectivamente.



Resultados y discusión

Durante el primer día de almacenamiento no hubo presencia de mohos y levaduras, por lo que indicó que la manipulación fue la adecuada durante el proceso, otro de los factores fue que para el estado de madurez fisiológico la presencia de estos microorganismos se debe a condiciones de pH ácidos, por lo que al trabajar con un mango de madurez comercial este parámetro se encuentra más a la basicidad, inhibiendo una de las condiciones necesarias para la proliferación de este tipo de microorganismos.

El conteo para mesófilos aerobios se mantuvo casi constante tanto al inicio como al final del almacenamiento, destacando que en el control fue la que mayor presentó cuenta microbiana con 2.6×10^4 UFC/g y los tratamientos se mantuvieron por debajo de este valor que comprende entre los $3-5 \times 10^3$ UFC/g.

Al término de la experimentación los valores de este parámetro se encontraban entre los $1.9-3.7 \times 10^3$ UFC /g incluyendo al control con excepción de alginato 1%/aceite esencial de limón 0.5% que aumentó hasta llegar a 4.4×10^4 UFC/g. Esta debido a que tiene la mayor concentración de alginato provocando que haya mayor concentración del sustrato ideal para la proliferación de este microorganismo, por lo que se presentó menor carga para el fruto control debido a que no está recubierto y el único sustrato disponible que se encuentra es el propio tejido del mango.

Por último no se detectaron coliformes totales al inicio del almacenamiento ni en el control ni en los tratamientos, para el quinceavo día de conservación con excepción del control con 6×10^2 UFC/g en los tratamientos no se presentaron coliformes totales. Durante las tres pruebas microbiológicas se observó que la formulación al 1% de alginato y 0.5% de aceite esencial de limón fue la que mejor inhibió la carga microbiológica, durante la vida de anaquel del mango fresco cortado.



Conclusiones



Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede concluir lo siguiente:



El establecer un estado de madurez óptimo del mango ‘Manila’ permitió obtener un producto cortado listo para consumir con aplicación de recubrimiento comestible con una mayor vida de anaquel y mejores características de calidad.



El ácido cítrico al 0.5% y el ascórbico al 1% permitieron controlar el pardeamiento enzimático causado por las enzimas PPO y POD en mangos frescos cortados listos para consumir.



La aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina y de alginato en los estados de madurez comercial y fisiológica aumentó el contenido de vitamina C hasta cinco veces más en el mango fresco cortado listo para consumir, incrementando su valor nutricional del producto.



Los recubrimientos comestibles con grenetina y alginato aplicados a mango fresco cortado listo para consumir, no tuvieron un efecto significativo en los parámetros de calidad como pH, acidez y sólidos solubles; sin embargo se observó un efecto significativo en la luminosidad, liberación de líquido que permitió mejorar la apariencia del producto.



El recubrimiento al 2% de grenetina y 0.25% de aceite de limón mejoró la calidad del mango fresco cortado listo para consumir en estado de madurez fisiológico prolongando el tiempo de almacenamiento durante 12 días, presentando una mayor aceptación por parte de los panelistas y una buena calidad microbiológica.



Conclusiones



El recubrimiento a base de 0.5% alginato y 0.25% de aceite esencial de limón mejoró la calidad del mango fresco cortado listo para consumir en el estado de madurez comercial proporcionándole mayor firmeza, color y apariencia, alargando su vida útil hasta 15 días a 4°C, con una buena aceptación sensorial y presentando una aceptable calidad microbiológica.



Recomendaciones

Recomendaciones

Para continuar con esta misma línea de investigación se recomienda lo siguiente:

- 🌻 Evaluar propiedades de barrera o permeabilidad del recubrimiento a los gases (CO₂, O₂) tanto para la gretina como para el alginato.
- 🌻 Evaluar la interacción del recubrimiento comestible con algún otro tipo de envase biodegradable.
- 🌻 Realizar pruebas *in vitro* del aceite esencial para establecer su papel como agente antifúngico
- 🌻 Realizar un estudio sobre el potencial antioxidante que se ve disminuido al cortar un fruto.
- 🌻 Evaluar el efecto del recubrimiento comestible en otras variedades de mango o de otros frutos.
- 🌻 Evaluar otro tipo de recubrimiento comestible como la goma gelana, mucílago de nopal, suero de proteína sobre la calidad de los frutos frescos cortados listos para consumir.
- 🌻 Hacer un estudio microbiológico más específico sobre los microorganismos patógenos como: *Escherichia coli*, *Listeria monocitogenes*, *Salmonella spp* para ver el efecto antibacteriano de los aceites esenciales y asegurar la inocuidad del producto.
- 🌻 Estudiar otro tipo de agentes antioxidantes inhibidores de la actividad enzimática adicionados en un recubrimiento comestible como: N-acetilcisteína, ácido tetracético.



