



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS DEL  
CENTRO DE LA REPÚBLICA (PROPAC)

## **Estudio de la aplicación de alternativas tecnológicas para incrementar la vida de anaquel de mango Manila (*Mangifera indica* L.) en estado fresco**

### **TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos

#### **Presenta:**

I.Q en A. Dalia Vázquez Celestino

#### **Dirigido por:**

Dr. Edmundo M. Mercado Silva

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre 2012  
México



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Estudio de la aplicación de alternativas tecnológicas para incrementar la vida de anaquel de mango Manila (*Mangifera indica* L.) en estado fresco**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Presenta:**

I. Q. en A. Dalia Vázquez Celestino

**Dirigido por:**

Dr. Edmundo M. Mercado Silva

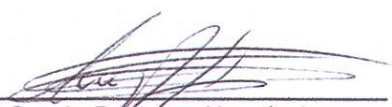
Dr. Edmundo Mercado Silva  
Presidente

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios  
Secretario

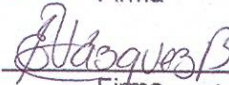
Dr. Ramón Alvar Martínez Peniche  
Vocal

Dr. Eduardo Castaño Tostado  
Vocal

Dra. Rosalía Reynoso Camacho  
Suplente

  
M.S.P. Sergio Pacheco Hernández  
Director de la Facultad


  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Dr. Irineo Torres Pacheco  
Director de Investigación  
y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre 2012  
México

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro bajo la asesoría del Dr. Edmundo Mercado Silva.

**“Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos un inmenso océano. La admirable disposición y armonía del universo, no ha podido sino salir del plan de un Ser omnisciente y omnipotente”**

**Isaac Newton**

## RESUMEN

El mango 'Manila' es la segunda variedad más importante producida en México, tiene alta calidad sensorial y preferencia dentro de los consumidores. No obstante, este cultivar no participa en el mercado de exportación debido a su corta vida de anaquel y a su alta sensibilidad a los tratamientos cuarentenarios tradicionales en agua caliente. Se ha demostrado que esta variedad responde favorablemente al tratamiento de irradiación como tratamiento cuarentenario pero aún no se ha logrado aumentar su vida poscosecha y disminuir su alta tendencia a la pérdida de humedad y firmeza. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la aplicación de diferentes técnicas poscosecha compatibles con los tratamientos cuarentenarios autorizados para desarrollar un procedimiento industrial que permitirá alargar la vida de anaquel y disminuir su pérdida de humedad y mantener su firmeza. Un total de 480 frutos de mango 'Manila' procedentes de Guerrero, México, en estado de madurez  $\frac{3}{4}$  y tratados a 53 °C por 6 min se distribuyeron en un experimento completamente al azar de cuatro factores (irradiación, 1-MCP, bolsa microperforada y temperatura de almacenamiento) a dos niveles (Irradiados y sin irradiar, con y sin 1-MCP, con y sin bolsa y 13 °C y transferencia de 13 a 20 °C) y después almacenados durante 23 días. Durante el almacenamiento se analizó la calidad visual, pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, acidez y las actividades enzimáticas pectinesterasa y poligalacturonasa. Después de 17 días, la pérdida de peso en frutos no empacados en bolsas microperforadas y transferidos de 13 °C a 20 °C, perdieron más peso (9.2-10.1 %) respecto de aquellos que fueron empacados en bolsas y almacenados a 13 °C (4.0-4.7 %); la irradiación y la aplicación de 1-MCP no tuvieron efectos en esta variable respuesta, en ese mismo periodo de muestreo, la firmeza no se vio afectada por los factores estudiados, alcanzando valores de 5.5 a 7.2 N al final del periodo de almacenamiento. Las actividades enzimáticas de pectinesterasa y poligalacturonasa en la epidermis no se correlacionaron con el proceso de marchitez y/o ablandamiento de los frutos.

Palabras clave: Mango 'Manila', pérdida de peso, marchitez, bolsa microperforada.

## ABSTRACT

'Manila' mango is the second most important variety grown in Mexico. It has high sensory quality and is preferred by consumers. However, this cultivar is not offered on the export market due to its short shelf life and high sensitivity to traditional quarantine hot water treatments. It has been shown that this variety responds favorably to irradiation treatment but increasing its post-harvest life or reducing its high moisture loss and firmness tendency has not yet been achieved. The aim of this work was to study the application of different post-harvest techniques compatible with the approved quarantine treatments to develop an industrial process that would extend the shelf life, decrease moisture loss and maintain firmness in 'Manila' mangoes. A sample of 480 'Manila' mangoes from Guerrero, Mexico at  $\frac{3}{4}$  ripeness maturity were treated at 53 °C for 6 min. and then separated in a completely random experiment with four factors: irradiation, 1-MCP, microperforated bags and storage temperature at two levels, irradiated and non-irradiated, with and without 1-MCP, with and without bags at 13 °C and transfer from 13 °C to 20 °C, and then stored for 23 days. During storage period samples of fruits were analyzed for their external and internal visual quality, weight loss, color, firmness, total soluble solids, acidity and pectinesterase, and polygalacturonase activities. After 17 days, the weight loss in fruits not packed in micro perforated bags and transferred from 13 °C to 20 °C was higher (9.2-10.1 %) than those which were packed in microperforated bags and stored at 13 °C (4.0-4.7 %) while irradiation and 1-MCP application had no effect. Firmness was not affected by the factors studied and reached values of 5.5 - 7.2 N at the end of the storage period. The enzymatic activities of pectinesterase and polygalacturonase in the skin were not correlated with the processes of wilting and/or softening of the fruits.

Keywords: 'Manila' mango, weight loss, wilting, microperforated bag.

# DEDICATORIA

**A mis padres, las personas que me dieron la vida y siempre han estado apoyándome incondicionalmente, y a quienes nunca podré pagar ni con las riquezas más grandes del mundo todos los sacrificios que han hecho para que nunca nos faltara nada. Los quiero con todo mi corazón.**

**Por ellos y para ellos !!!**

# AGRADECIMIENTOS

## A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. Por dejarme culminar una más de mis metas y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

## A mis padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida. A ti Mamá, por todas tus oraciones, consejos y palabras de aliento que me ayudaron a salir adelante de todas las dificultades que se me presentaron. A ti Papá, por creer en mí, por brindarme la confianza para seguir estudiando fuera de casa y por todo el interés que mostraste en mi trabajo.

## A mis hermanas Cynthia y Bere y mi sobrinito Fer

Por siempre estar ahí y representar la unidad familiar, por todos esos momentos tan divertidos que hemos pasado juntas, y también los momentos de tristezas, pero sobre todo gracias porque siempre han estado conmigo, apoyándome y dándome ánimos para seguir adelante. Espero ser la hermana que ustedes se merecen. Las quiero y las admiro mucho. Fer: Por ser tan especial, por todos esos momentos de risa, juegos, bailes y locuras que me alegraron... y lo siguen haciendo. Te quiero muchísimo mi bebé hermoso!!!



## A David

Por siempre estar conmigo, tanto en la buenas y en las malas, por ser mi mejor amigo y esa personita tan especial!!!! y por su paciencia y amor incondicional. Ich liebe dich Von ganzem Herzen Froschgesicht!!!!

## A mi familia

A Mi abue, mi cuñado Lalo, mis tíos y primos, que estuvieron pendientes de mi avance en la realización de mi proyecto y que siempre me dieron buenas vibras para seguir adelante.

## A mi asesor Dr. Edmundo Mercado Silva

Por todo el apoyo que me dio durante la realización de este proyecto, por confiar y creer en mi capacidad, por haberme compartido un poquito de su gran sabiduría.

## A la Dra. Estela Vázquez Barrios

Por ser más que una maestra, una gran amiga, por todo el apoyo que siempre mostró, por la confianza brindada, por sus consejos y ánimos, Muchas Gracias!!!

## A mis sinodales

Dra. Rosalía Reynoso Camacho, Dr. Ramón Alvar Martínez Peniche y Dr. Eduardo Castaño Tostado Por su apoyo y comentarios para la realización de este proyecto.

## A mis amigos y amigas

Por compartir los buenos y malos momentos, por el apoyo que me brindaron y porque aún después de algunos años... seguimos siendo amigos. Por sus palabras de ánimo, por las risas y por los buenos momentos que quedarán por siempre en el recuerdo!!! Especialmente quiero agradecer a Kary, Ary, Salo, Gato, Amigui y Rodrigo xq, sin importar la distancia, siempre estuvieron cuando más los necesité!!!!.

## A mis compañeros

De laboratorio, los que aún continúan (David, Teresita, Humberto, Gisela, Devi, José Luis, Néstor y Ana) y a los que tomaron diferentes rumbos (Eva, Ale, Mariana, Lupita, Caro, Norma, Claudia y Caro), ya que sin ustedes, no habría sido posible terminar mi trabajo experimental, muchas gracias por su ayuda, por los momentos de risas y todos esos convivios divertidos. A mis compañeros y amigos de generación y del PROPAC, especialmente a mi amiguito Fer Iván.

## Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

## A Mango Board

Por su apoyo brindado al proyecto "Estado de la tecnología poscosecha de mango cv 'Manila' en México".

Por último, quiero agradecer a esta Universidad por permitirme seguir creciendo en todos los aspectos de mi persona, por darme la

oportunidad de conocer a todas esas personas importantes en mi vida y finalmente, porque aquí he vivido la mejor etapa de mi vida.

## ÍNDICE

	Página
RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	viii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
II.1 Antecedentes históricos del mango .....	4
II.2 Botánica del mango .....	5
II.2.1 Morfología .....	5
II.2.2 Taxonomía .....	7
II.3 Composición nutricional .....	8
II.4 Importancia económica .....	8
II.4.1 En el mundo .....	8
II.4.2 En México .....	9
II.5 Variedades y estacionalidad del mango .....	12
II.6 Índices de cosecha y manejo poscosecha .....	14
II.6.1 Maduración del mango .....	17
II.6.2 Problemas en el manejo poscosecha .....	17
II.6.2.1 Pérdida de peso .....	17
II.6.2.2 Enfermedades.....	18
II.6.2.2.1 Antracnosis .....	18
II.6.2.2.2 Pudrición del pedúnculo .....	20
II.6.2.3 Plagas .....	21
II.6.2.3.1 Mosca de la fruta .....	21
II.6.2.3.1.1 Control de la mosca de la fruta .....	22
II.7 Tratamientos cuarentenarios .....	24
II.7.1 Tratamiento hidrotérmico .....	25
II.7.2 Tratamiento con aire caliente forzado .....	26
II.7.3 Irradiación .....	26

II.8 Tecnologías poscosecha .....	29
II.8.1 Atmosferas modificadas (AM) y controladas (AC) .....	30
II.8.2 Recubrimientos .....	31
II.8.2.1 Recubrimientos comestibles .....	31
II.8.2.2 Encerado.....	32
II.8.2.3 Empaques perforados.....	34
II.8.2.4 Empaques microperforados .....	34
II.8.3 Etileno y 1-metilciclopropeno (1-MCP).....	36
II.8.4 Enzimas asociadas al ablandamiento de los frutos .....	39
II.8.4.1 Poligalacturonasas (PG) .....	41
II.8.4.2 Pectinesterasas (PE) .....	41
III. JUSTIFICACIÓN .....	43
IV. OBJETIVOS.....	44
IV.1 Objetivo general .....	44
IV.2 Objetivos específicos.....	44
V. METODOLOGÍA .....	45
V.1 Identificación de la concentración óptima para la aplicación de 1-MCP .....	45
V.2 Materiales.....	45
V.2.1 Origen y selección del material biológico .....	45
V.3 Estrategia experimental.....	47
V.4 Métodos.....	47
V.4.1 Tratamiento para control de antracnosis, empaque y transporte de los frutos .....	47
V.5 Diseño experimental.....	49
V.5.1 Unidad experimental.....	49
V.5.2 Variables de respuesta .....	51
V.6 Análisis de las variables de respuesta.....	51
V.6.1 Tratamiento de irradiación .....	51
V.6.2 Empaque en bolsas microperforadas .....	54
V.6.3 Tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) .....	54
V.6.4 Muestreo.....	56
V.6.5 Almacenamiento refrigerado.....	56
V.6.6 Calidad visual .....	56
V.6.7 Análisis físicos .....	57

V.6.7.1 Pérdida de peso .....	57
V.6.7.2 Firmeza.....	57
V.6.7.3 Color .....	57
V.6.8 Análisis químicos.....	60
V.6.8.1 Sólidos solubles totales (°Bx) .....	60
V.6.8.2 Acidez titulable (AT).....	60
V.6.8.3 Cuantificación de pectina.....	60
V.6.9 Análisis enzimáticos .....	61
V.6.9.1 Obtención del extracto enzimático.....	61
V.6.9.2 Pectinesterasa (PE).....	61
V.6.9.3 Poligalacturonasa (PG).....	62
V.6.9.4 Cuantificación de proteína .....	62
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	64
VI.1 Identificación de la concentración óptima para la aplicación de 1-MCP .....	64
VI.2 Dosimetría de irradiación.....	67
VI.3 Cambios en la calidad durante el almacenamiento .....	68
VI.3.1 Cambios en la calidad visual externa de los frutos.....	69
VI.3.2 Prueba de significancia estadística del efecto de los tratamientos .....	79
VI.3.3 Análisis físicos .....	80
VI.3.3.1 Color .....	80
VI.3.3.1.1 Cambios en los valores de color.....	81
VI.3.3.1.2 Hue externo e interno .....	82
VI.2.3.1.3 Croma externo e interno .....	86
VI.2.3.1.4 Pérdida de peso.....	88
VI.2.3.1.5 Firmeza.....	96
VI.3.4. Análisis químico.....	102
VI.3.4.1 Sólidos solubles totales .....	102
VI.3.4.2 Acidez titulable .....	106
VI.3.4.3 Cambios en el contenido de pectina en la piel .....	109
VI.3.4. Cambios en las actividades enzimáticas de PE y PG en el mango.....	112
VI.3.4.1 Actividad de pectinesterasa (PE).....	112
VI.3.4.2 Actividad de poligalacturonasa (PG) .....	115

VII. CONCLUSIONES .....	118
VIII. LITERATURA CITADA.....	120
IX. ANEXOS .....	132

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición nutricional de mango. ....	8
2. Variedades de mangos de importancia comercial en México .....	13
3. Condiciones recomendadas de almacenamiento poscosecha para mango.....	16
4. Relación tiempos/temperatura requeridas para la aplicación de tratamiento hidrotérmico en mango .....	25
5. Condiciones para el tratamiento con aire caliente forzado para mango 'Manila'.....	26
6. Dosis máximas de irradiación permitidas para diferentes tipos de alimentos .....	28
7. Diseño factorial .....	49
8. Identificación y condiciones de experimentación para cada uno de los tratamientos. ....	50
9. Cantidad de frutos analizados por muestreo.....	50
10. Periodos de almacenamiento a 13 °C y 13 °C/20 °C de los frutos. ....	56
11. Pérdida de peso y sólidos solubles totales de mangos tratados con diferentes concentraciones de de 1-MCP a 19 días de almacenamiento a 13 °C.....	64
12. Valores de probabilidad obtenidos para los factores de estudio y sus interacciones con los parámetros fisicoquímicos .....	80
13. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el color externo a los 17 y 23 días después del almacenamiento. ....	81
14. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el color interno a los 17 y 23 días después del almacenamiento .....	83
15. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la pérdida de peso a los 17 y 23 días después del almacenamiento. ....	89
16. Clasificación visual del grado de marchitez de mango 'Manila'.....	92



17. Pérdida de peso y grado de marchitez, de frutos de mango 'Manila' después de 23 días de almacenamiento a 13 °C ó 13 °C/20 °C sometidos a diferentes tratamientos. ....	93
18. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la firmeza a los 17 y 23 días después del almacenamiento.....	99
19. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para SST a los 17 y 23 días después del almacenamiento .....	104
20. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la acidez titulable a los 17 y 23 días después del almacenamiento. ....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Árbol de mango, <i>Mangifera indica</i> L.....	5
2. Tipos de flores del mango.....	6
3. Principales países productores de Mango. ....	9
4. Principales países exportadores de mango. ....	10
5. Estados productores de mango en México. ....	11
6. Producción de mango en México. ....	12
7. Producción de mango 'Manila' en México en el 2010 .....	12
8. Índice de cosecha de mango .....	15
9. Pudrición del mango por antracnosis .....	19
10. Evolución de la antracnosis en mango durante 5 días .....	20
11. Pudrición del pedúnculo ( <i>Dothiorella</i> sp.) en frutos de mango.....	21
12. Moscas de la fruta .....	22
13. Estatus fitosanitario actual de la campaña contra moscas de la fruta ....	23
14. Daños causados por la mosca de la fruta .....	23
15. Empaque microperforado en tomates. ....	35
16. Síntesis de etileno a partir de metionina. ....	37
17. Efecto del 1-MCP sobre los receptores en membrana del etileno .....	38
18. Componentes de la pared celular .....	39
19. Principales enzimas que actúan sobre el homogalacturonano .....	40
20. Estado de madurez de frutos de Mango .....	46
21. Estrategia general aplicada durante el desarrollo del experimento.....	48
22. Dosímetros y distribución de dosímetros de alanina.....	52
23. Equipo de resonancia de espín electrónico.....	53

24. Aspecto del embolsado de frutos de mango en bolsa microperforada aplicada al interior de la caja de mango.....	55
25. Aplicación de 1-MCP al interior de la cámara. ....	55
26. Representación gráfica de Hue (h°) .....	58
27 Representación gráfica de la cromaticidad .....	59
28. Calidad visual de frutos de mango 'Manila' tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones.....	65
29. Dosis máximas y mínimas absorbidas para el tratamiento de irradiación gamma a dosis propuesta de 0.4 a 0.5 kGy.....	68
30. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento a 13 °C.....	70
31. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento transferidos de 13 °C a 20 °C.....	71
32. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento a 13 °C.....	75
33. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento transferidos de 13 °C a 20 °C.....	76
34. Cambios en los valores de Hue externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C. ....	84
35. Cambios en Croma externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C. ....	87
36. Porcentaje de pérdida de peso en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C.....	90
37. Relación de la pérdida de peso y el estado de marchitez de frutos de mango 'Manila' .....	94
38. Firmeza, expresada en Newtons, de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C.....	97
39. Sólidos solubles totales (°Bx) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C.....	103
40. Porcentaje de acidez titulable en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C.....	107

41. Cambios en el contenido de pectina en la piel de frutos de mango 'Manila' sometidos a diferentes tratamientos. ....	111
42. Cambios en la actividad enzimática de PME en piel de frutos de mango 'Manila'.....	114
43. Cambios en la actividad enzimática de PG en piel de frutos de mango 'Manila'.....	116

## I. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es reconocido como uno de los frutos tropicales más finos del mundo; su cultivo data desde hace más de 6,000 años, y por ello, se considera como uno de los cultivos frutícolas más antiguos (Prieto *et al.*, 2005). La preferencia en su consumo se debe a sus atributos sensoriales como olor, sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales. De acuerdo a SAGARPA (2009), México fue el mayor productor de mango en América con 1,509,271 toneladas y un valor de 3,991,825 000 millones de pesos, el 95 % de su producción se concentra en los estados de Guerrero (352,779.30 toneladas), Nayarit (292,585.40), Sinaloa (210,036.63), Chiapas (184,859.47), Oaxaca (166,439.70), Michoacán (121,980.79), Veracruz (112,806.11), Colima (60,844.01) y Jalisco (51,653.02). Las principales variedades cultivadas en México son 'Manila', 'Ataulfo', 'Haden', 'Irwin', 'Keitt', 'Palmer', 'Sensation', 'Tommy Atkins' y 'Van Dyke' (SIAP-SAGARPA, 2009).

La limitación más importante en el manejo de frutas tropicales es su corta vida poscosecha. El mango es un fruto climatérico y altamente perecedero, cuya vida de anaquel es de seis a ocho días a temperatura ambiente por lo que requiere un manejo poscosecha especializado para prolongarla. El control de la temperatura es el método más utilizado para reducir la actividad metabólica y retrasar la maduración. Sin embargo, reducir la temperatura puede producir, en algunos casos, incapacidad para madurar y desarrollo de pudriciones cuando las frutas son expuestas a temperaturas por debajo de su óptima (Díaz-Sobac *et al.*, 1996).

Entre las muchas características que contribuyen a la calidad del mango, la apariencia y la firmeza son de los atributos más importantes para el consumidor. La progresiva pérdida de firmeza en los mangos es consecuencia del proceso de maduración, lo cual se debe a los cambios que sufren los polisacáridos como el

almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa debido a acciones enzimáticas a nivel de la pared celular (Lira *et al.*, 2008).

Las condiciones del clima más seco del litoral del Pacífico, son favorables para producir mango de exportación, razón por lo cual ahí se concentran las empacadoras que realizan esta actividad. El mercado de exportación de este fruto debe de cumplir con normas fitosanitarias que imponen los países importadores para eliminar el riesgo de introducir plagas, como la mosca de la fruta, en los países compradores. Por ello estas agroindustrias deben cumplir con las normas que establezca el país comprador como es el caso del tratamiento hidrotérmico que debe aplicarse al mango mexicano destinado al mercado de Estados Unidos, Japón y otros mercados. Europa y Canadá, no lo imponen, pero debe haber un buen control de la plaga en campo para permanecer en esos mercados (PROSERCO, 2007).

Guerrero destina casi la totalidad de su producción al mercado interno, no teniéndose condiciones adecuadas para la exportación porque el clima dificulta el óptimo control de la mosca de la fruta, y especialmente, porque la variedad 'Manila' producida en esa entidad, no tolera el tratamiento de agua caliente (46.1 °C) necesario para la exportación, debido a que provoca daños al fruto y a su vida de anaquel, y por lo tanto esta variedad no participa en el mercado de exportación.

No obstante, esta variedad de mango tiene una calidad sensorial muy notable y por ello existe una demandada no cubierta de este fruto para ser dirigida a la población latina del mercado en los Estados Unidos e incluso de los mismos pobladores nativos de ese país.

La tecnología de irradiación gamma ( $\gamma$ ) es un tratamiento cuarentenario alternativo viable para esta variedad pues se aplica a temperatura ambiente y por tanto el fruto no se encuentra sometido a las condiciones de estrés señalado pero aún en esas condiciones, este producto muestra una fuerte tendencia a perder

peso y a mostrar una consistencia blanda y contracción de tejidos que limita su vida de anaquel a sólo dos semanas.

Por lo anterior, el presente trabajo pretende generar una respuesta tecnológica industrialmente aplicable para incrementar la vida de anaquel de mango 'Manila' y así favorecer su exportación a través del uso de la tecnología de irradiación gamma.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### II.1 Antecedentes históricos del mango

El mango (*Mangifera indica* L.), cuyo nombre procede de *manga*, adaptación portuguesa del tamil Hindú *mankai*, probablemente tuvo su centro de origen en el noroeste de la India donde ha sido cultivado por más de 4,000 años. También se considera la posibilidad de ser nativo de Malasia, así como de Filipinas, las laderas del Himalaya y Sri Lanka. De estas regiones el mango se extendió a África y más tarde fue introducido por los portugueses a las costas de Brasil y a la isla de Barbados en el siglo XVI. El mango se reconoce como uno de los frutos tropicales más finos y de mayor importancia a nivel mundial, debido a que ocupa el sexto lugar dentro de los principales productos frutícolas y es considerado como el fruto tropical más antiguo cultivado por el hombre (PROSERCO, 2007; Prieto *et al.*, 2005; FAOSTAT, 2012; GIIM, 1998).

En México, la introducción del mango se inició en 1779, cuando el mango cv. 'Manila' fue introducido por los españoles al puerto de Acapulco, proveniente de Filipinas. Posteriormente, en el siglo XIX, mangos tipo criollo se trajeron de las Antillas a la Costa del Golfo de México y de allí se extendió rápidamente a todas las regiones del país que poseen condiciones ambientales favorables para su desarrollo (Prieto *et al.*, 2005; GIIM, 1998).

La última introducción de mango y la primera comercialmente importante en México se efectuó en la década de 1950, sobresaliendo las realizadas por Santiago Ontañón en 1951 y 1954 a Cuajinicuilapa, Guerrero; en esta introducción se plantaron 130 ha del rancho denominado "La Petaca" con 12,000 árboles procedentes de Florida, EUA. El germoplasma introducido estuvo constituido principalmente de árboles de las variedades 'Haden', 'Palmer', 'Keitt', 'Kent', 'Tommy Atkins', 'Irwin', 'Smith', 'Sensation', 'Carrie' y 'Carabao' (mismo que 'Manila'). Con excepción del 'Carabao' el resto de los materiales son monoembriónicos, y en México, a estas variedades, se les nominó genéricamente



como “petacones” en alusión al nombre del rancho que tuvo la primera plantación de dichas variedades (GIIM, 1998).

## II.2 Botánica del mango

### II.2.1 Morfología

*Mangifera indica* L., conocido comúnmente como mango, es un árbol siempre verde de tamaño de mediano a grande que crece a una altura de 15 a 30 m con una copa redondeada y muy densa, con hojas verde oscuro y un tronco robusto con corteza gruesa y áspera (Figura 1) (Parrotta, 1993).



Figura 1. Árbol de mango, *Mangifera indica* L. (Bally, 2006).

El tronco es más o menos recto, cilíndrico de 75-100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris café tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos. La copa es densa y ampliamente oval o globular. Las ramas son gruesas y robustas; son redondeadas, lisas, de color verde amarillento y opaco

cuando son jóvenes. Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramitas, de pecíolo largo o corto, oblongo, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por arriba, verde amarillento por abajo. Las hojas jóvenes son de color violeta rojizo o bronceado, posteriormente se tornan de color verde oscuro. Las panículas son muy ramificadas y terminales, de aspecto piramidal, de 6-40 cm de largo, de 3-25 cm de diámetro; las raquias son de color rosado o morado, algunas veces verde amarillentas; las brácteas son oblongas lanceoladas u ovadas oblongas, intensamente pubescentes y miden de 0.3-0.5 cm de largo (Figura 2a). Las flores polígamas, de 4 a 5 partes, se producen en las cimas densas o en las últimas ramas 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 (Figura 2b).

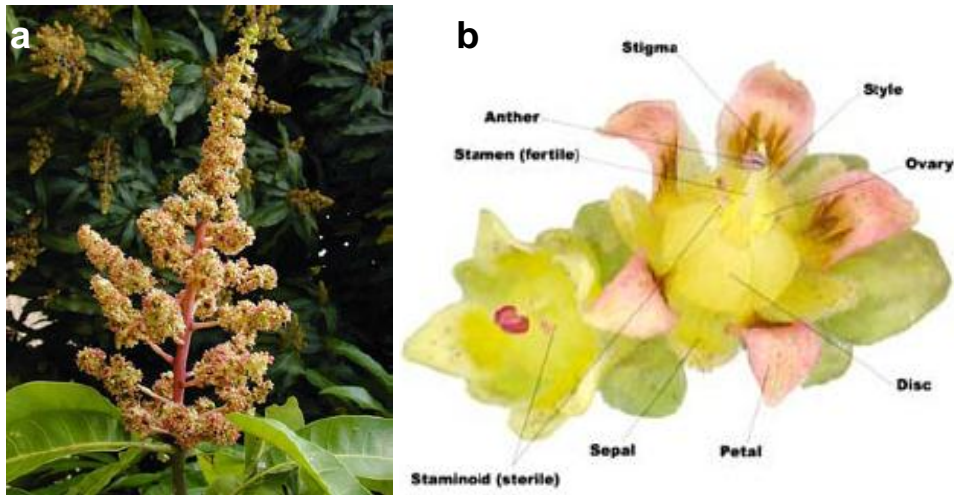


Figura 2. a) Inflorescencia de mango, b) Tipos de flores del mango. Masculinas (derecha) y hermafroditas (izquierda) (Bally, 2006).

El fruto es una drupa carnosa que puede tener uno o más embriones. Los mangos de tipo indio son monoembrionicos y de ellos derivan la mayoría de los cultivares comerciales. Generalmente, los mangos poliembrionicos poseen un mesocarpo comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo. Su peso varía desde 150 g hasta 2 kg. Su forma también es variable,

pero generalmente es ovoide oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos. El color puede ser entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la pulpa es de color amarillo o anaranjado, jugosa y sabrosa (Madrigal, 2009).

La semilla es ovoide, oblonga, alargada, estando recubierta por un endocarpo fibroso y por una membrana papirácea que posee una testa delgada de color café oscuro (COVECA, 2011; Barbosa, 2003). Las frutas o drupas poseen una sola semilla y son aromáticas, maduran de 2 a 4 meses después de la florescencia, dependiendo de la variedad y la localidad (Parrotta, 1993).

## II.2.2 Taxonomía

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia *Anacardiaceae* y género *Mangifera* (Prieto *et al.*, 2005).

La clasificación taxonómica del mango es la siguiente:

**Clase:** *Dicotiledóneas*

**Subclase:** *Rosidae*

**Orden:** *Sapindales*

**Suborden:** *Anacardineae*

**Familia:** *Anacardiaceae*

**Género:** *Mangifera*

**Especie:** *M. indica*

El género *Mangifera* comprende 69 especies que se encuentran distribuidas en una amplia zona geográfica con distintas condiciones ambientales y exhiben una considerable diversidad genética, particularmente en caracteres del fruto (Madrigal, 2009).

### II.3 Composición nutricional

El mango constituye un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitamina A y C, minerales, fibras y antioxidantes; siendo bajo en calorías, grasas y sodio. Su valor calórico es de 62-64 calorías/100 g de pulpa (COVECA, 2011) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición nutricional de mango. Valor por 100 gramos de pulpa.

<b>Nutriente</b>	<b>Valor por 100 gramos</b>
Energía (Kcal)	60.00
Agua (g)	83.46
Proteína (g)	0.82
Grasa total (g)	0.38
Carbohidratos (g)	14.98
Azúcares totales(g)	13.66
Fibra total dietaria (g)	1.60
Cenizas (g)	0.36
Calcio, Ca (mg)	11.00
Fósforo, P (mg)	14.00
Potasio, K (mg)	168.00
Sodio, Na (mg)	1.00
Vitamina A (µg)	54.00
Vitamina C (mg)	36.40
Vitamina B-6(mg)	0.12
Vitamina E (mg)	0.90
Niacina (mg)	0.67

USDA, 2010

### II.4 Importancia económica

#### II.4.1 En el mundo

De acuerdo con datos de la FAO, en el 2010 se produjeron alrededor de 609.4 millones de toneladas de frutas, dentro de las cuales el mango ocupó la quinta posición con un total de 38.6 millones de toneladas, con lo cual aportó un 6.35 % a la producción mundial de frutas. El primer país productor es India con

16,337,400 toneladas y México con 1,632,650 toneladas, ocupa el quinto lugar de producción (Figura 3) (FAOSTAT, 2012).

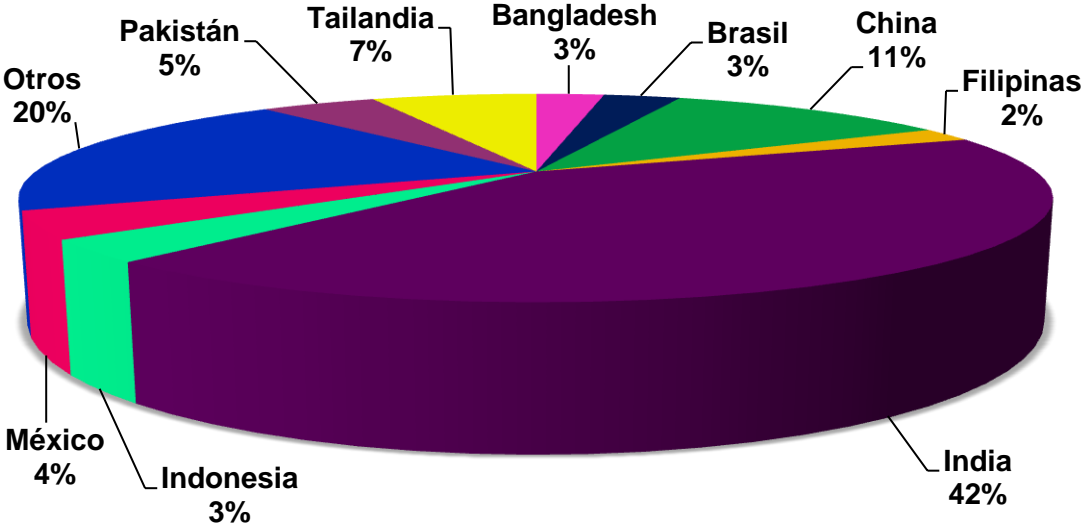


Figura 3. Principales países productores de Mango (FAOSTAT, 2012).

En una investigación realizada por la National Mango Board, en el año 2011, para conocer la actitud de los consumidores de EUA al mango de importación, encontraron que de una muestra de 500 personas, el 50 % eran compradores de mango, de los cuales el 46 % correspondían a compradores actuales y de los cuales el 96 % compraba los frutos en fresco. Haciendo una comparación entre los años 2007 y 2011, encontraron que hubo un aumento de las personas que compraban frutos de mango del 35 % al 46 %. Así mismo, se evaluó la incidencia de consumidores y no consumidores, donde en el 2007 había un 67 % de consumidores y para el 2011 incrementó a 78 %.

**II.4.2 En México**

México ocupa el segundo lugar, después de la India, como exportador con 232,643 toneladas (Figura 4). Según datos de National Mango Board (2012), se

espera que para este año México exporte 54.4 millones de cajas, dentro de las cuales el cultivar más importante de exportación son ‘Tommy Atkins’, ‘Ataulfo’ y ‘Haden’.

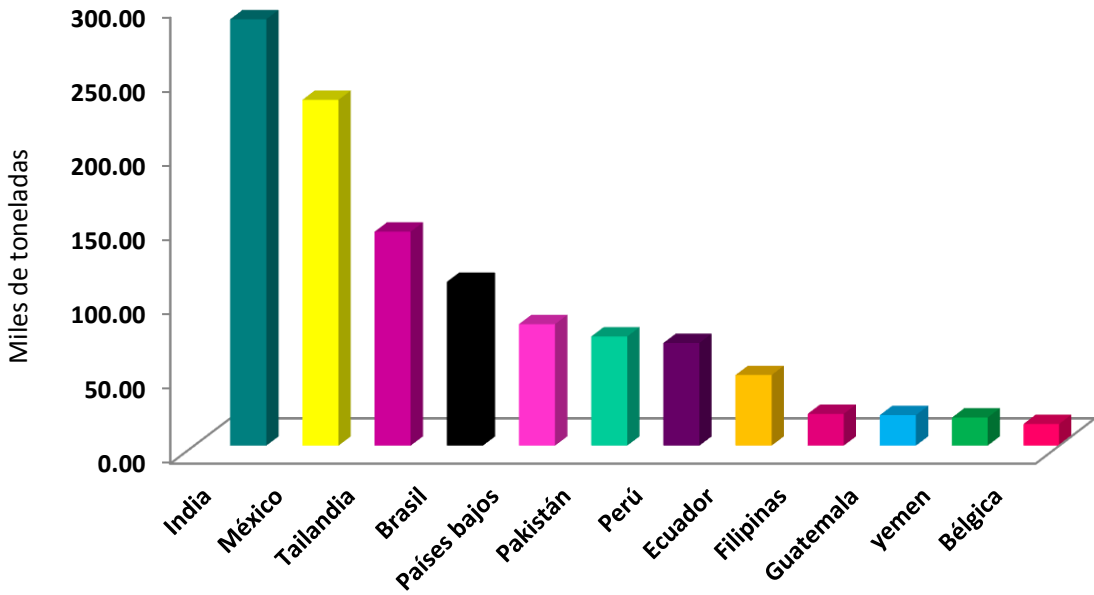


Figura 4. Principales países exportadores de mango (FAOSTAT, 2012).

El mango ocupa el cuarto lugar en producción entre las frutas de nuestro país después de la naranja (4 millones ton), el plátano (2 millones ton) y el limón (1.8 millones ton) aportando 1.6 millones ton; y ocupa el segundo lugar en superficie plantada y superficie cosechada, después de la naranja, con 183,108.37 ha y 174,969.85 ha, respectivamente. (SIAP-SAGARPA, 2011).

La producción nacional de mango (Figura 5), en el 2010, se concentró en los estados de Guerrero (352,779.30 ton), Oaxaca (166,439.70 ton), Chiapas (184,859.47 ton), Veracruz (112,806.11 ton), Sinaloa (210,036.63 ton), Nayarit (292,585.40 ton), Michoacán (121,980.79 ton) y Colima (60,844.01 ton) (SIAP SAGARPA, 2009-2011).

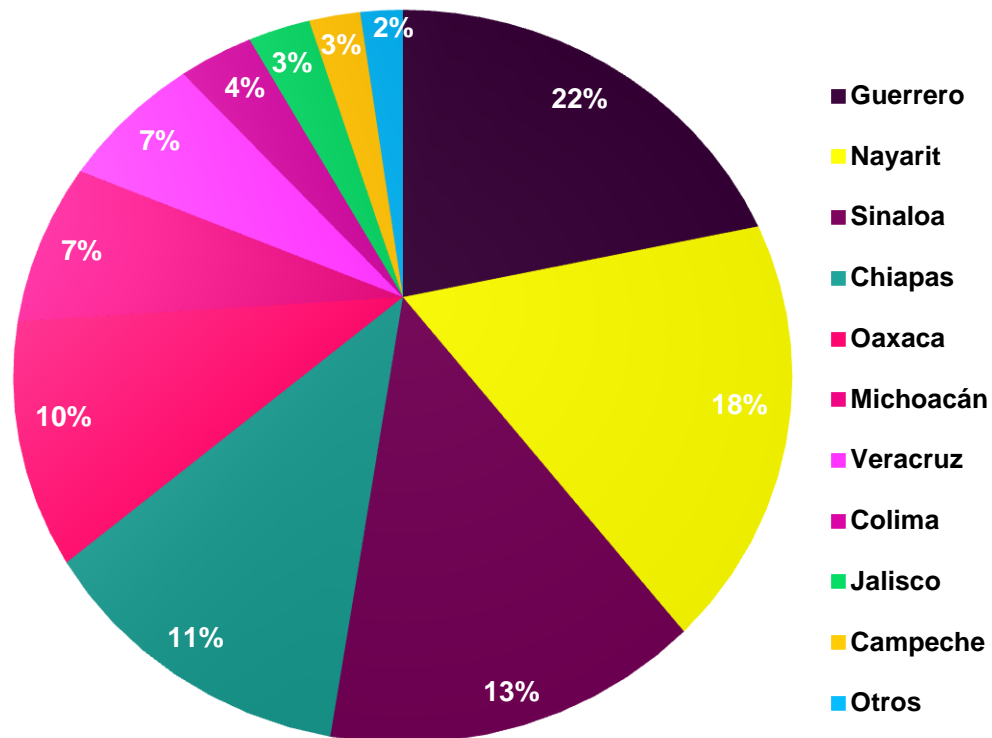


Figura 5. Estados productores de mango en México (SIAP-SAGARPA, 2011).

La producción nacional de mango se divide en diversos cultivares, donde las variedades más producidas son ‘Ataulfo’, ‘Haden’, ‘Tommy Atkins’ y ‘Manila’, donde este último ocupó, en el 2010, el segundo lugar en superficie plantada y superficie cosechada con el 21.36 % y el 19.75 % de la producción, respectivamente (Figura 6); entre estas cuatro variedades, antes mencionadas, se concentró el 69.4 % del volumen de esta fruta en 2009 y el 76.1 % del valor de producción (SIAP-SAGARPA, 2010).

La producción de mango ‘Manila’ (Figura 7), se concentró en los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa y Veracruz (SIAP-SAGARPA, 2010).

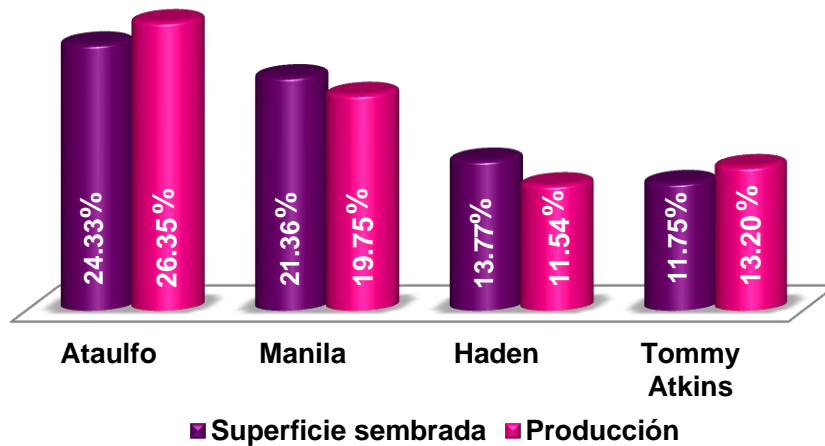


Figura 6. Producción de mango en México (SIAP-SAGARPA, 2010).

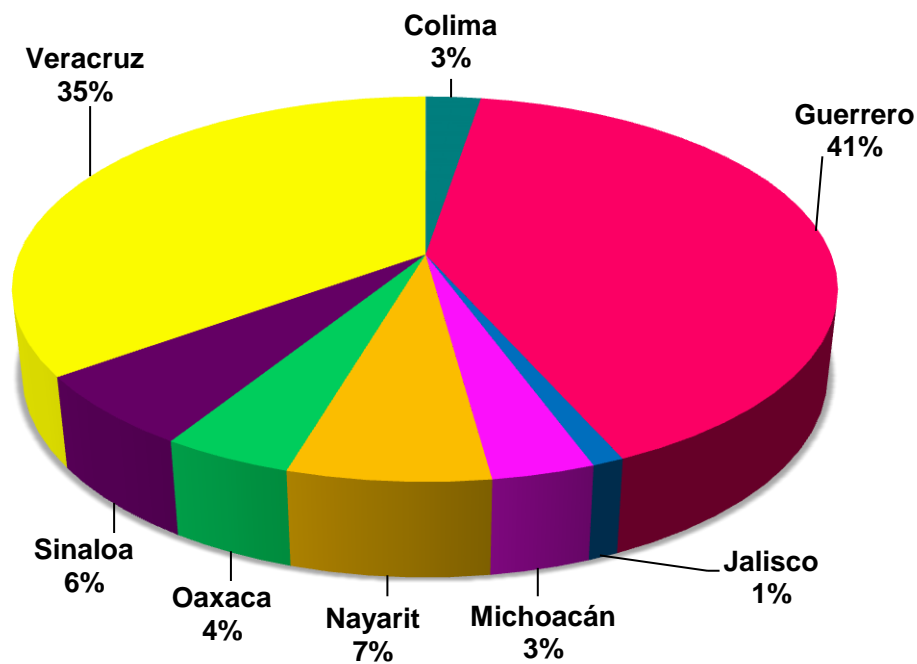








Figura 7. Producción de mango 'Manila' en México en el 2010 (SIAP-SAGARPA, 2010).