Referencias



Referencias

- 1 Ahvenainen R. (1996). *Ready to use vegetables a new product, a new challenge. En: Vortragsband of Flair-Flow Workshop der gesundheitliche Wert des Gemusekonsum.*47-61.
- 2 Albino Cornejo G. (2007). “*Práctica N°4. Método directo de determinación de microorganismos mesófilos viables*”. Escuela Profesional de Biología. Disponible en:
<[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0vbq6k0E6_QJ:www.scribd.com/doc/6455229/Microbiologia-de-Alimentos-Practica-n-04Metodo-directo-de-determinaciondemomesofilosviables+deficiente+manipulaci%C3%B3n+durante+el+proceso+de+elaboraci%C3%B3n,+la+inmediata+alteraci%C3%B3n+del+producto+\(Albino,+2007\).&cd=1&l=es&ct=clnk&source=www.google.com](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0vbq6k0E6_QJ:www.scribd.com/doc/6455229/Microbiologia-de-Alimentos-Practica-n-04Metodo-directo-de-determinaciondemomesofilosviables+deficiente+manipulaci%C3%B3n+durante+el+proceso+de+elaboraci%C3%B3n,+la+inmediata+alteraci%C3%B3n+del+producto+(Albino,+2007).&cd=1&l=es&ct=clnk&source=www.google.com)>. Fecha de consulta: 20/11 /2010.
- 3 Alzamora, S. M.; Tapia, M. S. y A. López-Malo (2000). *General overview. In: Minimal Processing of Fruit and Vegetables. Fundamental Aspects and Applications.* Alzamora SM, Tapia, MS, López-Malo, A (eds). pp 1-6. Maryland, USA: Aspen Publishers, Inc.
- 4 AOAC (1994). *Methods of analysis.*14th USA. Association of the official Analytical Chemistry. Washington, D.C.
- 5 Artés Hernández, F.; Tudela, J. A. y R. Villaescusa (2000). Thermal posharvest treatments for improving pomegranate qualite and shelf life. *Postharvest Biology Technology*, 3: 245-251.
- 6 Artés, F.; Gil, M. I.; Castañer, M.; Ferreres, F. y F. A. Tomás-B (1996). *Organics acids as inhibitors of browning in minimally processed lettuce.* EFFOSTGDL. Minimal Processing of Foods. Cologne. Alemania.
- 7 Artés, F.; Castañer, M. y M. I. Gil (1998). Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food Science and Technology International*, 4(6): 377-389.
- 8 Artés-Calero, F.; Aguayo, E.; Gómez, P. y F. Artés Hernández (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Revista Horticultura.* Extra Post-cosecha.
- 9 Ashie, I. N. A.; Simpson, B. D. y J. M. Smith (1996). Mechanism for controlling enzymatic reactions in food. *Revista Food Science Nutrition.* 36:1-30.