## II.5 Variedades y estacionalidad del mango

Existen diversas variedades de importancia comercial en México, las cuales se distinguen entre ellas por sus características físicas y sensoriales (Cuadro 2).



Cuadro 2. Variedades de mangos de importancia comercial en México

Variedad	Características
<b>Ataulfo</b> 	Color amarillo, tipo alargado, longitud 12.5-14 cm, anchura 5.5-6 cm, peso 180-260 g, pulpa con alto contenido de azúcares y bajo contenido fibra.
<b>Haden</b> 	Color rojo/amarillo, tipo redondo, longitud 10.5-14 cm, anchura 9-10.5 cm, peso 510-680 g, pulpa jugosa con bajo contenido fibra.
<b>Kent</b> 	Color verde/rojo/amarillo, tipo redondo, longitud 12-14 cm, anchura 9.5-11 cm, peso 450-700 g, pulpa jugosa, con alto contenido de azúcares y bajo contenido fibra.
<b>Tommy Atkins</b> 	Color amarillo/rojo, tipo redondo, longitud 12-14.5 cm, anchura 10-13 cm, peso 450-700 g, de regular a alto contenido fibra.
<b>Keitt</b> 	Color verde/rosado/amarillo, tipo redondo, longitud 13-15.5 cm, anchura 9-11 cm, peso 510-2000 g, de pulpa muy dulce y bajo contenido fibra.
<b>Manila</b> 	Color amarillo, tipo elíptico, peso 200 a 275 g, piel delgada y pulpa dulce con alto contenido de fibra.

PROSERCO, 2007; Prieto *et al.*, 2007

Las diferentes variedades de mango se producen del mes de enero hasta el mes de septiembre en diferentes estados como son Colima, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Campeche, Veracruz, Jalisco, Oaxaca, Nayarit y Sinaloa.

## II.6 Índices de cosecha y manejo poscosecha

El momento para cosechar es muy importante para que los productores puedan suministrar a los mercados, frutos de alta calidad. Los mangos cosechados antes de su óptimo de madurez probablemente madurarán, sin embargo, no desarrollarán buen aroma, ni buen sabor; mostrarán una mayor susceptibilidad a los daños por frío causados por las bajas temperaturas al momento de su transporte y tendrán una vida de anaquel más corta de la que normalmente tienen los mangos maduros.

Un mango maduro se define como un fruto que ha alcanzado el estado de desarrollo que asegura el proceso completo y apropiado de maduración. Para completar con esta expectativa, un mango debe de haber empezado a madurar internamente (estado 2), en el momento de cosechase. Un mango cosechado inmaduro (estado 1), no madurará apropiadamente, y nunca desarrollara un sabor y aroma aceptable, dado el carácter climatérico del fruto.

Los índices de cosecha del fruto se basan en varios parámetros, incluyendo el número de días desde la completa floración, la forma del fruto (llenado de hombros), la gravedad específica, el color de la cáscara, el color interno de la pulpa, firmeza, contenido de almidón, sólidos totales (contenido de materia seca) o azúcares (sólidos solubles totales), y acidez titulable. Dichos parámetros cambian para cada variedad de mango.

El cambio en la forma de la fruta, completo llenado de los hombros; hombros que se alzan más allá del punto de inflexión del tallo, (Figura 8), y el cambio del color de cáscara de verde-oscuro a verde claro y a amarillo (en algunos cultivares) son los índices de madurez más comúnmente usados. El desarrollo de un rubor rojo en la cáscara de algunos cultivares de mango, no es un índice de madurez confiable, aunque puede comenzar a ser más prominente como los cambios de color externos de verde a amarillo con la madurez. La extensión

del desarrollo del color amarillo en la pulpa es un índice de madurez confiable en todos los cultivares (Brecht *et al.*, 2011).

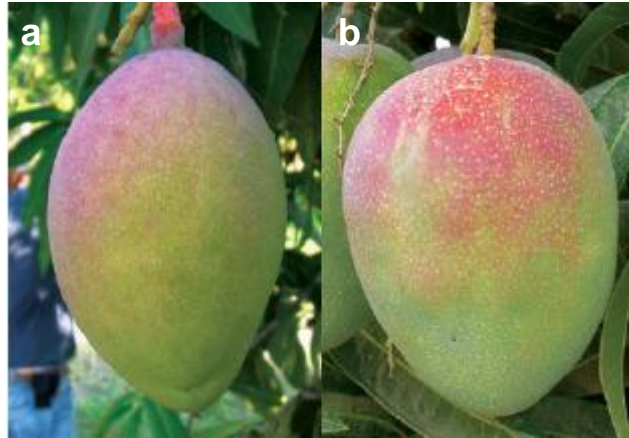


Figura 8. Índice de cosecha, llenado de hombros: a) mango inmaduro, b) mango maduro (Brecht, 2011).

Estadísticas han demostrado que entre el 25 y 50 % de la producción de productos hortofrutícolas se pierde, mundialmente, después de la cosecha, como resultado de los procesos de descomposición, infestación por insectos y ataque de microorganismos. Estas pérdidas suelen ser mayores en zonas tropicales y subtropicales por las condiciones climáticas prevalecientes (Yahia y Ariza, 2001), consiguientemente, la conservación y comercialización requiere de procesos poscosecha con todas las exigencias necesarias. Por lo tanto, es importante conocer las propiedades físico mecánicas de este cultivo y su interacción con las variables climáticas, para desarrollar un manejo poscosecha con éxito y proponer la mejor tecnología a tal efecto (Martínez *et al.*, 2006).

El manejo poscosecha es un conjunto de operaciones y procedimientos tecnológicos tendientes no solo a movilizar el producto cosechado desde el productor hasta el consumidor, sino también, y más que todo, a proteger su integridad y preservar su calidad de acuerdo con su propio comportamiento y características físicas, químicas y biológicas durante todo su periodo de postrecolección (Vargas y Cepeda, 1987).

La solución idónea para preservar la calidad global (organoléptica, comercial, microbiológica y nutritiva) de los productos hortofrutícolas y satisfacer las crecientes exigencias de los mercados internacionales, consiste en mejorar los tratamientos postrecolección. En este sentido se ha trabajado en diferentes técnicas de acondicionamiento, empaque, almacenamiento y transporte (Cáceres *et al.*, 2011).

Las técnicas de almacenamiento que se utilizan después de la cosecha y una vez que las frutas han sido empacadas para su comercialización en fresco, tienen el propósito de conservar la calidad de las mismas, teniendo en cuenta las condiciones ambientales adecuadas que permitan reducir la velocidad de los procesos vitales de estos productos, y disponer de ellos por períodos más prolongados que los normales, además ofrecer productos frescos a mercados distantes y reducir pérdidas durante su comercialización. Dentro de las técnicas más utilizadas para la conservación de frutas y hortalizas encontramos la refrigeración (Cuadro 3), el uso de atmósferas controladas (AC), uso de absorbentes de etileno, aplicación de películas y aplicación exógena de fitoreguladores (Cáceres *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Condiciones recomendadas de almacenamiento poscosecha para mango

Especie	T (°C)	HR (%)	Semanas de almacenaje	AC (%)	
				CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Mango	13 °C (verde maduro)	85-90	1-4	5.10	2.5
	10 °C (madurez de consumo)				

Kader, 2007; 2008

El manejo de la temperatura es uno de los factores más importantes para el mantenimiento de la calidad de los mangos durante las operaciones de manejo y transporte. El manejo apropiado de la temperatura de los frutas hace factible la

exportación de las mismas desde las áreas de producción hasta los mercados distantes (Brecht *et al.*, 2011).

### **II.6.1 Maduración del mango**

Los mangos que han comenzado a madurar pueden ser reconocidos por el cambio del color de la piel de la cáscara de verde a amarillo-verdoso y por el desarrollo de un color amarillo en la pulpa cerca de la semilla. Estos frutos son capaces de completar su maduración sin necesidad de aplicarles etileno para ello, sin embargo, la maduración es más rápida y más uniforme (dentro de un lote de frutas), cuando las frutas son tratadas con 100 ppm de etileno de 20 a 22°C. Sin etileno, la tasa de maduración varía de fruto a fruto y toma mayor tiempo a un lote de mangos alcanzar la condición de mango comercializables; las frutas más avanzadas pueden desarrollar marchitez y pudrición mientras las frutas menos avanzadas no han madurado completamente, lo cual reduce ciertamente las ventas totales (Brecht *et al.*, 2011).

### **II.6.2 Problemas en el manejo poscosecha**

El mango es una fruta climatérica y requiere de un manejo poscosecha especializado para conservar y prolongar su vida de anaquel. Uno de los mayores obstáculos en el manejo poscosecha de éstos frutos es la sensibilidad al daño por frío además de su susceptibilidad a defectos físicos, fisiológicos, y patológicos (Díaz-Sobac *et al.*, 1996; Brecht *et al.*, 2011).

#### **II.6.2.1 Pérdida de peso**

El mango 'Manila' presenta una gran desventaja con respecto a otros cultivares, puesto que posee una actividad metabólica y una tasa de pérdida de humedad más alta que cultivares como 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent' y 'Keitt' debido a que presentan diferencias histológicas (su piel y cutícula son más delgadas, tiene menor número de capas de células epidérmicas e hipodérmicas,

con paredes celulares más delgadas y las células de la pulpa son más grandes) y por lo tanto pierde peso rápidamente (Barbosa-Martínez *et al.*, 2009).

Hidalgo *et al.* (1997), reportaron que la pérdida de peso en mangos 'Manila' incrementa conforme incrementa la temperatura de almacenamiento, debido a que se encontró una pérdida de peso del 11 % en frutos almacenados por 10 días a 25 °C, donde posiblemente la temperatura de almacenamiento de 25 °C aceleró la transpiración del fruto y hubo así una mayor pérdida de peso, mientras que almacenados a 6 °C por 10 días, solamente se reportó un pérdida de peso del 2 %. Así mismo, Saucedo y Lakshminarayana (1977), almacenaron mangos 'Manila' a diferentes temperaturas, encontrando que las pérdidas fisiológicas de peso fueron proporcionales a la temperatura de almacenamiento, es decir, a menor temperatura, menores pérdidas de peso, donde para un mismo tiempo de almacenamiento, 12 días, las pérdidas en el tratamiento control (25 °C) fue del 10.1 %, mientras que a 12 °C sólo alcanzó 1.6 %.

### **II.6.2.2 Enfermedades**

Para mantener y elevar los niveles de producción y calidad de la fruta, es necesario prevenir las enfermedades causadas por patógenos debido a que pueden comprometer la producción. Se han detectado enfermedades que afectan follaje, flores, ramas, tronco y raíces en mayor o menor grado (Prieto *et al.*, 2005).

#### **II.6.2.2.1 Antracnosis**

En México, esta enfermedad se encuentra prácticamente en todas las entidades federativas donde se produce el mango, provocando consecuencias destructivas en floración, fructificación y poscosecha. Se estima que las pérdidas poscosecha por antracnosis en mango fluctúan entre un 30 y 60 % del total de la producción nacional. Por otra parte, aunque la pulpa no es normalmente afectada y el fruto puede consumirse, la presencia de manchas, incluso en número muy

bajo y de tamaño diminuto, no es aceptable para la comercialización del fruto en los mercados de exportación (Brecht, 2011; Corkidi *et al.*, 2010).

La antracnosis es ocasionada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. Esta enfermedad aparece en los frutos, tallos y hojas jóvenes. Se detecta a simple vista y los síntomas incluyen pequeñas manchas oscuras que se agrandan en forma irregular, las áreas café oscuras se tornan negras y bien delimitadas (Figura 9). Las manchas se presentan de diferentes tamaños y número: es posible encontrar frutos con muchos puntos negros o simplemente con una sola mancha negra (Brecht *et al.*, 2011; Corkidi *et al.*, 2010).



Figura 9. Pudrición del mango por antracnosis (Mena, 1993).

El hongo coloniza la filósfera del mango desde la floración, aunque la enfermedad se hace evidente y económicamente relevante al alcanzar la madurez fisiológica del fruto. La severidad de la enfermedad incrementa con la lluvia y la alta humedad, y su evolución es muy rápida (Figura 10). El hongo muchas veces permanece inactivo en frutos verdes y se desarrolla cuando los frutos maduran y pierden su resistencia natural o cuando el fruto alcanza una concentración de azúcares libres apropiada para el desarrollo de éste (Corkidi *et al.*, 2010).



Figura 10. Evolución de la antracnosis en mango durante 5 días (Corkidi *et al.*, 2010).

El tratamiento con fungicidas previo a la cosecha y tratamientos de calor poscosecha reducen la incidencia y severidad de la antracnosis (Brecht *et al.*, 2011). Para ello los frutos se sumergen en agua a 52 °C por 3 a 15 min; al agua se le puede agregar cualquier fungicida autorizado como Prochloraz, Benomil o Thiabendazole (Páez, 2003).

#### **II.6.2.2 Pudrición del pedúnculo**

La pudrición del extremo del pedúnculo del mango frecuentemente causa deterioro de la fruta durante el almacenamiento y transporte. La fruta se vuelve completamente invadida y agria, y la cáscara se torna color café claro. Los factores que contribuyen a la enfermedad incluyen el hecho de cosechar fruta inmadura y el almacenamiento en condiciones calientes y poco ventiladas (Ureña *et al.*, 2007).

Es una enfermedad que puede ser ocasionada por un complejo de hongos, entre los que se encuentran *Lasiodiplodia* sp., *Dothiorella* sp., *Citosphaera mangiferae* y *Pestalotiopsis* sp. Los síntomas dependen del hongo involucrado, sin embargo, la lesión se ubica principalmente en el pedúnculo. Los síntomas incluyen áreas difusas de aspecto húmedo que crecen a partir del pedúnculo en proyecciones en forma de dedo, que rápidamente se tornan a un color oscuro y coalescen en lesiones circulares con márgenes irregulares (Figura



11). Es común que la epidermis afectada se rompa y un líquido de color café fluya del pedúnculo o de las heridas abiertas (Allende-Molar *et al.*, 2002).



Figura 11. Pudrición del pedúnculo (*Dothiorella* sp.) en frutos de mango (Allende-Molar *et al.*, 2002; Brencht *et al.*, 2011).

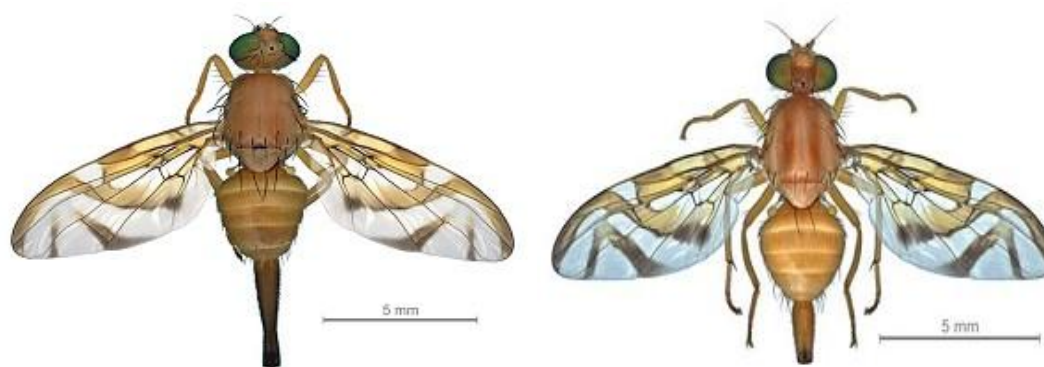
### II.6.2.3 Plagas

Entre los principales problemas fitosanitarios que afectan al mango destacan las plagas. Dentro de las más importantes por los daños directos al fruto, o indirectos (follaje y ramas) que causan son: mosca de la fruta, trips, hormigas y escamas. La presencia de estos insectos nos indica que el cultivo esta en etapa de riesgo, pero si influye en la calidad de la fruta, además, el daño causado puede ser la puerta de entrada para ciertos patógenos causantes de otros problemas fitosanitarios que afectan el rendimiento y la calidad del producto (Prieto *et al.*, 2005).

#### II.6.2.3.1 Mosca de la fruta

Las moscas de la fruta están consideradas como una de las 10 plagas agrícolas de mayor importancia económica en el mundo. El género *Anastrepha* es endémico del nuevo mundo y está restringido a ambientes tropicales y subtropicales; se encuentra distribuido desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina incluyendo la mayoría de las islas del Caribe. De las 195 especies descritas a la fecha, las de mayor importancia económica son:

*Anastrepha ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart) (Figura 12), *A. serpentina* (Wiedemann) y *A. striata* (Schiner). En México se han reportado 32 especies y al mes de Junio de 2012 se tiene el 50.95 % del territorio nacional libre de moscas de la fruta, el 9.78 % reconocido como zona de baja prevalencia de moscas de la fruta y el 39.27 % como zona bajo control fitosanitario (Figura 13). Esta plaga afecta a más de 30 especies de frutales que se cultivan en forma comercial y a 60 que se cultivan en menor escala.



***Anastrepha ludens***

***Anastrepha obliqua***

Figura 12. Moscas de la fruta (SAGARPA-SENASICA, 2012).

La mosca de la fruta es un organismo con una biología compleja y hábitos diversos que les permiten proliferar y establecerse en diferentes ambientes. Presentan una metamorfosis completa, sus estados de desarrollo son: huevo, larva, pupa y adulto. Una hembra grávida puede depositar de 1 a 110 huevecillos según la especie, en la cáscara o en el interior de los frutos (Figura 14). Los huevos son puestos individualmente (*A. obliqua*), o en paquetes (*A. ludens*) y este estadio dura de 4 a 5 días, dependiendo de la especie (Prieto *et al.*, 2005).

#### **II.6.2.3.1.1 Control de la mosca de la fruta**

Los principales factores abióticos de mortalidad de las moscas son: la humedad y la temperatura. La humedad influye en la supervivencia de las pupas

en el suelo, ya que a baja humedad las pupas se deshidratan y con humedad alta se ahogan, siendo atacadas por entomopatógenos.



- Zona Libre
- Zona de Baja Prevalencia
- Zona Bajo Control Fitosanitario

ZONAS LIBRES	ZONAS DE BAJA PREVALENCIA	ZONAS BAJO CONTROL FITOSANITARIO
50.95 %	9.78 %	39.27 %
998,199.24 km <sup>2</sup>	191,545.76 km <sup>2</sup>	769,503.00 km <sup>2</sup>

Figura 13. Estatus fitosanitario actual de la campaña contra moscas de la fruta (SAGARPA, 2012).



Figura 14. Daños causados por la mosca de la fruta (CESVY, 2009).

La mosca de la fruta es susceptible a cualquier insecticida; sin embargo, el único producto autorizado para su control es malathion, el cual se combina con un atrayente alimenticio, llamándose cebo tóxico.

El control biológico de las moscas de la fruta consiste en utilizar enemigos naturales como patógenos, depredadores y parasitoides, con el propósito de mantener las poblaciones de moscas de la fruta a niveles bajos. Se utiliza el parasitoide larva-pupa *Diachasmimorpha longicaudata* (Sivinski).

El control autocida consiste en liberar moscas de la fruta estériles. Este método es eficiente a bajas densidades de la plaga y se requiere previamente reducir el nivel de la población mediante liberación masiva de parasitoides o aplicaciones de insecticidas-cebo (Prieto *et al.*, 2005).

## **II.7 Tratamientos cuarentenarios**

Los tratamientos cuarentenarios son restricciones a la movilización de mercancías que se establecen en normas oficiales (NOM-023-FITO-1995), con el propósito de eliminar, reducir o retrasar la introducción o dispersión de plagas o enfermedades de una zona de infestación endémica a una libre o de baja infestación mediante la aplicación de procedimientos físicos, químicos o biológicos (ATN/MT 7957-RG, 2005).

Las moscas de las frutas constituyen la plaga de mayor importancia en las frutas, lo cual se debe no solamente al daño directo que producen a los frutos, sino a las restricciones cuarentenarias que imponen los países importadores (Boscán, 1995). La mayoría de las regiones productoras de mango son el hábitat natural para muchas plagas, entre ellas la mosca de la fruta, lo cual significa que la fruta debe ser tratada para matar las plagas antes de exportarse a los Estados Unidos (Kader, 2007).

## II.7.1 Tratamiento hidrotérmico

El tratamiento hidrotérmico (inmersión de la fruta en agua caliente) es el tratamiento cuarentenario más popular en América Latina (National Mango Board, 2010). En este tratamiento se usa agua caliente para aumentar la temperatura del producto a la temperatura requerida (46.1°C) en un tiempo específico (Cuadro 4). Éste es usado para ciertas frutas que son hospederas de la mosca de la fruta, pero también es usado para una diversa variedad de plagas (USDA/APHIS, 2011 a).

Cuadro 4. Relación tiempos/temperatura requeridas para la aplicación de tratamiento hidrotérmico en mango

Forma	Peso (gramos)	Tiempo de inmersión(min)
Variedades planas, elongadas*	Menos de 375	65
	376 a 500	75
	Más de 500	75
Variedades redondas**	501 a 700	90
	701 a 900	110

USDA/APHIS, 2011b

Nota: Tiempos y temperatura válidas si la fruta no es hidrogenada en los 30 min posteriores a la salida del tanque de inmersión. \* 'Francis', 'Carrot', 'Zill', 'Ataulfo', 'Carabao', 'Irwin' y 'Manila'. \*\* 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Haden' y 'Keitt'.

A pesar de la efectividad del tratamiento hidrotérmico para controlar la mosca de la fruta, existen reportes que indican que la calidad del mango posterior a dicho tratamiento se ve afectada, lo cual va en relación a la madurez de la fruta antes de aplicar el tratamiento y que la temperatura del agua exceda los 46.1 °C. Entre los síntomas de daños por el tratamiento hidrotérmico son cambios en el sabor, lo cual va a provocar una disminución en la calidad de la fruta (Gutiérrez *et al.*, 1997).

## II.7.2 Tratamiento con aire caliente forzado

El tratamiento con aire caliente forzado sigue siendo el segundo método más común para el mango; se considera una mejor solución que el tratamiento hidrotérmico (Cuadro 5), sin embargo presenta desventajas con respecto a dicho tratamiento.

Cuadro 5. Condiciones para el tratamiento con aire caliente forzado para mango 'Manila'

Parámetro	Valor
Calentamiento	8 h
Registro del intervalo calentamiento	5 min
Temperatura mínima del aire	N/A
Temperatura mínima de la pulpa al final del calentamiento	43.3 °C
Tiempo de permanencia	6 h
Registro del intervalo de permanencia	5 min
Método de enfriado	N/A

USDA/APHIS, 2011b

Nota: \*Se han determinado que las instalaciones de aire caliente forzado pueden tener un costo de \$120,000 para una capacidad de 8 toneladas por carga. El equipo de inmersión en agua caliente tiene un costo que equivale a un tercio del costo por el equipo de aire forzado requerido para tratar la misma cantidad de fruta. \*Al igual que cualquier otra instalación cuarentenaria, las operaciones de aire caliente forzado deben certificarse y deben contar con un mapeo térmico de la cámara de tratamiento. \*Para efectos del tratamiento, cada variedad de mango debe evaluarse por separado debido a las diferencias en la forma y el calibre (National Mango Board, 2010).

## II.7.3 Irradiación

La irradiación es el proceso de aplicar radiaciones electromagnéticas, en forma de energía que incluye luz visible y luz ultravioleta, a los alimentos (CIDRAP, 2011). Existen tres tipos de radiaciones ionizantes: electrones, isótopos radioactivos (rayos gamma de cobalto 60 o cesio 137) y rayos X. La unidad para medir la dosis absorbida para cualquiera de las radiaciones es el gray (Gy). Un

Gray (100 rad) es igual a 1 joule absorbido por kilogramo de materia. (USDA/APHIS, 2010).

La irradiación de alimentos es un tratamiento que consiste en exponer los alimentos a la acción directa de ciertas radiaciones electromagnéticas o fotónicas de energía suficiente, con el objeto de conservarlos durante un plazo más o menos largo, preservando del mejor modo posible su calidad organoléptica, sanitaria y nutricional (Boscán, 1995).

La irradiación fue aprobada por primera vez por APHIS en 1997 para su uso en papayas de Hawái para la exportación a los Estados Unidos, Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos. En 2002, la irradiación se aprobó como tratamiento fitosanitario para todas las frutas y vegetales frescos admisibles para todos los países.

La irradiación en alimentos es una tecnología para controlar el deterioro y eliminar patógenos, como la salmonella. El resultado es similar a la pasteurización convencional y a menudo es llamada “pasteurización en frío” o “pasteurización por irradiación”. Como la pasteurización, la irradiación inactiva bacterias y otros patógenos; la diferencia fundamental entre ambos métodos es la fuente de energía que utiliza para destruir microorganismos. Mientras la pasteurización se basa en la utilización de calor, la irradiación se basa en la utilización de la energía de la radiación ionizante. La FDA insiste que ningún método de conservación es un sustituto de los procedimientos seguros de manipulación de alimentos (EPA, 2011).

La irradiación es una opción cuarentenaria viable, debido a que presenta menor potencialidad de causar daño a la fruta (National Mango Board, 2010). El objetivo de este tratamiento fitosanitario es prevenir la introducción o propagación de plagas reguladas entre países. Como tratamiento fitosanitario, la irradiación reduce el riesgo de introducción obteniendo ciertas respuestas conocidas como

“puntos finales” en la plaga objetivo, los cuales son: incapacidad para salir o volar, inactivación o desvitalización (las semillas pueden germinar pero las plantas no crecen o los tubérculos, bulbos o esquejes no brotan), mortalidad o esterilidad (incapacidad para reproducirse) (USDA/APHIS, 2010).

La dosis de irradiación permitida varía dependiendo del tipo de alimento, para la gran mayoría de los alimentos, el límite de radiación es menor a 10 kGy. La EPA establece los límites de dosis de irradiación para los diferentes tipos de alimentos, como se muestra en el Cuadro 6, los frutos frescos no pueden irradiarse a dosis mayores de 1 kGy. En este rango de dosis, considerada como baja, el propósito es inhibición de la brotación (0.06 a 0.20 kGy), desinfestación de insectos (0.15 a 1 kGy), desinfección de parásitos (0.3 a 1 kGy) y retraso de la maduración (en frutas frescas, 0.5 a 1 kGy) (Kava, 2003).

Cuadro 6. Dosis máximas de irradiación permitidas para diferentes tipos de alimentos

<b>Tipo de alimento</b>	<b>Dosis (kGy)</b>
Frutas frescas	1
Aves	3
Espicias, condimentos	30

EPA, 2011

De acuerdo con el ININ (2012), la técnica de irradiación con rayos gamma, presenta varias ventajas, entre ellas, no deja residuos en el producto, no se requiere periodo de cuarentena (los productos pueden consumirse de inmediato), no se necesita sacar el producto de su empaque y así se previene la contaminación bacteriana posterior, no requiere empaques especiales. La irradiación es un método físico comparable con la pasteurización, enlatado o congelación, su costo es competitivo, el proceso está avalado por diversos organismos, tales como: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la



Administración de Alimentos y Drogas (FDA), la Organización de la Alimentación y de la Agricultura (FAO), la Comisión *Codex Alimentarius* y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y es un proceso que se practica en más de 50 países, incluyendo México.

Además, Jacobi y Gowanlock (1995), reportado por Osuna *et al.* (2005), manifestaron que el tratamiento hidrotérmico prolongado puede provocar ruptura de células y destrucción del mesocarpio, lo cual causa un ablandamiento más rápido y la aceleración del proceso de madurez.

En una investigación realizada por la National Mango Board, en el año 2011, para conocer la actitud de los consumidores de EUA al mango de importación, encontraron que de una muestra de 500 personas, el 50 % eran compradores de mango, de los cuales el 46 % correspondían a compradores actuales, de los cuales se observó que los consumidores presentaban un gran interés por consumir mango irradiado, de éstos, el 13 % de los consumidores de mango mencionaron que definitivamente lo comprarán y el 22 % mencionaron que probablemente lo comprarían.

## **II.8 Tecnologías poscosecha**

Las principales causas de pérdidas poscosecha de mangos son la fisiología normal de la fruta que produce importantes disminuciones en el peso, debido a la deshidratación, textura y apariencia, y el deterioro causado por hongos y plagas, por lo que se han realizado numerosos estudios para adecuar tratamientos, que aplicados durante la poscosecha, ayuden a prolongar su conservación, garantizando de esta manera que las frutas puedan ser almacenadas, transportadas y comercializadas con la calidad requerida por los clientes (Spalding y Reeder, 1978).

### **II.8.1 Atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC)**

En las atmósferas modificadas (AM) o controladas (AC) se eliminan o añaden gases para crear una composición atmosférica alrededor del producto que difiera de aquella del aire (78.08 % de N<sub>2</sub>, 20.95 % de O<sub>2</sub>, y 0.03 % de CO<sub>2</sub>). Usualmente esto involucra la reducción de oxígeno (O<sub>2</sub>) y/o la elevación de las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Kader, 2007).

Las AM y AC solamente difieren en el grado de control, la AC es más exacta. Las AM consisten en la alteración de la composición del gas atmosférico normal. La AC es una atmósfera modificada que se mantiene con una pequeña variación en la composición de los gases o por la adición o remoción de ciertos gases. Las AC como tratamiento poscosecha para frutas y hortalizas, tienen un potencial para controlar insectos, bajo las condiciones de tiempos cortos a exposición a bajos niveles de O<sub>2</sub> (<1 %) y/o altos de CO<sub>2</sub> (>20 %) (Ke y Kader, 1992).

El uso de AM o AC debe considerarse como un complemento al manejo de la temperatura y humedad relativa apropiadas. El potencial del beneficio o riesgo de las AM depende del producto, cultivar o variedad, edad fisiológica, composición atmosférica, así como de la temperatura y duración del almacenamiento.

Los esfuerzos continuos para desarrollar la tecnología de AM o AC han permitido su uso creciente durante el transporte, el almacenamiento temporal o el almacenamiento a largo plazo de los productos hortofrutícolas destinados al mercado en fresco o al procesamiento. También se puede utilizar un tratamiento previo al almacenamiento con niveles elevados de CO<sub>2</sub> para algunos frutos. Asimismo, se pueden aplicar altas concentraciones de O<sub>2</sub> (por arriba del 21 %) en combinación con elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, en algunos casos, durante el transporte, el almacenamiento o ambos. El monóxido de carbono (CO) se utiliza

muy restringidamente como un componente añadido a las AM para retrasar el pardeamiento y controlar la descomposición (Kader, 2007).

## **II.8.2 Recubrimientos**

La mayoría de los órganos vegetales poseen una cubierta protectora de cera natural y de cutina sobre las paredes superficiales de células epidérmicas. Esta película externa recubre la epidermis de manera ininterrumpida; además posee una compleja ornamentación, típica para cada especie; su superficie puede ser rugosa, surcada o lisa, con un grosor variable (Walton y Kolattukudy, 1972 citado por Pérez-Rivero *et al.*, 2004). Debido al deterioro que sufre la cutícula de los frutos de mango, se han estudiado alternativas que ayuden a mantener las características de esta cubierta natural y de esta forma contribuir a la calidad del mismo (Pérez-Rivero *et al.*, 2004).

El uso de películas y recubrimientos para mejorar la calidad y vida comercial de frutas y hortalizas es común, ya que tienen la capacidad de retardar la velocidad de respiración, disminuir la pérdida de vapor de agua y emanación de compuestos volátiles y de combatir, controlar y/o prevenir el crecimiento de larvas y microorganismos (Martínez, 2009; Bourtoom, 2008). En frutos y hortalizas también se ha observado que las bajas presiones de oxígeno, generadas en el interior de los frutos por las películas y recubrimientos tienen efectos benéficos sobre la fisiología del producto, tales como la reducción de la tasa respiratoria, la inhibición de la producción y acción del etileno, así como la reducción de algunas fisiopatías (Ke y Kader, 1992).

### **II.8.2.1 Recubrimientos comestibles**

Un recubrimiento es una delgada capa de material comestible formado sobre un alimento a partir de una emulsión o hidrodispersión que es aplicado por atomización, inmersión, aplicación mecánica o manual con brochas. Además, estos recubrimientos son biodegradables con lo cual se evita la acumulación de

desechos y problemas ambientales (Bourtoom, 2008). La aplicación de recubrimientos comestibles proporciona muchas ventajas respecto a la interacción de los alimentos frescos con el medio que los rodea, como la disminución del intercambio gaseoso ( $O_2$  y  $CO_2$ ), migración de grasas y aceites, y transporte de solutos, mejorando las propiedades mecánicas y la integridad de los alimentos, además de la retención de los compuestos volátiles (Kester y Fennema, 1986 citado por Martínez, 2009).

### **II.8.2.2 Encerado**

La aplicación de recubrimientos céreos es una alternativa para mantener la calidad de los frutos, debido a que mejora su apariencia (brillo) y prolonga la vida comercial por reducción de la pérdida de peso, intercambio de gases entre la fruta y el medio ambiente, así como previniendo la penetración y proliferación de esporas de microorganismos que causan pudriciones. Si se utiliza la formulación adecuada, el recubrimiento no causa efectos secundarios adversos en el fruto (Díaz-Sobac *et al.*, 1996; Bourtoom, 2008).

Las ceras (notablemente parafina, carnauba, candelilla y abeja) son las barreras más eficientes para proteger contra la pérdida de humedad y se ha demostrado que mantiene la calidad, contribuyendo a preservar la firmeza y reduciendo las pérdidas de peso de los frutos de mango en poscosecha. La capa de cera debe tener un grosor y una permeabilidad adecuada, para no crear condiciones anaeróbicas dentro del fruto (PROSERCO, 2007; Cáceres *et al.*, 2003; Bourtoom, 2008)

En un estudio realizado por Pérez *et al.* (2005), se evaluó la influencia de la aplicación de una cera comestible y un tratamiento hidrotérmico en mango 'Tommy Atkins', e indicaron que los mangos encerados y tratados hidrotérmicamente por 46 °C durante 90 min, presentaron la menor pérdida de peso (4.5 % y 5.4 %, para frutos tratados y control, respectivamente), así como un

retraso en la maduración y la mayor firmeza al finalizar el tiempo de almacenamiento (4.3 kgF y 3.4 kgF, para los frutos tratados y control, respectivamente). La reducción en la pérdida de peso refleja la importancia de estas ceras comerciales a fin de proveer brillo y protección poscosecha a estos frutos (Zambrano *et al.*, 1997).

Dentro de las desventajas de usar ceras es que los frutos presentan una apariencia artificial, lo cual en algunos casos, no agrada a los consumidores, debido a que éstos prefieren los colores y brillos naturales de los frutos; también añaden un costo extra debido al procesamiento que se le debe dar al fruto antes de llevarlo al mercado, así como el equipo y material necesario para ésta práctica; otra desventaja es que si se aplica una cera incorrectamente (tiempo y temperatura de exposición), puede provocar quemaduras en la piel de las frutas, además la aplicación de éstas puede causar blanqueamiento en la superficie de las frutas si fueron sometidas a calor o humedad excesivo; otra desventaja es que las ceras restringen el intercambio de gases a través de la piel, lo cual reduce los niveles internos de O<sub>2</sub> y se incrementan los niveles de CO<sub>2</sub>, los bajos niveles de O<sub>2</sub> pueden provocar condiciones anaerobias, y por lo tanto generación de sabores extraños así como un cambio de color en la piel (Postharvest Handling Technical Bulletin, 2004).

Aunque se ha demostrado la efectividad del uso de ceras en la conservación de frutas, también se ha indicado que el ambiente de atmósfera modificada que crean al interior de los frutos, puede no solo modificar el metabolismo del fruto, sino también el comportamiento de las larvas de mosca de la fruta que lo infesten. Por ello la USDA no certifica el uso de ceras en los frutos tratados por irradiación dado que incrementan la tolerancia de las larvas a la irradiación.

Debido a lo anterior, es importante aplicar tecnologías adecuadas que permitan controlar la pérdida de peso de los frutos sin modificar la composición de

los gases de la atmósfera interna o externa de los frutos.

### **II.8.2.3 Empaques perforados**

La tasa de flujo de los gases a través de una película perforada es una suma de la difusión del gas a través de la perforación y la penetración del gas a través de la película polimérica. En general, el flujo total de gas a través de las perforaciones es mucho mayor que el movimiento del gas a través de la película. La tasa de intercambio de gases a través de las perforaciones en una película es mucho mayor que a través de una película continua con una perforación de 1 mm en 0,0025 mm (1 mil) de espesor en una película de polietileno de baja densidad. Como era de suponerse, los empaques perforados son más adecuados para productos vegetales con alta demanda de O<sub>2</sub> (Mangaraj *et al.*, 2009).

### **II.8.2.4 Empaques microperforados**

Enfoques alternativos para proporcionar una alta tasa de transmisión de oxígeno, especialmente en aplicaciones en donde la superficie del paquete tiene una zona limitada para el intercambio de gases, se incluyen películas con orificios o poros. Los empaques microperforados están diseñados para permitir el paso de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, vapor de agua, N<sub>2</sub>, entre otros, con el fin de balancear la concentración de gases dentro del empaque; por lo general se dividen en dos categorías: aquellos que son intencionalmente perforados con orificios pequeños que permiten el paso de gases a una muy baja tasa de flujo y aquellos que contienen aditivos, agregados intencionalmente, que interfieren con la continuidad de los materiales plásticos y por lo tanto alteran su tasas de transmisión de gases (Ben-Yehoshua *et al.*, 1994; Mangaraj *et al.*, 2009).

Las películas microperforadas y microporosas permiten un intercambio de gases más rápido que el intercambio producido por una película plástica. La perforación mantiene muchos de los buenos resultados del sellado, como la reducción de la pérdida de agua y el alivio de la escasez de agua, sin los posibles

efectos nocivos de la anaerobiosis, como sabores extraños, fermentación o daños por CO<sub>2</sub> o incrementar la tolerancia de insectos plaga a los tratamientos por irradiación. Las técnicas del envasado con películas microperforadas han demostrado su eficacia en retrasar el deterioro de varios productos (Mangaraj *et al.*, 2009; Keawpet y Kanlayanarat, 2002). En un estudio realizado por Toivonen (1996), donde se almacenó brócoli con una película microperforada por 17 días a 1°C y posteriormente transferidos a 13°C por 5 días, se registró una pérdida de peso del 13 %, mientras que en brócoli con empaque microperforado la pérdida de peso fue de alrededor del 5 %. En otro estudio realizado por Rosa *et al.* (2001), donde trabajaron con mangos de la variedad 'Tommy Atkins' y 'Keitt', en el cual usaron empaques de polietileno microperforados para mantener una atmósfera modificada y ellos encontraron que éste tratamiento retrasa la maduración y reduce drásticamente la pérdida de peso.

Se han realizado avances importantes en las tecnologías de películas poliméricas durante los últimos años, una de las nuevas películas comerciales es PrimePro<sup>®</sup> (desarrollada por Chantler Packaging), la cual fue diseñada para extender la vida útil de frutas y verduras frescas (Figura 15).



Figura 15. Empaque microperforado en tomates (Chantler Packaging, 2006).

PrimePro<sup>®</sup> es una película plástica de polietileno que contiene un aditivo patentado. Este aditivo es diseñado especialmente para eliminar el etileno del aire

que envuelve el producto fresco. Al eliminar el etileno, se retarda el proceso de maduración y descomposición, extendiendo dramáticamente el tiempo de conservación de frutas y verduras frescas empacadas. Además de deshacerse del etileno, PrimePro<sup>®</sup> permite que el aire ingrese a la bolsa y que la humedad se libere de esta, permitiendo el intercambio correcto de gases a través del empaque, y previniendo infecciones bacterianas y condiciones anaeróbicas. También contiene un aditivo anti-humedad (anti-fog) para reducir la formación de gotas de agua dentro del paquete, lo cual es una fuente potencial para la descomposición (PrimePro<sup>®</sup>, 2010).

### **II.8.3 Etileno y 1-metilciclopropeno (1-MCP)**

El etileno es sintetizado a partir del aminoácido metionina. La metionina es catalizada por la enzima SAM sintasa, para obtener la S-adenosilmetionina (SAM); la S-adenosilmetionina es catalizada por la ACC sintasa para obtener el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC); el ACC es catalizado por la ACC oxidasa para finalmente obtener el etileno (Figura 16) (Wang *et al.*, 2006).

El etileno (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>), químicamente, es la hormona más simple de la plantas. Influye en la maduración de las frutas, estimula las plantas positiva o negativamente, dependiendo del tipo de cultivo, la edad de la planta, temperatura, concentración, sensibilidad a dicha hormona y del tiempo de exposición (Adams y Yang, 1979). El etileno es responsable de la maduración de las frutas, inducción floral, activador de enzimas responsables del ablandamiento de la pared celular, pérdida de la clorofila, aborto de partes de las plantas, acortamiento de tallo, abscisión, encorvamiento de tallos y dormancia (Blankenship, 2001).

El etileno es utilizado comercialmente para madurar bananas, tomates, y peras, entre otros. Existen diversos productos comerciales que liberan etileno, como el Ethephon y Ethrel. En contraste, existen diversos productos que bloquean la acción del etileno, provocando un alargamiento de la vida de anaquel, debido a que ésta está estrechamente relacionada con mantener bajos niveles de etileno



(Jiang y Joyce, 1999), uno de éstos compuesto es el 1-metilciclopropeno (1-MCP) (Blankenship, 2001).