- 10 Astiasaran, I y J. A. Martínez (2003). *Alimentos composición y propiedades*. Mc. GRAW-HILL. España.
- 11 Ayaz, F. A.; Demir, O.; Torun, H.; Kolcuaglu, Y y A. Colak (2008). Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruits during ripening and over ripening. *Food Chemistry*. 106:291-298.
- 12 Badui, D. S. (1999). *Química de los alimentos*, Addison Wesley y Logman de México.
- 13 Badui, D., S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson. México.
- 14 Baldwin, E. A.; Nispero-Carriedo, M. O. y R. A. Baker (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *Hort. Science*, 30: 35-38.
- 15 Baldwin, E. A.; Nispero-Carriedo, M. O.; Chen, X. y R. D. Hagenmaier (1996). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Post. Biol. Technol*, 9:151-163.
- 16 Baquero-Duarte, L. E.; Castro-Rivera, J. A. y C. E. Narváez-Cuenca (2005). Catalase, Peroxidase and Polyphenol oxidase from Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Fruits: Ripening and Senescence. *Acta Biológica Colombiana*. 10(2): 49-59.
- 17 Benavides, C. (2002). *Quintina-Quitosana: Los polímeros del futuro*. SENA-CDT-Regional Valle, Cali, pp. 6-61.
- 18 Berlitz, H. D. y W. Grosh (2004). *Química de los alimentos*. Acribia. Zaragoza.
- 19 Bosques-Molina, E. y E. J. Vernon-Carter (2005). Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla. *Revista mexicana de Ingeniería química*. 4: 157-164.
- 20 Cano, M. P.; Marín, M. A. y C. Fúster (1997). Differences among Spanish and – Latin American bananas cultivars: Morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*. 59:411-419.
- 21 Cano, M. P.; De Ancos, B. y C. Sánchez (2005). Altas presiones. Nueva alternativa para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. Simposium: “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados”. La Habana, Cuba.



- 22 Carpenter, P. R.; Lyon, H. D y T. A. Hasdell (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de calidad de alimentos*. Acribia, España.
- 23 Castillo Martínez, W.; Esquivel Paredes, L.; Aguirre Vargas, E. y W. D. Símpalo López (2005). Efecto de películas de quitosano en la vida útil de mango (*Mangifera Indica L.*) mínimamente procesado. *Revista del Encuentro Científico Internacional*. 2(2):91-94.
- 24 Castro, N.; Chaldez, Q. C.; Rubio, C. W. y T. J. Valdez (2004). Sobrevivencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en frutos mínimamente procesados. *Revista Cubana Salud Pública*. 1: 13-15.
- 25 Castro, R. A. y G. H. González (2010). *Evaluación fisicoquímica de la efectividad de un recubrimiento comestible en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana L.* var. Colombia)*. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Cll. 170 No. 54A -10.
- 26 Cha, D. S. y M. S. Chinnan (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A Review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 44:223-237.
- 27 Chauchan, K.; Tayagi, M. y D. Sing (2001). Pectinolytic liquefaction of apricot, plum and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*. 4: 103-109.
- 28 Chavarrias, M. (2009). Barreras naturales contra patógenos. *Rev Eroski Consumer*.
- 29 Debeaufort, F.; Quezada Gallo, J. A. y A. Voilley (1998). Edible films and coatings: Tomorrow's packagings. A review. *Critical Reviews in Food Science*. 38(4): 299-313.
- 30 Diseño en el sector hortofrutícola. *Nuevos sistemas de envasado adaptados a los nuevos productos*. Disponible en <<http://www.ainiadisal.es/default.aspx>> Fecha de consulta: 15/03/2010.
- 31 Dzieza, J. D. (1986). Preservative systems in foods antioxidants and antimicrobial agents. *Food Technology*. 40 (9): 94-136.
- 32 Eissa, H. A.; Fadel, H.; Ibrahim, G. E.; Hassan, I. M. y A. A. Elrashid (2006). Thiol containing compounds as controlling agents of enzymatic browning in some apple products. *Food Research International*. 39 (8): 855-863.



- 33 Fischer, G. y O. Martínez. (1999). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana*. 16(1-3): 35-39.
- 34 Food Agricultural Organization (FAO) (2003). Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables CAC/RCP. Retrieved February 7, 2006. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do>. Fecha de consulta: 12/02/2011.
- 35 Food and agricultural organization (FAO) (2005). Base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <<http://apps.fao.org/faostat>>. Fecha de consulta: 06/05/2010.
- 36 Food and agricultural organization (FAO) (2010). Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de Mango. Disponible en: <<http://apps.fao.org/faostat>> Fecha de consulta: 30/04/2010.
- 37 Food Drug and Administration (FDA) (2001). Analysis and evaluation of preventive control measures for the control and reduction/elimination of microbial hazards on fresh and fresh-cut produce. Disponible en: <<http://vm.cfsan.fda.gov/~commift3-toc.html>>. Fecha de consulta: 21/02/2011.
- 38 Giraldo, G. y A. Germán (2006). El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. ISSN: 0121-4004.
- 39 Golan-Goldhirsh, A. y J. R. Whitaker (1992). Relation between structure of polyphenol oxidase and prevention of browning. *Advances in Exp. Medical Biol. New York, N.Y.: Plenum Press*. 177: 437-456.
- 40 González-Aguilar, G. A.; Cuamea-Navarro, F. y A. Gardea (2005). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. (CIAD, AC); Logiprint Digital, Jalisco, México. pp. 558.
- 41 González-Aguilar, G. A.; Ruíz-Cruz, S.; Cruz-Valenzuela, S.; Rodríguez-Félix, A. y Wang Y. C. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agent. *Food Sci. Technol.-Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie* 37:369-376.