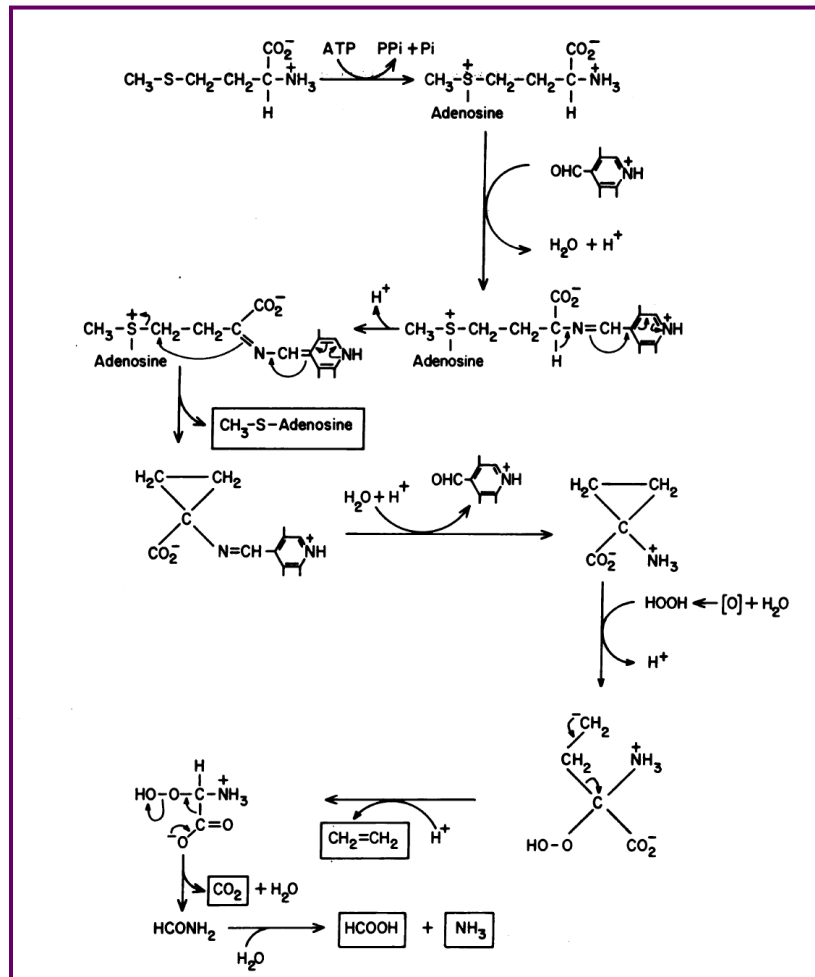


Figura 16. Síntesis de etileno a partir de metionina (Adams y Yang, 1979).

En condiciones estándar de presión y temperatura, el 1-MCP es un gas con un peso molecular de 54 g/mol y fórmula C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>. Este compuesto compite con el etileno por los sitios de unión de los receptores de etileno (Figura 17), evitando que éste se una a dichos receptores en la célula y con ello bloquea la ruta de señales y su expresión a nivel molecular, por lo que finalmente las respuestas asociadas al etileno no se dan o se ven retrasadas (Blankenship, 2001).

El 1-MCP tiene una mayor afinidad por los sitios de unión del etileno que el propio etileno, esto es, unas 10 veces más (Blankenship, 2001; Blankenship y Dole, 2003). En este caso, el etileno no puede activar la cascada de señales que llevan a la síntesis del mismo, la maduración del fruto y reacciones que ocurren como un mecanismo contra patógenos. Se ha reportado que los procesos de maduración y senescencia en donde se involucran al etileno se desarrollan posteriormente por la síntesis de nuevos sitios de unión (Blankenship, 2001).

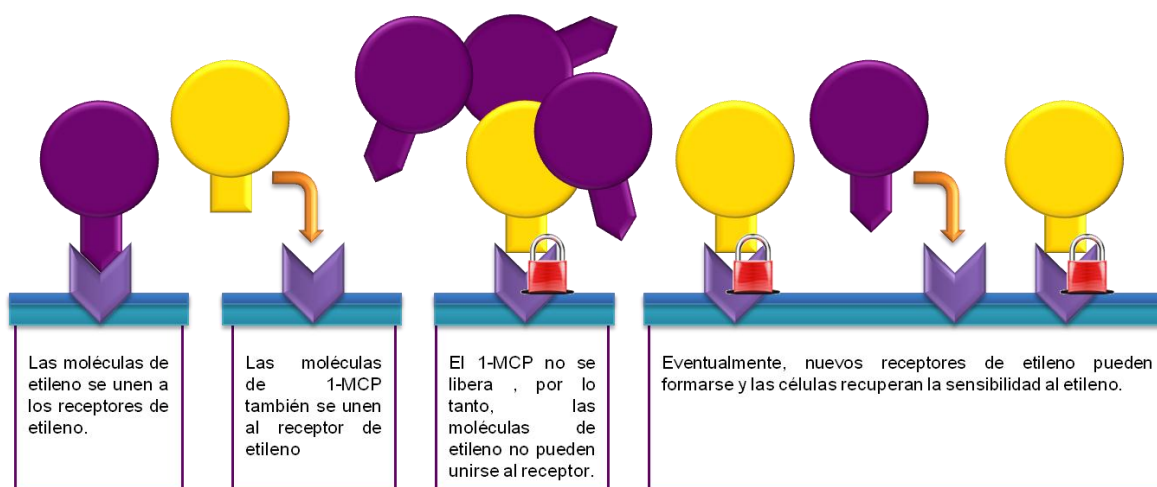


Figura 17. Efecto del 1-MCP sobre los receptores en membrana del etileno (Modificado de Blankenship, 2001).

La eficacia de este producto depende de varias cosas, entre ellas, la concentración, el tiempo, la temperatura y el estado de madurez del fruto. El 1-MCP es un compuesto seguro, pues no deja residuos detectables, por lo tanto, se puede utilizar en pequeñas o grandes operaciones (Blankenship, 2001).

El efecto de este compuesto se ha estudiado en diversos frutos como por ejemplo en Mango 'Kent' donde la aplicación de 300 mL de 1-MCP, permitió un incremento en la vida de anaquel hasta de 27 días y una pérdida de firmeza más lenta que los frutos control (Osuna-García *et al.*, 2005. De igual forma Muy-Rangel *et al.* (2009), aplicaron 400 mL de 1-MCP a frutos de mango 'Ataulfo' con lo que retrasaron 3 días la maduración y redujeron la pérdida de firmeza, así como las

actividades de las enzimas poligalacturonasa y celulasa. Aún no se tienen reportes de su efectividad sobre mango 'Manila'.

En un estudio realizado por Jiang y Joyce (2000), encontraron que al aplicar 1-MCP en diferentes concentraciones en mango cv. 'Zihua', lograron reducir la pérdida de firmeza.

#### II.8.4 Enzimas asociadas al ablandamiento de los frutos

Entre las características que contribuyen a la calidad del mango, la apariencia y la firmeza suelen ser dos de los atributos más importantes. La progresiva pérdida de firmeza en frutos de mangos es consecuencia del proceso de maduración, lo cual está asociado a cambios en la pared celular en polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa (Figura 18). También es debida al cambio en la permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares. El principal fenómeno relacionado con el ablandamiento es la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular (Lira *et al.*, 2008).

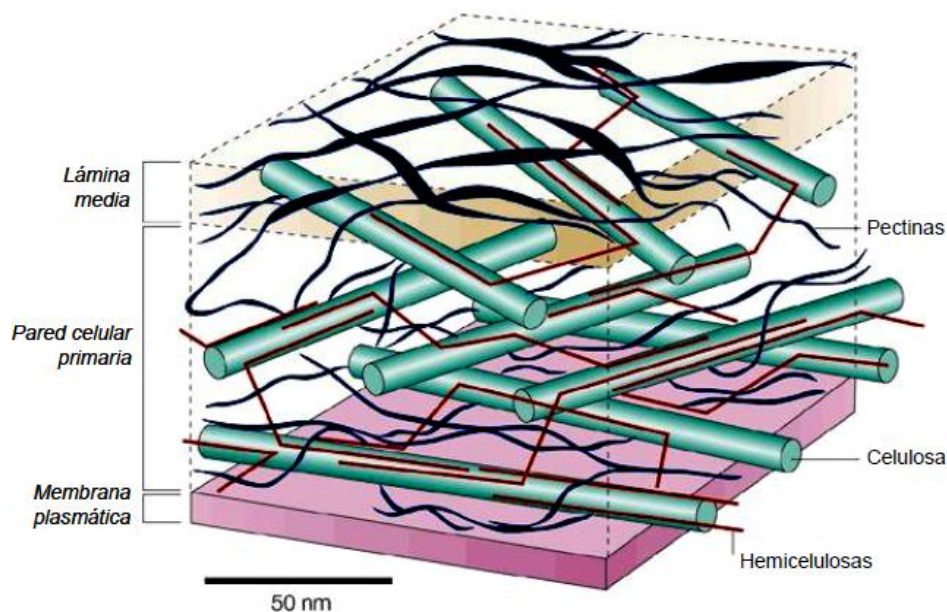


Figura 18. Componentes de la pared celular (Guillermo, 2007).

La pectina es un conjunto heterogéneo de polímeros altamente hidratados, ricos en ácido  $\alpha$ -D-galacturónico. En general, las pectinas son el grupo de componentes mayoritarios en la pared celular de los frutos y pueden llegar a conformar la mitad del contenido polimérico de la pared (Guillermo, 2007). Las pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas (Figura 19), como pectinesterasas, pectatoliasas, poligalacturonasas, entre otras como la actividad celulolítica (Shaw *et al.*, 1998 reportado por Lira *et al.*, 2008).

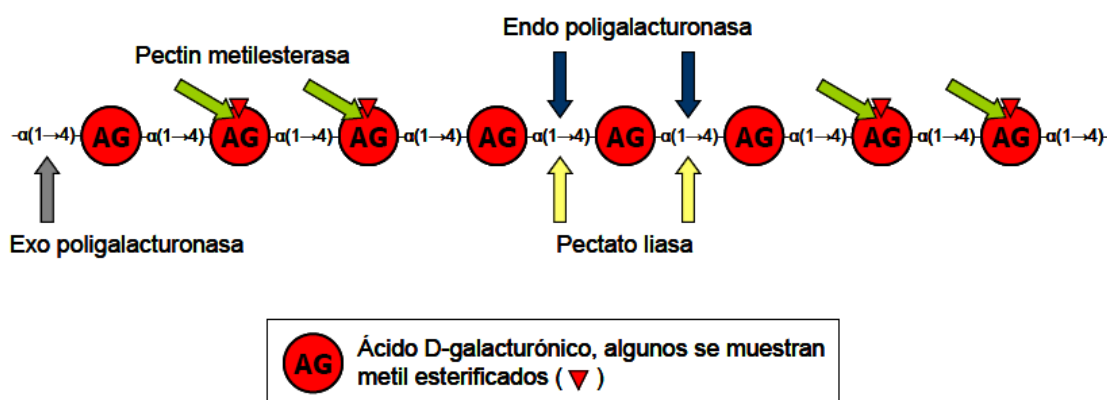


Figura 19. Principales enzimas que actúan sobre el homogalacturonano (Guillermo, 2007).

Las modificaciones que sufre la pared celular a lo largo del desarrollo y la maduración de los frutos ocurren fundamentalmente como consecuencia de la acción de una gran cantidad de enzimas y proteínas sobre la misma. Si bien se han propuesto mecanismos de modificación alternativos, tales como la hidrólisis de polímeros por la acción de radicales libres, ha prevalecido el concepto de que sería este grupo de proteínas y enzimas el principal responsable. Es de destacar que cada uno de estos tipos de enzimas está representado por familias de genes, cuya expresión puede coincidir en cierto estadio. El hecho que habitualmente sea la expresión de más de un gen la causa de cierta actividad enzimática, sugiere mecanismos redundantes tendientes al ablandamiento del fruto. Las enzimas mejor caracterizadas son poligalacturonasas y pectinesterasas.

#### **II.8.4.1 Poligalacturonasas (PG)**

Son un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de las uniones  $\alpha$ -1,4 entre residuos de ácido galacturónico (Figura 19), característico de los polímeros pécticos. En frutos se han descrito tanto endo- (EC 3.2.1.15) como exopoligalacturonasas (EC 3.2.1.67) (Fischer y Bennett, 1991, reportado por Guillermo, 2007). Las PG actúan fundamentalmente sobre los homogalacturonanos, los cuales son sintetizados y secretados al espacio apoplástico con un alto grado de metilesterificación. Un cierto grado de demetilación sería necesario para que los homogalacturonanos puedan ser hidrolizados por endo-PG, por lo que la actividad *in vivo* estaría influenciada por una previa acción de pectinesterasa (Guillermo, 2007). Díaz-Sobac *et al.* (1997), reportaron que la correlación lineal de la actividad de la PG y la textura de los frutos fue baja en frutos recubiertos con una película comestible, y por el contrario, fue alta para los frutos control, esto sugiere que dicha actividad tiene un efecto directo sobre el ablandamiento de los tejidos de frutos control, pero no en frutos con el recubrimiento. También reportaron que la alta actividad de la PG puede ser atribuida a una previa desesterificación de sustancias pécticas catalizada por la PE.

#### **II.8.4.2 Pectinesterasas (PE)**

Catalizan la hidrólisis de metil ésteres del C-6 de residuos de ácido galacturónico, lo cual genera la demetilación de las pectinas (Figura 19). Esta demetilación facilita la formación de puentes de  $\text{Ca}^{+2}$  entre polímeros pécticos que permiten un refuerzo de la estructura de la pared. Se cree que algunas isoformas de PE actúan en forma localizada, es decir demetilan zonas específicas y acotadas. Sin embargo, se ha descrito la presencia en tejidos vegetales de pectinas con demetilación aleatoria lo que sugiere la presencia de PE con la capacidad de actuar de esta manera, tal como lo hacen ciertas isoformas fúngicas. Dado que por un lado las PE actúan permitiendo la formación de puentes de  $\text{Ca}^{+2}$  y por otro vuelven más susceptibles a los polímeros pécticos a la degradación por

PG, aparentemente PME intervendría tanto en el refuerzo como en el debilitamiento de la pared dependiendo de su modo de acción. En frutillas se ha descrito actividad PME detectable que aumenta durante la maduración y desciende en estadios de sobremaduración. Más recientemente se han clonado y caracterizado cuatro genes que codifican PE, FaPE1 y FaPE4, pero solamente FaPE1 está asociada a la maduración (Guillermo, 2007).

Lira *et al.* (2008), puntualizaron que la de PE en mango desciende conforme avanza el estado de maduración. Así mismo reportan que la mayor actividad de PE lo mostró el tejido de pulpa de mango 'Ataulfo', en el estado preclimatérico, con un valor de 2.97 U/mg de proteína\*h y para el tejido de piel, lo reportó la variedad 'Keitt' en el preclimatérico con un valor de 0.13 U/mg de proteína\*h.

Díaz-Sobac *et al.* (1997), reportaron que hubo un decremento en la actividad de la PE de alrededor de 6 veces en frutos control de mango 'Manila', mientras que la disminución de la actividad en frutos recubiertos con una película comestible durante los primeros 8 días de almacenamiento fue de 3 veces, y posteriormente aumento 2 veces dicha actividad. Además reportaron que hubo una pobre correlación entre PE y la textura de frutos de mango 'Manila'.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

El mango 'Manila' es la segunda variedad más importante producida en México, tiene alta calidad sensorial y preferencia dentro de los consumidores. No obstante, este mango no participa en el mercado de exportación debido a su sensibilidad al tratamiento hidrotérmico y su alta tasa de pérdida de humedad que limita su vida de anaquel a dos semanas. El tratamiento de irradiación es una alternativa cuarentenaria en lugar del tratamiento hidrotérmico, que permite eliminar la mosca de la fruta, pero aún no se ha logrado disminuir su alta tendencia a la pérdida de humedad y firmeza. Por ello es necesario generar una alternativa viable para mejorar su vida de anaquel y hacer posible su exportación.

## IV. OBJETIVOS

### IV.1 Objetivo general

Evaluar diferentes tecnologías poscosecha para conservar la calidad y la alargar la vida de anaquel de mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Manila'.

### IV.2 Objetivos específicos

1. Identificar la concentración óptima de 1-MCP para la aplicación en frutos de mango 'Manila'.

2. Evaluar la influencia de las aplicaciones de la irradiación, el uso de películas microperforadas y del 1-MCP sobre:

Cambios en la calidad visual.

Cambios en la calidad fisicoquímica.

Cambios en la calidad fisiológica.

Cambios en la actividad enzimática de pectinesterasa y poligalacturonasa.



## V. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos planteados, se emplearon los materiales, estrategia experimental, métodos y diseño experimental que a continuación se describen.

### V.1 Identificación de la concentración óptima para la aplicación de 1-MCP

Para identificar la concentración óptima de 1-MCP se utilizó un grupo de 44 frutos de mango 'Manila', los cuales se obtuvieron del mercado local. La aplicación del 1-MCP se realizó en contenedores de vidrio de 19 litros de capacidad; para ello se calculó la cantidad exacta de producto "SmartFresh" que debía generar una concentración de 0.3 y 0.5 ppm en el espacio vacío de los contenedores. La cantidad calculada se disolvió con agua destilada a 40 °C e inmediatamente colocada dentro de los contenedores con los frutos; posteriormente el sistema se cerró cuidadosamente. El tiempo de tratamiento fue de 5 horas. Las concentraciones de 1-MCP aplicadas fueron en base a lo reportado por Osuna *et al.* (2005).

Los frutos se almacenaron por 19 días a 13 °C dentro de una bolsa microperforada. Se midieron la pérdida de peso (% pp) y la concentración de sólidos solubles totales (°Bx) así mismo, al final del almacenamiento se realizó una tinción con cloruro de tetrazolio para observar la viabilidad de la pulpa.

### V.2 Materiales

#### V.2.1 Origen y selección del material biológico

Se utilizaron frutos de mango cv. 'Manila' en  $\frac{3}{4}$  de madurez fisiológica o 75 % maduro que, de acuerdo al estándar de madurez en mango para variedades de exportación propuesto por EMEX, A. C. (Empacadoras de Mango de exportación), corresponde al estado sazón para el mango 'Ataulfo' (Figura 20a), dado que el mango 'Manila' no es de exportación, no está estandarizado su estado

de madurez. Los frutos para este trabajo presentaron un grado avanzado de coloración amarilla de la pulpa (100 % de color amarillo en el centro del fruto), como se puede observar en la Figura 20b.



Figura 20. Estado de madurez de frutos de Mango. a) Estándar de madurez en mango para variedades de exportación (Emex, 2012). b) Mango cv. 'Manila' con estado de madurez fisiológico de  $\frac{3}{4}$ .

Los frutos fueron cosechados en el mes de mayo en la huerta “La Balsa” situada en el municipio de Cuajinicuilapa, Guerrero. El estado de madurez de los frutos se identificó mediante los índices de madurez como el llenado de hombros, el color de la piel, y por el personal de la propia huerta. Una vez cosechados los frutos, fueron colocados en cajas de plástico de 24 kg, enfriadas ligeramente con agua corriente y llevadas a la empacadora “Mangueras del sur”. El personal de la empresa clasificó los frutos y separó los de calibre 16. Estos fueron sumergidos en una solución de NaCl al 1 % para separarlos por madurez; los frutos que flotan en la solución son fisiológicamente inmaduros, mientras que los que presentan una densidad específica mayor, son frutos fisiológicamente maduros (Lizada, 1991). Posteriormente, los frutos fueron regresados a las cajas de plástico y lavados nuevamente para eliminar el exceso de NaCl.

### **V.3 Estrategia experimental**

En la Figura 21 se muestra la estrategia general que se siguió para el desarrollo de los experimentos.

### **V.4 Métodos**

#### **V.4.1 Tratamiento para control de antracnosis, empaque y transporte de los frutos**

Una vez separados los frutos con base en su estado de madurez por flotación en NaCl 1%, se aplicó un tratamiento hidrotérmico (para el control de la antracnosis), que consistió en sumergir los frutos en agua a 53 °C por 7 min en los tanques de tratamiento cuarentenario utilizados para la fruta de exportación, así mismo, el control de la temperatura (Anexo 2) y tiempo de exposición se realizó utilizando el mismo equipo de esos tanques. Terminado ese tratamiento, los frutos fueron escurridos y empacados en cajas de cartón identificadas de acuerdo al respectivo tratamiento a que serían sometidos.

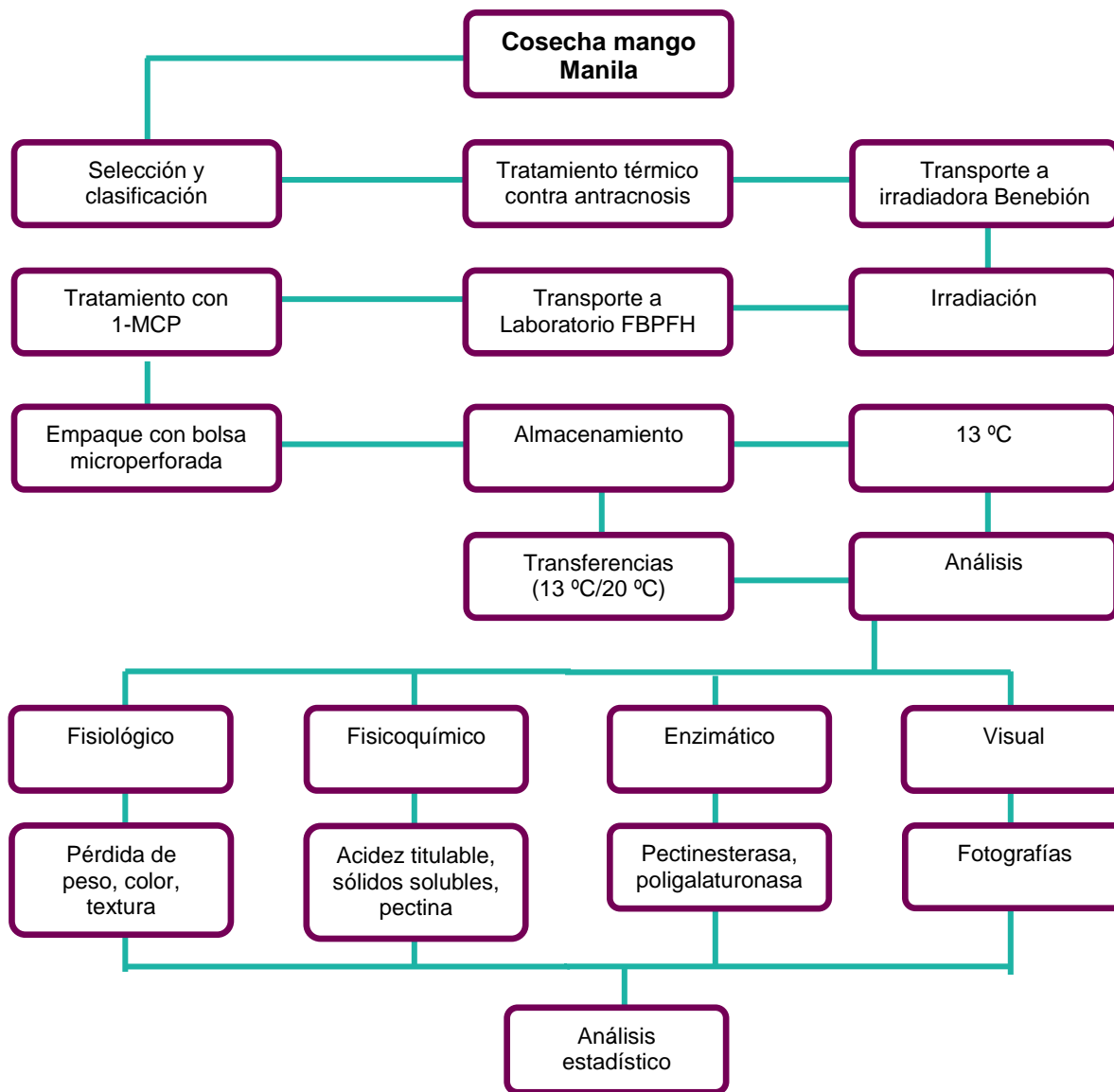


Figura 21. Estrategia general aplicada durante el desarrollo del experimento.

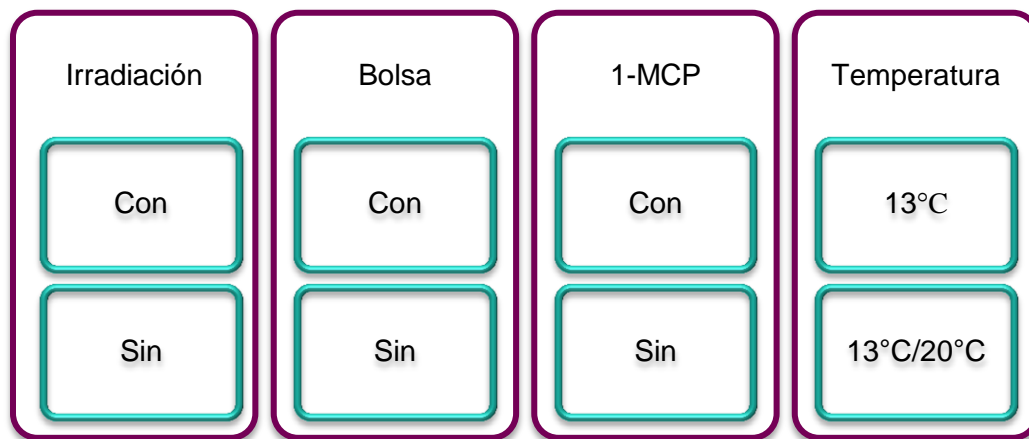
Todos los frutos del experimento se transportaron desde el lugar de origen hasta las instalaciones de la irradiadora Benebion® en Matehuala, San Luis Potosí, para irradiar los frutos correspondientes de acuerdo al diseño experimental. Posteriormente, los frutos se trasladaron al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de la Universidad Autónoma de Querétaro, para su distribución de tratamientos, almacenamiento y análisis de los mismos. La temperatura durante las operaciones de transporte fue monitoreada a través de un

termómetro digital con almacenamiento de datos individual (Lascar EL-USB-2) (Anexo 1).

## V.5 Diseño experimental

El estudio se realizó aplicando un diseño factorial de cuatro factores, siendo los factores de estudio: irradiación, bolsa, 1-MCP y temperatura, con dos niveles (con y sin la aplicación del factor), como se muestra en el Cuadro 7, lo cual generó un total de 16 tratamientos los cuales se identifican y explican en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Diseño factorial



Durante el periodo de almacenamiento se llevaron a cabo seis muestreos, en cada uno de los cuales se tomaron dos réplicas de tres frutos (unidad experimental) a los cuales se les determinaron las variables de respuesta.

### V.5.1 Unidad experimental

La unidad experimental fueron tres frutos de cada tratamiento y los análisis se realizaron por duplicado.

De acuerdo a los análisis realizados, el número total de frutos por muestreo fue de 96 lo cual dio un total de 480 frutos en todo el experimento (Cuadro 9).

Cuadro 8. Identificación y condiciones de experimentación para cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	Irradiación	1-MCP	Bolsa	Temperatura
CI/SM/SB/13	Con Irradiación	Sin 1-MCP	Sin bolsa	13°C
CI/SM/SB/T	Con Irradiación	Sin 1- MCP	Sin bolsa	13°C/20°C
CI/SM/CB/13	Con Irradiación	Sin 1- MCP	Con Bolsa	13°C
CI/SM/CB/T	Con Irradiación	Sin 1- MCP	Con Bolsa	13°C/20°C
SI/SM/SB/13	Sin irradiación	Sin 1- MCP	Sin bolsa	13°C
SI/SM/SB/T	Sin irradiación	Sin 1- MCP	Sin bolsa	13°C/20°C
SI/SM/CB/13	Sin irradiación	Sin 1- MCP	Con bolsa	13°C
SI/SM/CB/T	Sin irradiación	Sin 1- MCP	Con bolsa	13°C/20°C
SI/CM/SB/13	Sin irradiación	Con 1- MCP	Sin bolsa	13°C
SI/CM/SB/T	Sin irradiación	Con 1- MCP	Sin bolsa	13°C/20°C
SI/CM/CB/13	Sin irradiación	Con 1- MCP	Con bolsa	13°C
SI/CM/CB/T	Sin irradiación	Con 1- MCP	Con bolsa	13°C/20°C
CI/CM/SB/13	Con Irradiación	Con 1- MCP	Sin bolsa	13°C
CI/CM/SB/T	Con Irradiación	Con 1- MCP	Sin bolsa	13°C/20°C
CI/CM/CB/13	Con Irradiación	Con 1- MCP	Con bolsa	13°C
CI/CM/CB/T	Con Irradiación	Con 1- MCP	Con bolsa	13°C/20°C

Cuadro 9. Cantidad de frutos analizados por muestreo.

Temperatura	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Total (frutos)
<b>13°C</b>	48	48	48	48	48	-	240
<b>13°C/20°C</b>	-	48	48	48	48	48	240
<b>Total</b>	48	96	96	96	96	48	<b>480</b>

Con los datos obtenidos del estudio se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados. Cuando se encontraron diferencias significativas, se realizaron pruebas de comparación de medias por t de Student o Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) utilizando el paquete estadístico JMP 8.0.1.

## **V.5.2 Variables de respuesta**

Las variables de respuesta analizadas fueron las siguientes:

- Pérdida fisiológica de peso (% pp)
- Cambio de color interno y externo
- Resistencia a la compresión (firmeza)
- Contenido de sólidos solubles totales (°Bx)
- Contenido de acidez titulable (% ác. cítrico)
- Grado de marchitez (únicamente en el penúltimo muestreo)
- Actividad enzimática de pectinesterasa y poligalacturonasa

## **V.6 Análisis de las variables de respuesta**

### **V.6.1 Tratamiento de irradiación**

Las cajas de frutos que fueron sometidas a irradiación, fueron colocadas al centro de una tarima de 120 X 120 cm en la que se colocaron cuatro estibas de 11 ó 12 cajas de mango cada una (Figura 22). La dosis programada para aplicar a los frutos fue de 0.4 a 0.6 kGy mediante un irradiador Gamma industrial con fuente de  $^{60}\text{Co}$ , de la compañía Benezion<sup>®</sup> localizada en Matehuala, San Luis Potosí.

La dosis de irradiación absorbida fue registrada mediante dosímetros de alanina (Figura 22c), que se colocaron en el interior y exterior de cada una de las cajas del centro, las cuales representan las zonas menos y más expuesta, respectivamente (Figuras 22a y 22b). La irradiación se aplicó en una sola etapa,

en la cual la tarima se expuso a la fuente de irradiación  $^{60}\text{Co}$  en 20 posiciones distintas frente a la fuente durante 4.5 min en cada una de ellas.

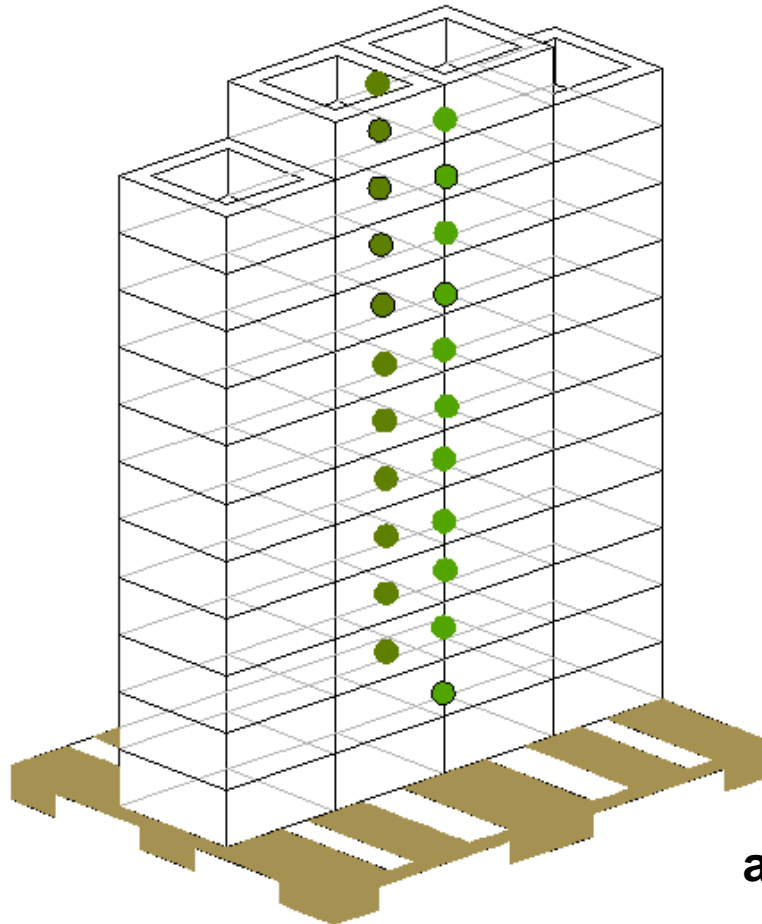


Figura 22. Dosímetros. a) Distribución de dosímetros de alanina (en color verde) dentro y fuera de las cajas de frutos que conformaron la tarima, b) Dosímetro de alanina ubicado dentro de la caja. c) Dosímetro de alanina.



Después de la aplicación de la dosis, los dosímetros fueron retirados y analizados mediante el equipo de resonancia de espín electrónico (ESR) (Bruker BioSpin's e-scan EPR, EUA) (Figura 23). La dosimetría es el procedimiento para determinar la dosis de irradiación absorbida por un producto expuesto a una fuente de irradiación. Para ello se utilizan dosímetros que contienen materiales que generan radicales libres de forma directamente proporcional a la dosis absorbida; estos radicales se cuantifican y con ello se calcula la dosis absorbida por el material, a este respecto, los dosímetros utilizados para el presente trabajo fueron del aminoácido L-alanina, debido a que la concentración de radicales libres es función de la dosis absorbida (Castro *et al.*, 2009; Olsson y Bergstrand, 2001). Los radicales libres generados en el dosímetro son estables hasta por un periodo de tres a cuatro años (Súmano, 2009).



Figura 23. Equipo de resonancia de espín electrónico (Bruker BioSpin's e-scan EPR, EUA).

Con los datos de dosis máxima y dosis mínima se calculó la uniformidad de dosis (UD) en la tarima de experimentación utilizando la relación siguiente:

$$UD = \frac{D_{max}}{D_{min}}$$

Donde  $D_{máx}$  es la dosis máxima recibida en la tarima y  $D_{mín}$  es la dosis mínima recibida en la misma tarima. El criterio tomado para que el proceso de irradiación sea considerado como uniforme desde el punto de vista comercial es que el valor de la UD debe ser  $<3$  (FAO/WHO, 1984).

### **V.6.2 Empaque en bolsas microperforadas**

Las películas microperforadas que se utilizaron son de la marca PrimePro<sup>®</sup> de 48 micras de espesor y una densidad de microperforaciones de 40,401 perforaciones por m<sup>2</sup>. De acuerdo con el fabricante, el plástico de estas películas, tienen un índice de transmisión de oxígeno de 51,00 cc/m<sup>2</sup>/24 h, un índice de transmisión de dióxido de carbono de 21,979 cc/m<sup>2</sup>/24 horas y un índice de transmisión de vapor de agua de 11.4 g/m<sup>2</sup>/24 horas. La elección de estas películas se basó en que la marca PrimePro<sup>®</sup> satisface las normas que regulan el contacto de alimentos para el consumo humano, tal como está dispuesto en la norma US FDA CFR 177:1520(c) 2.1 y en la Unión Europea.

Para la colocación de las bolsas de plástico, los frutos fueron desempacados y las bolsas de plástico, se colocaron en el interior de la caja de mango formando un forro; una vez colocada la bolsa se re empacaron los frutos y las bolsas fueron cerradas con cinchos de plástico. La bolsa al estar microperforada evitó la generación de una atmósfera modificada así como la pérdida de humedad (Figura 24).

### **V.6.3 Tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP)**

Los frutos que se trataron con este producto; se colocaron dentro de una cámara de refrigeración cerrada donde se expuso al conjunto de frutos a un ambiente de aire con el compuesto a 0.3 ppm de concentración durante 5 horas a 13 °C. Para lograr la concentración deseada (0.3 ppm), se pesaron 2.955 gramos de SmartFresh<sup>®</sup> que se colocaron en un vaso de precipitados con 40 mL de agua destilada sobre una placa de calentamiento para calentar la solución a 40 °C. En esta condición el gas fue liberado en forma gradual y se difundió a todos los frutos presentes en la cámara (Figura 25). Para una adecuada distribución del compuesto dentro de la cámara se utilizó un ventilador.



Figura 24. Aspecto del embolsado de frutos de mango en bolsa microperforada aplicada al interior de la caja de mango.



Figura 25. Aplicación de 1-MCP al interior de la cámara.

#### V.6.4 Muestreo

Los frutos de cada tratamiento se pesaron individualmente. Posteriormente se almacenaron en cámaras de refrigeración de acuerdo al diseño experimental. Todas las variables de respuesta se analizaron para cada fruto individualmente. Se realizaron 6 muestreos, en donde se eligieron frutos al azar para el análisis.

#### V.6.5 Almacenamiento refrigerado

El efecto de la temperatura en la conservación de los frutos, se evaluó a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C, para ello en cada periodo de muestreo se tomaron los frutos correspondientes a las unidades experimentales más su réplica; adicionalmente en cada periodo de muestreo; muestras independientes de frutos fueron transferidas de 13 a 20 °C durante 4 días para ser analizadas bajo los mismos procedimientos; estos conjuntos de frutos constituyeron los tratamientos de transferencia. En el Cuadro 10 se muestran los días de almacenamiento a 13 °C y 13 °C/20 °C antes de cada evaluación.

Cuadro 10. Periodos de almacenamiento a 13 °C y 13 °C/20 °C de los frutos.

Días después de la cosecha	Días de almacenamiento a 13 °C	Almacenamiento total transferencias
<b>4</b>	2	-
<b>8</b>	6	6d 13 °C + 4d 20 °C
<b>11</b>	9	9d 13 °C + 3d 20 °C
<b>17</b>	15	15d 13 °C + 6d 20 °C
<b>23</b>	21	21d 13 °C + 6d 20 °C
<b>28</b>	26	26d 13 °C + 5d 20 °C

#### V.6.6 Calidad visual

Con el objeto de tener evidencia gráfica de la evolución de los cambios sufridos por cada uno de los tratamientos, se realizó un registro fotográfico de

cada tratamiento durante cada muestreo, utilizando una cámara SAMSUNG EC-PL120ZBPLMX. Las imágenes fueron tomadas en frutos íntegros (aspecto externo) y después de haber sido cortados longitudinalmente (aspecto interno) para observar la pulpa.

## **V.6.7 Análisis físicos**

### **V.6.7.1 Pérdida de peso**

El peso inicial e individual de cada uno de los frutos se registró al inicio del experimento en una balanza digital (Ohaus Scout Pro 400 g x 0.01 g), posteriormente, en cada muestreo se registró el peso de cada fruto; la diferencia entre el peso inicial y final de cada uno de los frutos representó el peso perdido durante el almacenamiento y este se expresó como porcentaje de pérdida de peso respecto del peso inicial de cada fruto (Muy-Rangel *et al.*, 2004).

### **V.6.7.2 Firmeza**

Los cambios en la firmeza de los frutos se determinaron mediante una prueba de compresión (Súmano, 2009) utilizando un texturómetro TA-HD (Stable Micro Systems) equipado con una sonda cilíndrica plana de aluminio de 50.8 mm de diámetro y 20 mm de altura que comprimía el fruto a una velocidad de  $2 \text{ mm s}^{-1}$  hasta alcanzar una deformación del 3 % respecto del diámetro ecuatorial máximo del fruto; el equipo registró la fuerza máxima en newtons para alcanzar esa deformación. La medición se llevó a cabo en un cachete del fruto. La orientación de los frutos dentro del equipo siempre fue la misma; el ápice del fruto hacia el analista apoyando un cachete del fruto en una placa plana del equipo.

### **V.6.7.3 Color**

La medición objetiva del color externo e interno se evaluó en la zona ecuatorial de los frutos y en la zona más cercana a la semilla para el color interno

(Little, 1975). Para ello se utilizó un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002 que registró los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la escala internacional de color CIELAB utilizando un iluminante D65 y un observador a  $10^\circ$ . Con estos valores se calculó el índice de matiz (valor Hue) y la cromaticidad (valor  $C^*$ ). Los resultados se expresaron en  $a^*$  (valores negativos indican verde y valores positivos indican rojo), Hue y Croma.

Hue, también llamado tono o tonalidad cromática, es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados, y es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en la mezcla de las ondas luminosas. El Matiz se define como un atributo de color que nos permite distinguir el rojo del azul, y se refiere al recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático (Figura 26), por lo que el verde amarillento y el verde azulado serán matices diferentes del verde. Los 3 colores primarios representan los 3 matices primarios, y mezclando estos, podemos obtener los demás matices o colores (SENATI, 2012).

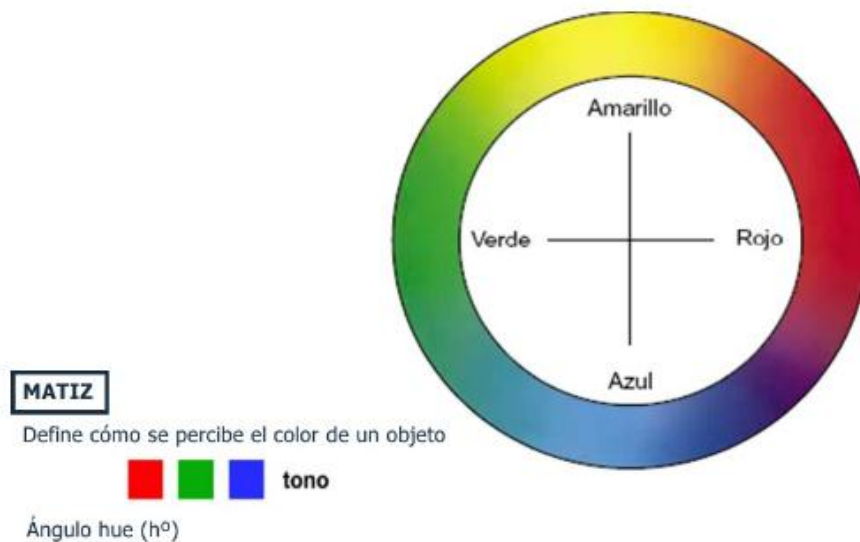


Figura 26. Representación gráfica de Hue ( $h^\circ$ ) (González, 2011).

Hue se obtiene a partir de la cuantificación de los valores de  $a^*$  y  $b^*$  de la escala internacional del color CIELAB, mediante la fórmula

$$h^\circ = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

Croma, también llamada saturación o intensidad, representa la pureza o intensidad de un color particular, la viveza o palidez del mismo, y puede relacionarse con el ancho de banda de la luz que se está visualizando. Los colores puros del espectro están completamente saturados (Figura 27). Un color intenso es muy vivo. De igual manera puede ser definido por la cantidad de gris que contiene un color, mientras más gris o más neutro es, será menos brillante o menos "saturado". Igualmente, cualquier cambio hecho a un color puro automáticamente baja su saturación (SENATI, 2012)



Figura 27 Representación gráfica de la cromaticidad (González, 2011).