- 42 González-Aguilar, G. A.; Valenzuela-Soto, E.; Lizardi-Mendoza, J.; Goycoolea, F.; Martínez-Téllez, Miguel A.; Villegas-Ochoa, Mónica A.; Monroy-García, Imelda N. y J. Fernando Ayala-Zavala (2008). Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89(1):15–23.
- 43 González-Aguilar, G. A.; Villegas-Ochoa, M. A.; Martínez-Téllez, Garden A. A. y J. F. Ayala-Zavala (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *J. Food Sci.* 72:197-202.
- 44 González-Aguilar, G. A.; Wang, C. Y. y J. G. Buta (2000). Maintaining Quality of Fresh-Cut Mangoes Using Antibrowning Agents and Modified Atmosphere Packaging. *J. Agric. and Food Chem.* 48(9):4204-4208.
- 45 González-Aguilar, G. A.; Wang, C. Y. y Buta, J. G. (2001). Inhibition of browning and decay of fresh-cut radishes by natural compounds and their derivatives. *U-Technol.* 34(5): 324-328.
- 46 Guilbert, S. y B. Biquet (1996). Edible films and coatings in Food packaging technology. G. Bureau, JL Multon. New York: Publishers, Inc.
- 47 Hormazabal Torres, P. A. (1999). *Efecto de la IV gamma en la mezcla de lechuga (Lactuca sativa) tipo escarole y palta (Persea Americana Mill) cus edranol, hass y negra de la cruz*. Tesis de licenciatura de Alimentos. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- 48 IBPGR. (1986). Genetic resources of tropical and subtropical fruits and nuts. *Secretariat Rome*. pp. 43-46.
- 49 INFOAGRO (2007). El cultivo de mango. En: Las frutas tropicales. Disponible en: <http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm.> Fecha de consulta: 22/07/2010.
- 50 Lamikanra O. (2002). *Fresh-cut fruits and vegetables. Science, Technology and Market*. CRC PRESS, USA.
- 51 Laurila, E.; Kervinen, R. y R. Ahvenainen (1998). The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. Review article. *Postharvest News and Information*. 9(4): 53-66.
- 52 Lee, J. Y.; Park, H. J.; Lee, C. Y. y W. Y. Choi (2003). Extending shelf life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 36: 323–329.



- 53 León Aparicio A. (2009). “*Propuesta tecnológica para la conservación del Champiñón (Agaricus bisporus) refrigerado mínimamente procesado*”. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
- 54 León-García, L.; Barbosa-Martínez, C. y C. López-Chávez (2003). Elaboración del programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el estado de Guerrero cadena agroalimentaria del mango. Red para el Desarrollo Sostenible de México, A. C.
- 55 Liangji, Xu (2008). Uso de Ozono para mejorar la seguridad de frutas y vegetales frescos. *Revista Mundo Alimentario*. pp. 7-13.
- 56 Lobo, M. G. y M. González (2003). Productos hortícolas mínimamente procesados. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, España.
- 57 López, M. y J. Moreno (1994). IV Gama en España. *HortofruticulturA*. 3: 33-35.
- 58 Lowry, O. H.; Rosebrough, N. J.; Farr, A. L. y R. J. Randall (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology and Chemistry*. 193: 265 – 275.
- 59 Luchsinger, L.; Miranda, P. y Reginato, G. (2001). Tasa de producción de etileno y su relación con la maduración del fruto en variedades tempraneras de nectarinos. *Tecnología Postcosecha*, (3) 2:185-194.
- 60 Mac Donald, L. y C. L. Schaschke (2000). Combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana. *J. Sci. Food Agric*. 80: 719-724.
- 61 Martín Belloso, O. y G. Oms-Oliu (2005). Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados” La Habana, Cuba 2005.
- 62 Martínez-Ferrer, M.; Harper, C.; Pérez-Muroz, F. y M. Chaparro (2002). Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science*. 67(9):3365-3371.
- 63 Martínez Ruíz, F.; Castillo Jurado, S.; Carmona Chiara, E. y M. Avilés Guerrero (2009). Effect of Soilless Growing Systems on the Spread of *Verticillium Dahliae* and the Severity of the *Verticillium Wilt* in Strawberry. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7(2): 447-453.