La cromaticidad se obtiene a partir de la cuantificación de los valores de  $a^*$  y  $b^*$  de la escala internacional del color CIELAB, mediante la fórmula:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

## V.6.8 Análisis químicos

### V.6.8.1 Sólidos solubles totales (°Bx)

Se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (1998). Para la medición de los sólidos solubles totales (SST), se utilizó un refractómetro Hanna Instruments HI 96801. Previamente se calibró con agua destilada ajustando la lectura a 0.0 °Bx a 20 °C. El resultado se expresó como °Brix.

### V.6.8.2 Acidez titulable (AT)

La medición de la acidez titulable se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (1998), la cual consistió en tomar 5 g de tejido fresco a los que se les adicionó 20 mL de agua destilada, posteriormente se homogenizó en un homogenizador ULTRA-TURRAX T25 durante 20 s a 13500 rpm, se filtró y se tomó una alícuota de 5 mL para titular con NaOH 0.1 N, empleando 0.3 mL de solución de fenolftaleína al 1 % como indicador.

La acidez titulable se expresó en porcentaje de ácido cítrico por cada 100 g de muestra, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(N \text{ (NaOH)})(ml \text{ gastados NaOH})(vol. \text{ aforado})(meq. \text{ ácido})}{(vol. \text{ alicuota})(peso \text{ muestra})} 100$$

Miliequivalentes de ácido cítrico= 0.064 g

### V.6.8.3 Cuantificación de pectina

Para determinar la cantidad de pectina se usó el método descrito por Ranganna (1997), con algunas modificaciones. Para esto se pesaron 100 mg de piel de mango y se le agregaron 100 mL de NaOH 0.05 N y se dejó reposar durante 30 min. De la solución obtenida, se tomaron 2 mL y se aforaron con 50 mL



de agua destilada. A 2 mL de la solución anterior se les agregó 1 mL de carbazol al 1 %, en etanol al 95 %. Posteriormente se agregaron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se mantuvieron en constante agitación hasta la formación de una coloración púrpura. Se leyó la absorbancia a 525 nm. Para el blanco, se sustituyó el carbazol y se agregó 1 mL de etanol. La cantidad de pectina se expresó como mg de pectina por 100 mg de muestra.

## **V.6.9 Análisis enzimáticos**

### **V.6.9.1 Obtención del extracto enzimático**

Para obtener el extracto a analizar, se siguió la metodología descrito por Carabalí *et al.* (2009), con ligeras modificaciones. Para lo cual se tomaron 5 gramos de la piel del mango, los cuales fueron homogenizados con 25 mL de acetona a 4 °C y se filtraron. El residuo se lavó cinco veces con 25 mL de acetona. La masa resultante de la filtración fue suspendida en 25 mL del buffer de extracción (fosfato 20 mM, NaCl 1 M, pH 7.0) y se colocó en agitación por 35 horas. Finalmente se centrifugó a 8000 x g durante 30 min a 4 °C. El residuo sólido fue desechado y el sobrenadante se consideró como el extracto utilizado para la cuantificación de proteína y de la actividad de la pectinesterasa y poligalacturonasa.

### **V.6.9.2 Pectinesterasa (PE)**

Se preparó una mezcla de reacción a la cual se le agregaron 2.5 mL del extracto enzimático, 25 mL de pectina cítrica al 1 % de alto metoxilo y NaCl 0.2 M a pH 7.0 en la mezcla ajustando con NaOH 0.01 N. La mezcla de reacción se incubó a 30 °C por 20 min. La actividad de la PME fue determinada por cuantificación de los protones liberados en la hidrólisis por titulación con NaOH 0.01 M. Para esto se midió el volumen de hidróxido de sodio necesario para ajustar el pH nuevamente a 7.0. Se realizaron blancos de sustrato y de extracto, en los cuales se mantuvieron las mismas condiciones de incubación y de cuantificación que en la mezcla de reacción.

La unidad de actividad de PME fue definida como los meq H<sup>+</sup> generados/hora/mg de proteína (modificado de Carabalí *et al.*, 2009).

Como consecuencia de la hidrólisis del enlace éster se genera metanol, y el C-6 presente en los residuos de ácido galacturónico de las pectinas se transforma en un grupo carboxilo. La disociación de este grupo carboxilo genera protones que producen un descenso en el pH del medio de reacción (Guillermo, 2007).

#### **V.6.9.3 Poligalacturonasa (PG)**

Se incubó a 37 °C, 1 mL del extracto con 2 mL de ácido poligalacturónico al 0.2 % (p/v) a pH 5. A las 2 horas se tomó una alícuota de 100 µL a la que se le agregó 1 mL de solución amortiguadora de boratos (0.1 M, pH 9) y 100 µL de cianoacetamida al 1 % (p/v), para detener la actividad, los tubos de sometieron a ebullición por 10 min, se dejaron enfriar y se midió la absorbancia de cada muestra a 276 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 40.

Para PG la liberación de grupos reductores se determinó con base en una curva patrón de ácido galacturónico (0 a 40 µg) y su actividad se expresó en unidades de liberación de ácido galacturónico (nmol mg<sup>-1</sup> de proteína min<sup>-1</sup>). Este método permite medir colorimétricamente el ácido galacturónico a través de la formación de un compuesto luego de la reacción con la 2-cianoacetamida, el cual absorbe a 270 nm (Muy-Rangel, 2009; Da Costa Raposo y Finardi-Filho, 2005).

#### **V.6.9.4 Cuantificación de proteína**

Para estimar la actividad específica de las enzimas se cuantificó la proteína por el método de Bradford (1976). Para esto se preparó una solución estándar de seroalbúmina bovina a una concentración de 1 mg/mL, a partir de esta solución, se preparó una curva de calibración de 0 a 100 µg, ajustando el volumen a 100 µL. Para el blanco, se utilizó únicamente agua destilada. En cada pozo de la placa, se colocó la curva de calibración así como la muestra a analizar y se adicionaron 200

$\mu\text{L}$  del reactivo de Bradford. A los 15 min de reacción, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm en un lector de microplacas (Spectramax 190 Molecular Devices, Co.) (Bradford, 1976; Kruger, 2002).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### VI.1 Identificación de la concentración óptima para la aplicación de 1-MCP

En el Cuadro 11 se observa que la pérdida de peso a los 19 días de almacenamiento fue menor en los frutos tratados con 1-MCP con respecto al control, así mismo, la pérdida de peso fue menor a mayor concentración de éste. Los sólidos solubles totales de los frutos tratados con 0.5 ppm de 1-MCP fueron 9.5 °Bx mientras que para el control fueron de 12.69 °Bx, lo cual indica que el tratamiento con 0.5 ppm no siguió el proceso de madurez, normal tal como lo reportó Blankenship (2001), quién mencionó que este compuesto bloquea la ruta del etileno y provoca un retraso en el marchitamiento y en el proceso de maduración de los frutos; aunque a 0.3 ppm es similar al control, la respuesta depende de la concentración utilizada de 1-MCP.

Cuadro 11. Pérdida de peso y sólidos solubles totales de mangos tratados con diferentes concentraciones de de 1-MCP a 19 días de almacenamiento a 13 °C.

Concentración de 1-MCP (ppm)	Pérdida de peso (%)	SST (°Bx)
0 (control)	13.43 ± 1.76	12.69 ± 1.95
0.3	10.14 ± 0.63	12.53 ± 0.77
0.5	9.63 ± 0.81	9.5 ± 1.23

Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento.

Así mismo, en la Figura 28 a se observó que los frutos control (0 ppm de 1-MCP) presentaron un alto grado de marchitamiento, mientras que en los frutos tratados, se redujo ese efecto, encontrándose que a mayor concentración de 1-MCP había una menor marchitez. Respecto a la calidad visual interna, se pudo observar que tanto el tratamiento control, como el tratado con 0.3 ppm, presentaron una coloración amarillo intensa, la cual es asociada al proceso normal de maduración (Figura 28b), mientras que en los frutos tratados con 0.5 ppm, se

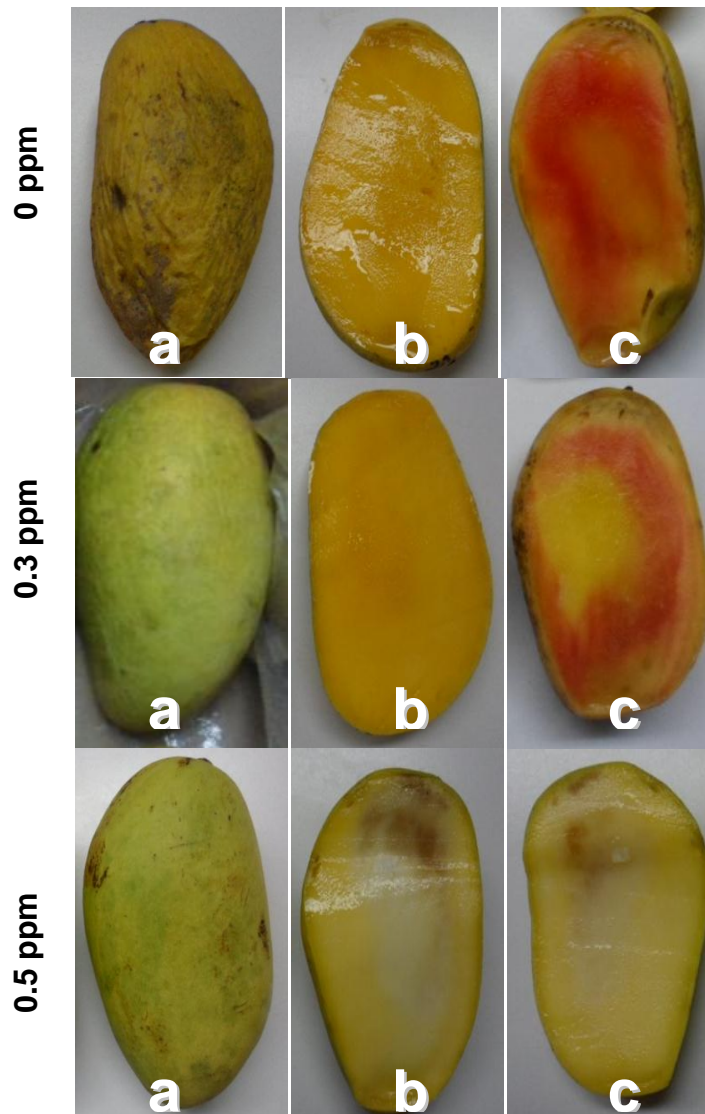


Figura 28. Calidad visual de frutos de mango 'Manila' tratados con 1-MCP a diferentes concentraciones. a) Apariencia visual externa, b) apariencia visual interna, c) frutos teñidos con cloruro de tetrazolio.

observa que no hubo un cambio de coloración de la pulpa, lo cual indica que el tejido no siguió el proceso normal de maduración, a su vez, al realizar la tinción de los frutos con cloruro de tetrazolio, se pudo observar que los frutos control y los tratados con 0.3 ppm presentaron una coloración rojo intenso, mientras que en los frutos tratados con 0.5 ppm no hubo un cambio de coloración. De acuerdo a lo reportado por Franca *et al.* (1998), los frutos que desarrollan coloración roja, son frutos donde el tejido está vivo, mientras que los frutos no coloreados indican que el tejido está muerto, esto se debe a que el cloruro de tetrazolio es un indicador

redox utilizado para diferenciar tejidos metabólicamente activos de aquellos metabólicamente inactivos o bien para medir actividad respiratoria asociada a la cadena transportadora de electrones.

La prueba de tinción con cloruro de tetrazolio se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas, las cuales catalizan las reacciones respiratorias en las mitocondrias, durante la glicólisis y el ciclo de Krebs. Estas enzimas, particularmente las deshidrogenasas del ácido málico, reducen la sal de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) en los tejidos vivos. Cuando los tejidos se ponen en contacto con la solución incolora de tetrazolio, esta se difunde, produciéndose en las células vivas la reacción de reducción que da como resultado la formación de un compuesto rojo, estable, conocido por trifenilformazán indicando que existe actividad respiratoria en las mitocondrias, por lo tanto en zonas de necrosis, el tetrazolio conserva su color blanco o incoloro, debido a que las enzimas han sido desnaturalizadas o degradadas (Franca *et al.*, 1998).

Aún cuando la concentración de 0.5 ppm de 1-MCP tuvo buenos resultados, es necesario hacer pruebas adicionales variando el tiempo de exposición, ya que se puede esperar que disminuyendo el tiempo, la concentración de 0.5 ppm genere buenos resultados en los frutos.

Durante el análisis de los frutos, se percibió que los frutos de mango que fueron tratados con 1-MCP presentaron una disminución del aroma característico del fruto, con respecto a los controles. Varios reportes afirman que los compuestos volátiles que son afectados en frutos tratados con 1-MCP son ésteres y alcoholes (Blankenship y Dole, 2003). Espinoza (2008), encontró que al tratar frutos de guayaba con 1-MCP, el aroma característico de los frutos disminuyó drásticamente, lo cual sugiere que la síntesis de dichos compuestos está ligada de manera directa a la acción del etileno.

Se ha reportado que el 1-MCP induce efectos favorables en la firmeza, respiración, producción de etileno, degradación de clorofila y desarrollo de

enfermedades, sin embargo no existe evidencia de que este compuesto tenga un efecto reductor en la transpiración de los frutos (Muy-Rangel *et al.*, 2011).

## **VI.2 Dosimetría de irradiación**

La normatividad de la USDA-APHIS señala que para frutos de mango, la dosis mínima de irradiación debe ser de 0.15 kGy (dosis necesaria para esterilizar la mosca de la fruta) y un máximo de 1 kGy. De acuerdo a la Figura 29, se observa que todos los frutos se encuentran dentro del rango de irradiación permitido, debido a que la dosis de irradiación que recibieron sobrepasó la mínima establecida por dicho organismo y así mismo, ninguno de los frutos sobrepasó la dosis máxima permitida.

También se observa que el rango entre la dosis mínima y la máxima fue muy pequeño lo cual en consecuencia generó una uniformidad de dosis (UD) por debajo de 3. La Figura 29 muestra la dosis mínima, máxima y media registradas así como la UD calculada para ese intervalo de irradiación. De acuerdo con estos resultados, las dosis aplicadas satisficieron los requerimientos de tratamiento cuarentenario para esterilización de la mosca mexicana de la fruta y también estuvo por debajo del límite máximo permitido por el protocolo de USDA (2011b). El intervalo de dosis aplicado también se encontró dentro de los límites recomendados por Mercado-Silva (2010), para esta variedad quien indicó que estos frutos no deben de ser irradiados por arriba de 0.6 kGy.

El rango de dosis propuesta fue de 0.4 a 0.5 kGy. Como se puede observar en la Figura 29, la dosis fue homogénea obteniéndose valores de dosis absorbida para la mínima, media y máxima de 0.40, 0.43 y 0.48, respectivamente; Todos los valores de radiación estuvieron dentro del rango propuesto.

El cálculo de UD es de gran importancia para los procesos de irradiación industriales donde los procedimientos deben ser estandarizados en cuanto a los embalajes de producto, su patrón de estiba en los contenedores y el flujo de los

mismos dentro del irradiador. Este cálculo indica el número de veces que la dosis mínima fue superada en el proceso y proporciona una medición total del rango de dosis en el producto (Martínez-Ayala, 2008 citado por Súmano, 2009). La UD para el intervalo propuesto (0.4 a 0.5 kGy) fue de 1.18, la cual se encuentra dentro de rango establecido por FAO/WHO (1984).

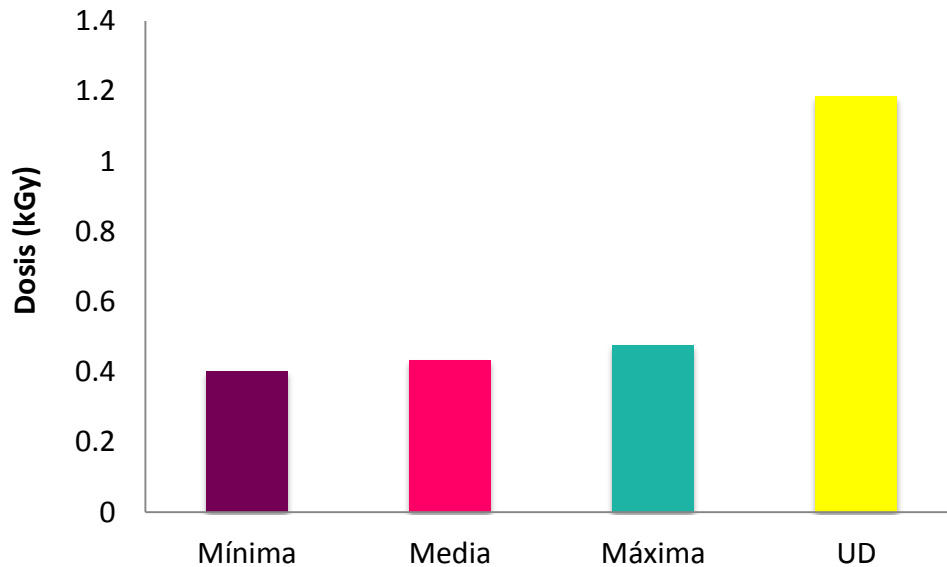


Figura 29. Dosis máximas y mínimas absorbidas para el tratamiento de irradiación gamma a dosis propuesta de 0.4 a 0.5 kGy.

### VI.3 Cambios en la calidad durante el almacenamiento

Los cambios más evidentes durante el proceso de maduración del mango son el color, sabor, textura, entre otros. Estos cambios son el resultado de la reestructuración metabólica y química que se desencadena dentro del fruto. En los frutos climatéricos, este proceso es controlado, fundamentalmente, por la producción de etileno y su actividad respiratoria. Cuando se estudian tratamientos que regulan o alteran la fisiología de la maduración de los frutos, aquellos parámetros (aparición, color, sabor y firmeza) pueden ser utilizados como indicadores del efecto de esos tratamientos (Angón-Galván *et al.*, 2006).



### VI.3.1 Cambios en la calidad visual externa de los frutos

Las Figuras 30 y 31 muestran los cambios de la calidad visual externa durante el almacenamiento a 13 °C y sus transferencias de 13 a 20 °C, respectivamente. Cada fruto representa al conjunto de los frutos analizados en cada periodo de muestreo. En forma general se puede decir que los frutos almacenados a 13 °C mantuvieron por más tiempo su calidad visual y mientras que los transferidos a 20 °C aceleraron el deterioro. A la temperatura óptima de almacenamiento para esta variedad (13 °C), el cambio de color no se detuvo, a medida que el almacenamiento transcurría también ocurrían los cambios de color del verde al amarillo (Figura 30). No obstante, cuando los frutos se transfirieron de 13 a 20 °C ese cambio de color ocurrió de forma más acelerada (Figura 31). Lo anterior indicó que a 13 °C se retrasó el desarrollo del color de la piel de los frutos debido a un retraso en el metabolismo y degradación de clorofilas, mientras que en las transferencias se observó una rápida degradación de clorofilas y probablemente síntesis de carotenoides, como lo han reportado León *et al.* (1997) e Hidalgo *et al.* (1997).

Después de 23 días de almacenamiento a 13 °C aún se observaron coloraciones verdes, las cuales desaparecieron cuando los frutos fueron transferidos a 20 °C. León *et al.* (1997), e Hidalgo *et al.* (1997), describieron que la rápida síntesis de carotenoides es responsable del cambio de coloración amarilla, y que dicha síntesis puede ser inhibida por las bajas temperaturas o favorecida por las altas temperaturas.