- 64 Mastrocola, D. y C. R. Lereci (1991). Colorimetric measurements of enzymatic and non-enzymatic browning in Apple purees. *Int. J. Food Sci.* 3: 219-229.
- 65 Miranda, M. (2003). Comportamiento de películas de Quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México.* 47(4): 331-336.
- 66 Mitra, S. K. y E. A. Baldwin (1997). Mango. En: Postharvest Physiology and storage of tropical and subtropical fruits. Mitra, S.K. (ed.). pp. 297-308. CB Internacional NY EU, 95.
- 67 Monsalve-González, A.; Barbosa-Cánovas, G. V. y R. P. Cavalieri (1993). Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. *J. Food Sci.* 58(5):1118-1124.
- 68 Montiel Rosales, M. C. (2009). “Mejora de la calidad de piña mínimamente procesada con tratamiento por irradiación UV-C”. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.
- 69 Morales Zavala, J. y A. N. Salazar Rangel (2001). “Estimación del efecto antifúngico de una película sobre los parámetros de calidad y grado de madurez de la fresa fragaria variedad solano durante su vida útil”. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.
- 70 Navarrete González K. (2009). *Aplicación de un recubrimiento a base de gelatina para preservar la calidad de la zarzamora (Rubus Frocticosus) almacenada en refrigeración lista para consumir.* Tesis de licenciatura de Ingeniería en Alimentos. UNAM, Cuautitlán Izcalli.
- 71 NMX-FF-058-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – fruta fresca – mango (*Mangifera indica L.*) – Especificaciones. Disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/98/NMX_MANGO.pdf>. Fecha de consulta: 29/02/2010.
- 72 NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Norma Oficial Mexicana. Disponible en:
<<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>>. Fecha de consulta: 29/01/2011.



- 73 NOM-093-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos. Norma Oficial Mexicana. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/093ssa14.html>. Fecha de consulta: 29/01/2011.
- 74 NOM-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Mohos y Levaduras en alimentos. Norma Oficial Mexicana. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>. Fecha de consulta: 29/01/2011.
- 75 NOM-113-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Microorganismos coliformes totales en placa. Norma Oficial Mexicana. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>. Fecha de consulta: 29/01/2011.
- 76 Ojeda, G. A. y S. C. Sgroppo (2009). Aplicación de una película comestible en batatas trozadas. Tesis de licenciatura de alimentos. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- 77 Olivas, G. I. y G. V. Barbosa-Cánovas (2005). Edible coating for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 45: 657-670.
- 78 Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R. y O. Martín-Belloso (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 1862-1870.
- 79 Oms-Oliu, G.; Rojas-Graü, M. A.; Alandes, L.; Varela, P.; Soliva-Fortuny, R.; Hernando, M. I.; Pérez, I.; Fiszman, S. y O. Martín-Belloso (2010). Recent approaches using Chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology.* 57: 139-14.
- 80 Park, H. J. (1999). Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends Food Sci. & Technol.* 10:254-260.
- 81 Pearson, D. (1998). *Técnicas de Laboratorio para el análisis de alimentos*, 3^{ra} ed. Acribia, España, Zaragoza.
- 82 Pérez, G. y O. Ramírez (2010). Efecto del tratamiento por irradiación gamma en los parámetros de la calidad de mango Manila para exportación. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.



- 83 Pérez-Gago, M. B.; Rojas, C. y M. A del Río (2002). Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of Mandarins cv. Fortune. *Journal of Food Science*. 67:2903-2910.
- 84 Pérez, L. M. (2008). *Mantenimiento de la calidad y control de antracnosis de mango "Ataulfo" aplicando irradiación UV-C*. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- 85 Puschmann, Rolf; Simões Adriano, D. N.; Moreira Silvino, I.; Soares Nilda, De F. F.; Carnellosi Marcelo, A. G. y I. Gil María (2007). Calidad y actividad de la fenilalanina amonioliasa (pal) en minizanaahoria con recubrimiento comestible antimicrobiano. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- 86 Pizzocaro, F.; Toregiani, D y G. Gilardi (1993). Inhibition of apple polyphenol oxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *J. Food Process Preserv.* 17:21-30.
- 87 Ponting, J. D.; Jackson, R. y G. Watters (1960). Refrigerated apple slices: preservative effects of ascorbic acid, calcium and sulphites. *Journal of Food Scienc.* 37(3): 434-436.
- 88 Poovaiah, B. W. (1986). Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technol.* 40 (5): 86-89.
- 89 Prasanna, V.; Prabha, N. y N. Traranathan (2007). Fruit ripening phenomena – an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutricion.* 47:1-19.
- 90 Primo-Yúfera, E. (1997). *Química de los alimentos.Síntesis*. Madrid, España.
- 91 Queiroz, C.; López, M. L.; Fialho, E. y V. L. Valente-Mesquita (2008). Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews Internacional.* 24: 361-375.
- 92 Quintero-Salazar, B. y E. Ponce-Alquicira (2009). Empaques y Recubrimientos con actividad antimicrobiana adicionados con bacteriocinas y su aplicación. *Revista Carnilac Industrial.* 9-15.
- 93 Ramírez, E. C. y J. R. Whitaker (2003). *Polyphenol oxidase. Handbook of Food Enzymology*. Marcel Dekker Inc., New York.



- 94 Raybaudi, R. (2006). *Uso de sustancias antimicrobianas naturales en combinación con compuestos estabilizadores de la calidad para controlar microorganismos patógenos y extender la vida útil de las frutas frescas cortadas*. Departamento de Tecnología de Alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria: Universidad de Lleida.
- 95 Real decreto español 3484/2000 de 29 diciembre del (2000). *Por el que se establece las normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas*.
- 96 Restrepo F., Jorge I. e Iván D. Aristizábal T. (2010). Conservación de fresa (*fragaria x ananassa duch cv. camarosa*) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*aloe barbadensis miller*) y cera de carnauba. *Revista de la Facultad de química farmacéutica*. 17(3):2145-2660.
- 97 Reynosa Ocampo C. A. (1998). *Los antioxidantes en alimentos perspectiva de aplicación*. Tesis de Ingeniería de alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México.
- 98 Richardson, T. y D. B. Hyslop (1985). *Enzymes in Food Chemistry*. 2nd ed. (O.R. Fenema, ed.), Marcel Dekker, E.U.A.
- 99 Robles Ozuna, L. E.; Goycoolea, F. M.; Silveira, M. I. y L. C. Montoya B (2007). Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia Ficus Indica*) y efecto sobre su calidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6(002):193-201.
- 100 Robles-Sánchez, M.; Gorinstein, S.; Martín Belloso, O.; Astiazarán-García, H.; Reynaldo Cruz Valenzuela y G. A. González-Aguilar (2007). Frutos Tropicales Minimamente Procesados: Potencial Antioxidante y su Impacto en la Salud. 32(4):227-232.
- 101 Rojas-Graü, M. A.; Avena-Bustillos, R. J.; Friedman, M.; Henika, P. R.; Martín-Belloso, O. y T. H. McHugh (2007). Mechanical, barrier and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 54(24): 9262-9267.
- 102 Rojas-Graü, M. A.; Sobrino-López, A.; Tapia, M. S. y O. Martín-Belloso (2006). Browning inhibition in fresh-cut 'Fuji' apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*. 71(1): S59-S65.



- 103 Romero de Ávila, M. D.; Sánchez González, I.; De la Llana Martín, A. y M. Gil Pavía (2006). *Innovaciones en el procesado de alimentos: tecnologías no térmicas*. Universidad Complutense de Madrid. *Rev. Med. Univ. Navarra*. 50(4): 71-74.
- 104 Ruíz-Cruz, S. (2004). *Uso de agentes antioxidantes y envasado en atmósferas modificadas para mantener la calidad de rodajas de piña fresca*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación e Alimentación y Desarrollo. A. C.
- 105 Sakai, T.; Sakamoto, T.; Hailaert, J. y J. Vandamme (1993). Pectin, pectinase and protopectinase: production, properties and applications. *Advances in Applied Microbiology*. 39: 213-294.
- 106 Salveit, M. E. (1997). *Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables*. p. 205-220. In: F. A. Tomás-Barberán and R. J. Robins (eds.). *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Oxford University Press. London.
- 107 San Ramón Sánchez, A. (1997). *Atmósferas modificadas una alternativa para la conservación de frutas y hortalizas frescas*. Tesis de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.
- 108 Schlimme, D. (1995). Marketing lightly processed fruits and vegetables. *Hort. Science*. 30(1): 15-17.
- 109 Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER) (2005). *Paquete tecnológico para el cultivar de Mango en el estado de Colima*. Disponible en: <<http://seder.col.gob.mx/paquetes/MANGO.pdf>>. Fecha de consulta: 23/05/2010.
- 110 Shaw, E.; Chan, T. y S. Nagy (1998). *Tropical and Subtropical fruits*. A.G. Science Inc. USA
- 111 Stafford, A.E. (1983). Mango. in: H.T. Chan, Jr. (ed.). *Handbook of tropical foods*. (pp. 399-431) Marcel Dekker, Inc., New York.
- 112 SIAP/SAGARPA (2007). Análisis de la estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortícolas y frijol. Disponible en: <<http://www.siap-sagarpa.gob.mx/>>. Fecha de consulta: 29/06/2010.
- 113 SIAP/SAGARPA (2010). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Resumen nacional de producción agrícola de mango. Disponible en: <<http://www.siap.gob.mx/>>. Fecha de consulta: 03/06/2010.



- 114 Sichmann, H. L.; Saavedra, A. J. y R. A. Kluge (2006). Caracterización físico-química e sensorial del kivi mínimamente procesado almacenados sob refrigeración, *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 8(1): 26-32.
- 115 Son, S.; Moon, K. y C. Lee (2001). Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chem.* 73: 23-30.
- 116 Tapia, M. S.; Rojas-Graü, M. A.; Carmona, A.; Rodríguez, F. J.; Soliva-Fortuny, R. y O. Martín-Belloso (2008). Use of alginate and gellan based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*. 22(8): 1493-1503.
- 117 Teullado-Llavador, I.; González-Pastor, J. y B. Morant-Roig (2005). Un estudio de la situación actual de las frutas de IV gama abarcando los aspectos de mayor repercusión en cuanto a la calidad organoléptica y nutricional. *Revista Horticultura Tecnológica de Postcosecha*. 188: (41-53).
- 118 Tharanathan, R. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review Biotechnology*. 22:65-84.
- 119 Torres Oquendo, J. D. (2007). *Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (Mangífera indica L.)*. Tesis doctoral de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- 120 Trezza, T. A. y J. M. Krochta (2001). Specular Reflection, Gloss, Roughness and Surface Heterogeneity of biopolymer Coatings. *J. Applied Pol. Sci.* 79:2221–2229.
- 121 Uquiche, E.; Villarroel, M. y L. Cisneros-Zevallos (2000). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (*Capsicum annuum*) durante el almacenamiento. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*. 52: 84-90.
- 122 Vámos- Vigyázó, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. CRC. *Critical Review of Food Nutrition*. 15:49-127.
- 123 Vargas, M.; Albors, A.; Chiralt, A. y C. González-Martínez (2009). Characterization of chitosan-oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*. 23: 536-547.
- 124 Villada, H.S.; Acosta, H. A. y R. J. Velasco (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*. 12:5-12.



- 125 Watada, A. E.; Abe, K. y N. Yamauchi (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 44(5):116-122.
- 126 Whitaker, J. R. (1994). Principles of enzymology for the food sciences. 2nd ed. *Marcel Dekker. Inc.* 61:543-555.
- 127 Wiley, R.C. (1997). *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas.* Acribia, España.
- 128 Wong, W. S. (1995). *Pectic enzymes. In: Food Enzymes. Structure and mechanisms.* Chapman and Hall, New York.
- 129 Wu, Y.; Rhim, J. W.; Weller, C. L.; Hamouz, F.; Cuppett, S. L. y M. Schnepf (2002). Development and application of multicomponent edible coatings and films: A review. *Adv Food Nutricion Research.* 44:347-394.