Los frutos que recibieron tratamientos de irradiación mostraron un retraso en los cambios de color respecto de aquellos que no fueron irradiados (Figuras 30 y 31), lo cual concuerda con lo reportado por Mercado-Silva (2010), quien indicó que la irradiación con rayos gamma de mango 'Manila' en un intervalo de dosis de 0.15 a 1.0 kGy provocó una demora en los cambios de color de la piel del fruto siendo más notorio este efecto a dosis de 0.6 y 1.0 kGy; los resultados de este

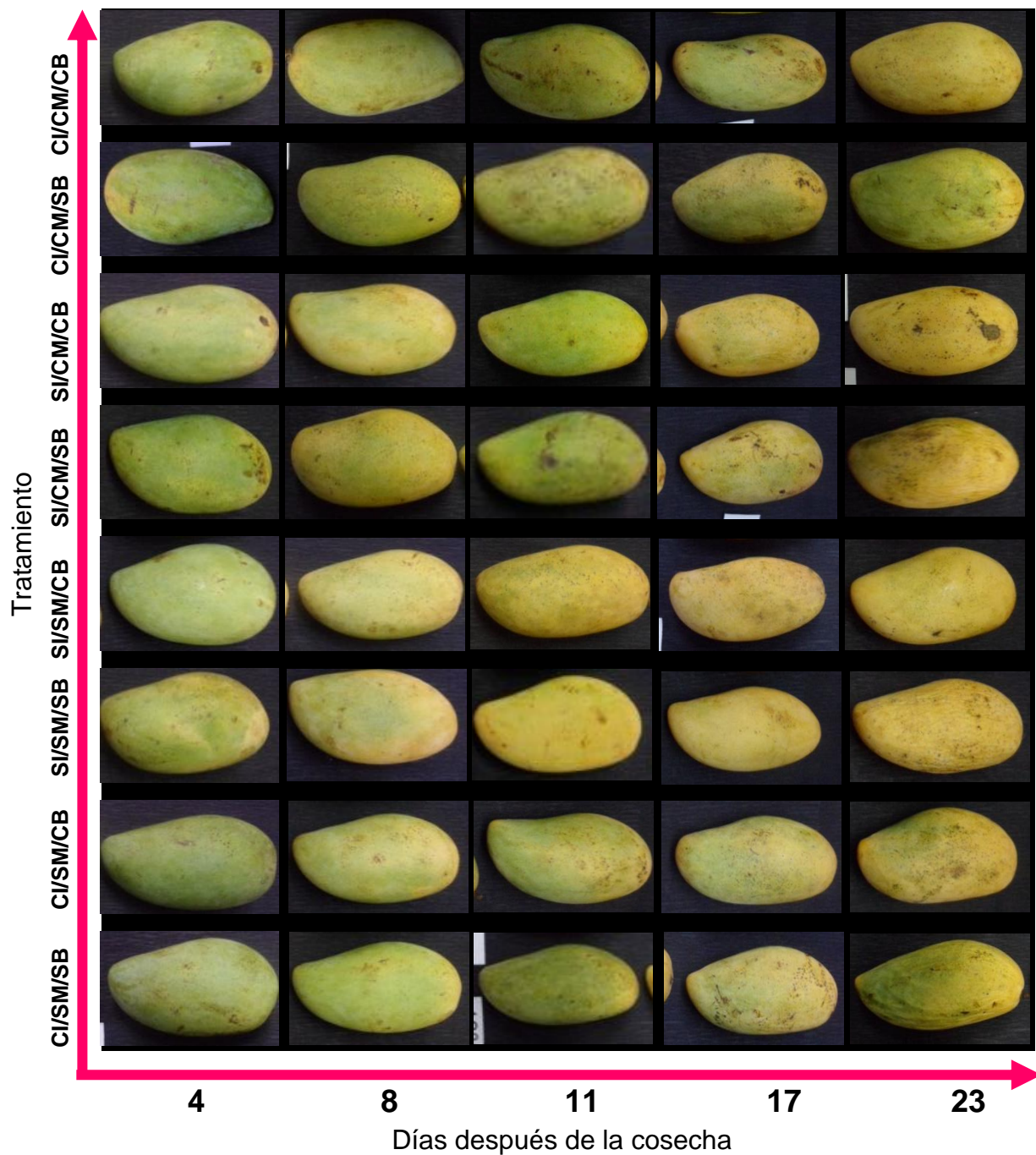
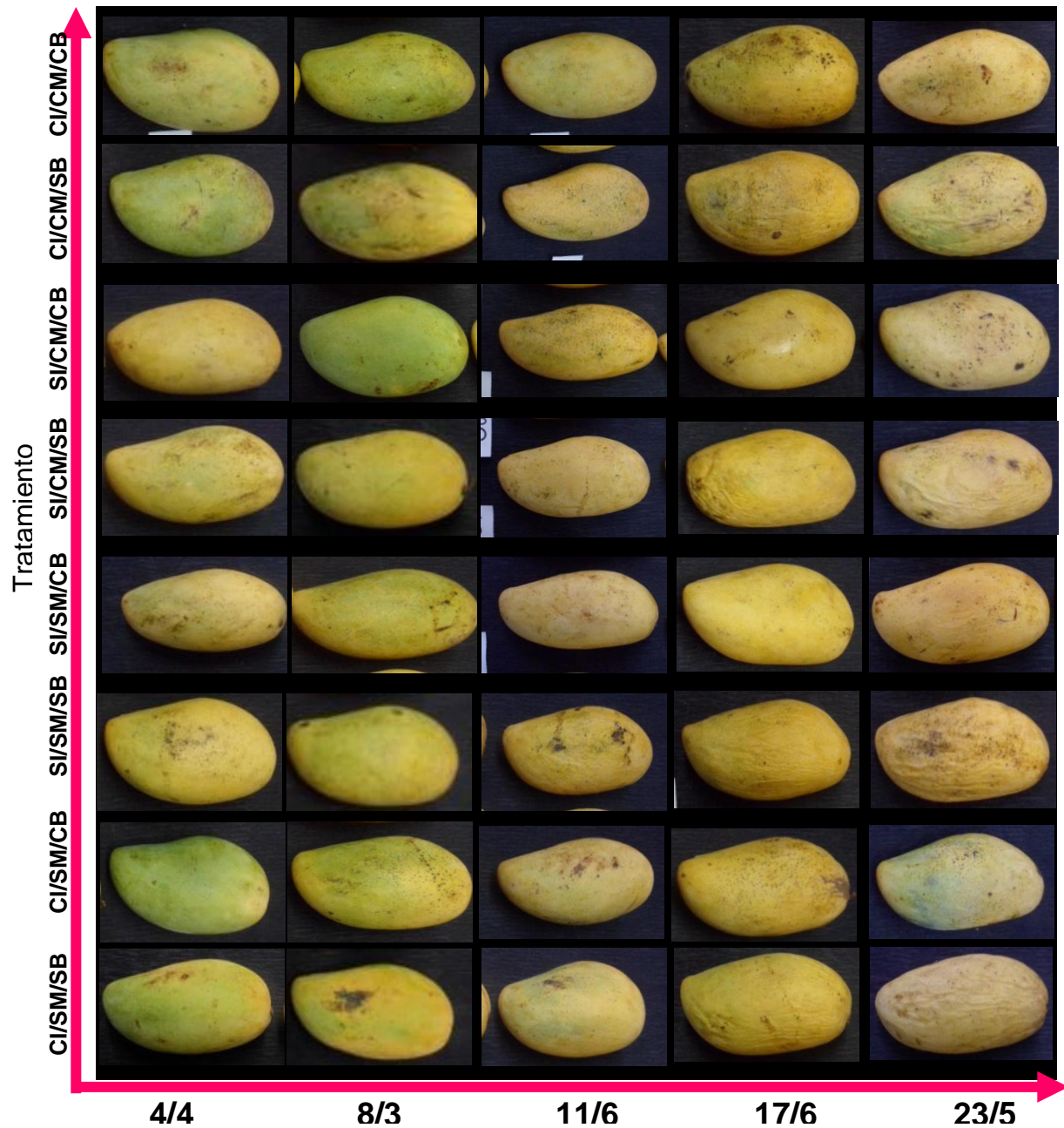


Figura 30. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento a 13 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/CI**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada).



Días después de la cosecha (días a 13 °C/días a 20 °C)

Figura 31. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento transferidos de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/CI**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada).

trabajo muestran que la irradiación entre 0.4 y 0.5 kGy también retrasan los cambios de color. Un efecto similar fue observado por Boag *et al.* (1990), donde reportaron que la irradiación con rayos gamma en mangos cv. 'Kensington Pride' retrasó el desarrollo de la coloración amarilla en frutos preclimatéricos, mientras que en frutos en su pico climatérico no se observó ningún efecto en el color. Así mismo, señalaron que la inhibición o retraso en la aparición de la coloración amarilla de los frutos aumentó conforme aumentó la dosis de irradiación, en el rango de 0.1 a 1.2 kGy. Las Figura 30 y 31 muestra los conjuntos de mangos almacenados durante 17 y 23 días a 13 °C y sus respectivas transferencias a 20 °C; en ella se observa que aquellos frutos irradiados, tratados con 1-MCP y empacados en bolsas microperforadas pueden almacenarse durante 17 días a 13 °C y pueden ser comercializados durante 6 días a 20 °C sin mostrar síntomas de marchitez. Por otro lado, aunque después de 23 días a 13 °C los frutos se mantienen en buenas condiciones visuales, pero cuando son transferidos a 20 °C se hacen evidentes los daños por antracnosis y marchitez indicando con esto que no es recomendable almacenar los frutos por ese periodo de tiempo.

El efecto particular de cada uno de los tratamientos no fue posible observarlo; de esta forma aunque era probable que los frutos tratados con 1-MCP mostraran un retraso en el cambio de color, esto no fue posible observarlo ya que en todos los casos había interacciones de los distintos tratamientos; aunque Sisler y Serek (1997), y Blankenship y Dole (2003), mencionaron que este compuesto es antagonista de la acción del etileno, lo que permite retardar los cambios relacionados con la maduración y la senescencia de los frutos, como el retraso en la degradación de clorofila. Este efecto fue reportado por Wang *et al.* (2006), en frutos de mangos cv. 'Guifei' con 1-MCP al vacío, encontrando que la tasa de degradación de clorofila en la piel de los mangos fue inhibida con dicho tratamiento, debido a que el nivel de clorofila en estos frutos fue 160  $\mu\text{g g}^{-1}$ , con respecto a 70  $\mu\text{g g}^{-1}$  para los frutos controles a los 8 días de almacenamiento. De igual forma el efecto del empacado con bolsas microperforadas en los cambios de color no se identificó de forma clara por la misma interacción de factores.

En ninguno de los tratamientos se observaron defectos visuales, en comparación por el control (SI/SM/SB a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C), más allá de los inherentes al propio fruto.

Con respecto a la deshidratación-marchitez de la piel de los frutos, se puede observar que fue menor en aquellos frutos que estuvieron almacenados en bolsas microperforadas y con 1-MCP (Figura 30). Este mismo efecto se observó en los frutos que fueron transferidos de 13 °C a 20 °C (Figura 31).

Los síntomas de deshidratación y marchitez de la piel se hicieron visibles a los 23 días en los frutos almacenados a 13 °C, mientras que en los frutos transferidos, al mismo tiempo de almacenamiento, este signo fue más evidente, por lo que se puede concluir que la temperatura y las aplicaciones de 1-MCP y el empacado en bolsas microperforadas influyeron de manera notable en el grado de marchitez. Estos resultados contrastan con los reportados por Mercado-Silva (2010), quien señaló que la vida de anaquel de mango 'Manila' irradiado y almacenado a 20 °C, se limitaba a 13 días debido al alto índice de deshidratación. Es importante señalar que este autor solo almacenó los frutos irradiados sin ningún tratamiento que controlara la deshidratación y la maduración de los frutos. Los resultados de este trabajo permiten concluir que la interacción de la bolsa, la irradiación y la aplicación de 1-MCP alargó la vida de anaquel de los frutos.

Se ha descrito que cuando los frutos son sometidos a altas dosis de irradiación (arriba de 0.6 kGy), éstos presentan pardeamiento en la piel (Mercado-Silva, 2010), lo cual aumenta conforme aumenta la dosis de irradiación, como lo observado por Súmano (2009), al irradiar mangos cv. 'Tommy Atkins'; sin embargo, en los frutos de este experimento, no se observó ningún daño en la piel por irradiación, por lo cual se pueda afirmar que la dosis que se aplicó fue adecuada para este cultivar.

En las Figuras 32 y 33, se observan los cambios en la calidad visual interna de frutos de mango 'Manila' almacenados a 13 °C y sus transferencias de 13 °C a 20 °C respectivamente.

En la Figura 32, se observa que en los primeros días de almacenamiento, hay una menor coloración amarilla de la pulpa y conforme avanzan los días de almacenamiento se nota una evolución en el desarrollo del color amarillo, lo cual se debe al proceso normal de maduración del fruto. Sin embargo, no se observaron diferencias en el desarrollo de la coloración interna de los frutos debido a los tratamientos aplicados (Figura 32 y 33).

Yahia *et al.* (2000), al someter frutos de mango 'Manila' en aire caliente forzado, como tratamiento cuarentenario, cambiaron de verde (al inicio del almacenamiento) a verde-amarillo (en la etapa intermedia del almacenamiento), para finalmente cambiar a completamente amarillo (al término del tiempo de almacenamiento) sin observar diferencias significativas con los controles. Con respecto a esto, y de acuerdo a las Figuras 32 y 33, se puede observar que los frutos que se utilizaron para este experimento, se encontraban en una etapa avanzada de maduración, debido a que no se observó la coloración verde que reportan estos autores, si no que la coloración inicial es verde-amarillo, la cual ellos la observaron en la etapa intermedia del tiempo de almacenamiento.

Hidalgo *et al.* (1997), indicaron que los cambios de coloración en la pulpa durante la maduración son el resultado de la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides, además reportan que los valores de Hue decrecieron en la pulpa de los mangos controles mantenidos a 25 °C, indicando un cambio normal en la coloración de amarillo-verde a naranja-amarillo. Estos autores no encontraron diferencias significativas en los valores de Hue en la pulpa de los mangos almacenados a las diferentes temperaturas de refrigeración.

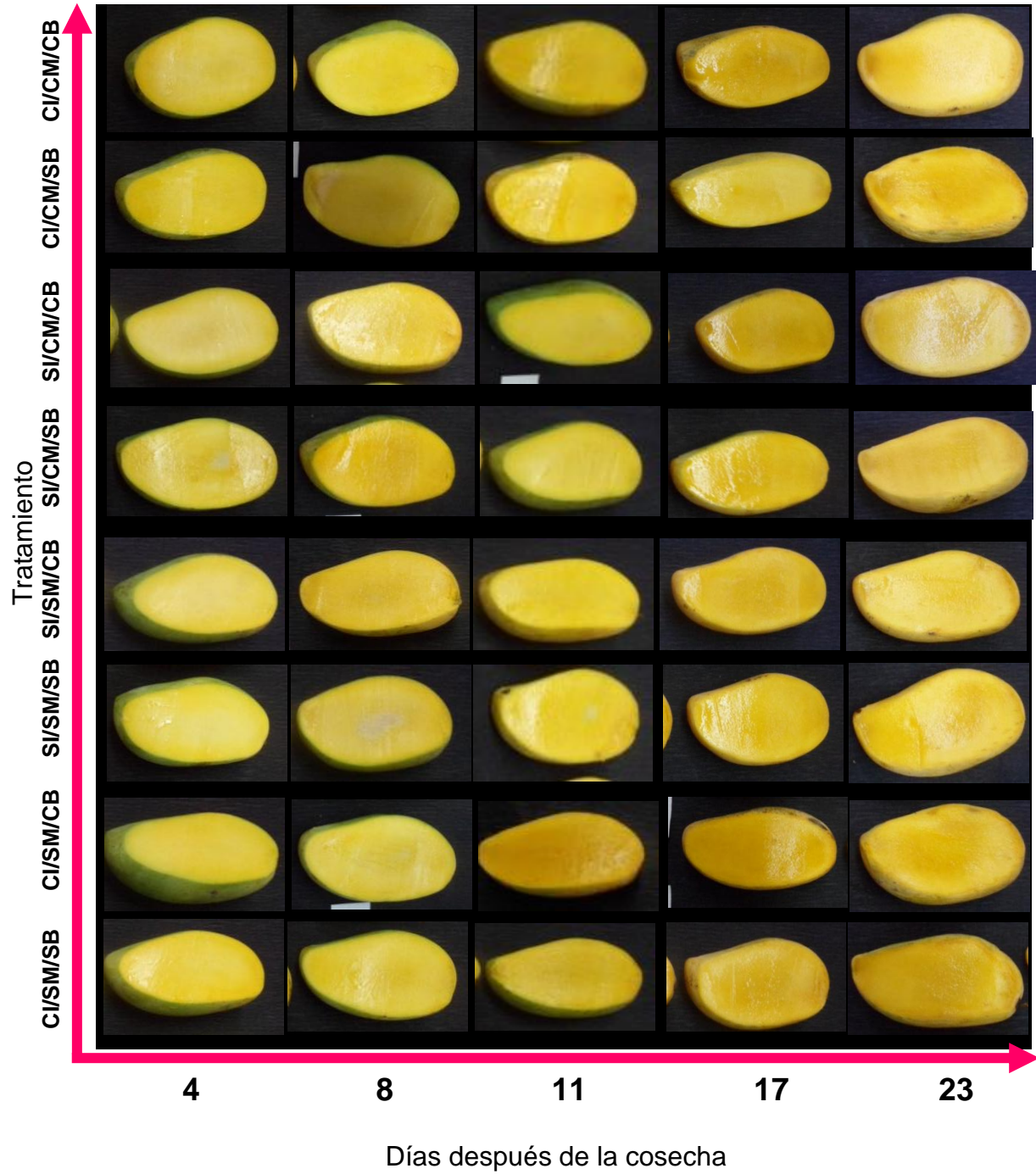
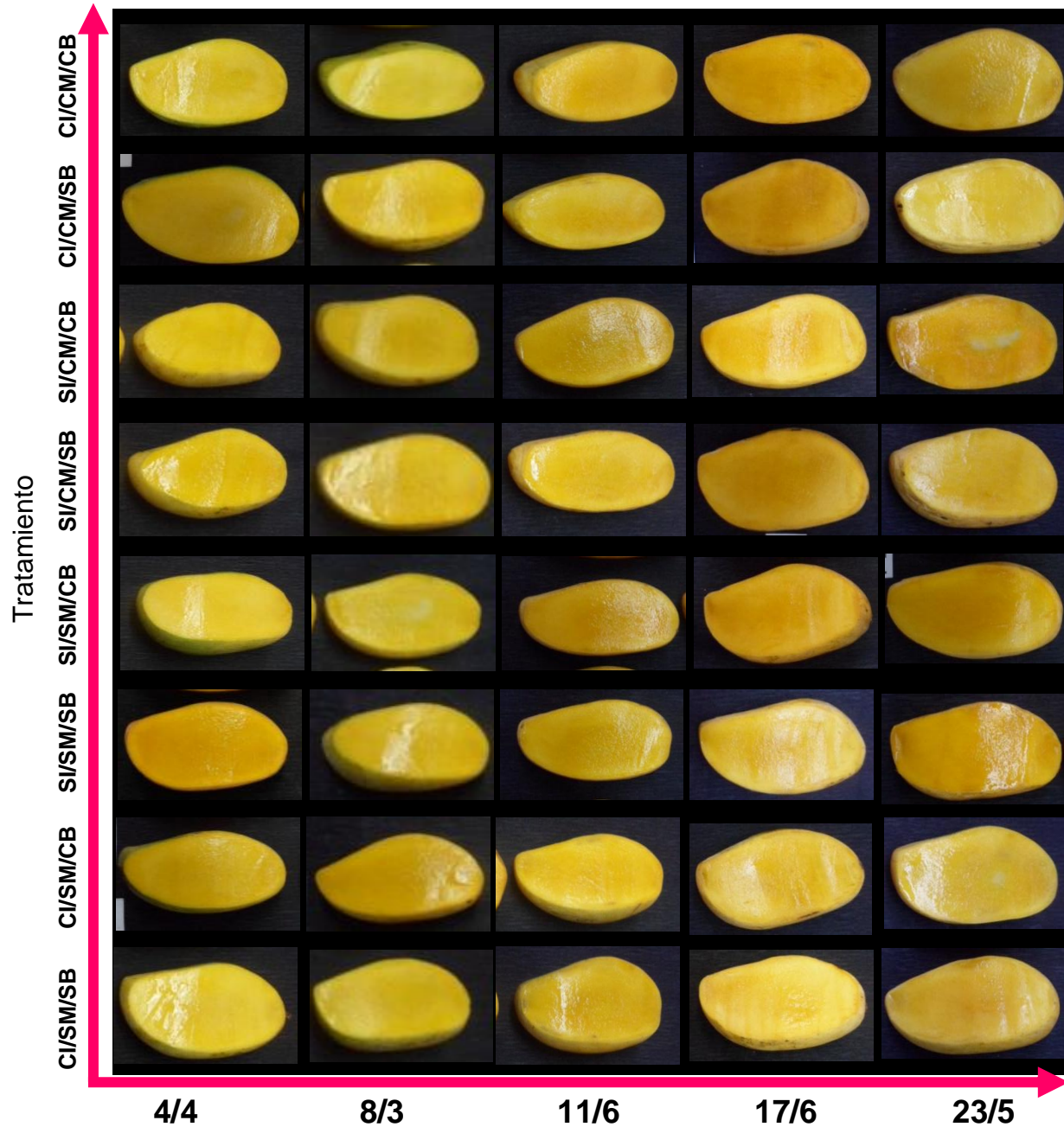


Figura 32. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento a 13 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/CI**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada).



Días después de la cosecha (días a 13 °C/días a 20 °C)

Figura 33. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento transferidos de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/CI**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada).



Los carotenoides son los responsables de la coloración amarillo-naranja en diversos frutos, entre ellos el mango. Ornelas-Paz *et al.* (2007, 2008), midieron el contenido de carotenoides y tocoferoles en mangos ‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Criollo’, ‘Haden’, ‘Kent’, ‘Paraíso’ y ‘Tommy Atkins’ mexicanos, utilizando cromatografía líquida acoplada a espectroscopía de masas, reportaron que los carotenoides más importantes son trans- $\beta$ -caroteno, trans-violaxantina y 9-cis-violaxantina y el tocoferol más importantes fue el  $\alpha$ -tocoferol en todos los cultivares. Así mismo, determinaron la relación entre la concentración de carotenoides y el cambio de color de los frutos durante la maduración, encontrando que los valores de  $a^*$  y Hue, medidos tanto el piel como en pulpa, tienen una alta correlación con la concentración de trans-violaxantina y 9-cis-violaxantina, por lo tanto, la coloración amarilla-naranja de los frutos, está dada por la síntesis de carotenoides; se ha reportado que el desarrollo del color en los frutos de mango depende del estado de madurez al momento de la cosecha (Hidalgo *et al.*, 1997).

Se puede observar que hay un mayor desarrollo del color en los frutos que fueron transferidos de 13 °C a 20 °C, con respecto de los frutos que se almacenaron a 13 °C (Figura 32 y 33). Esto concuerda con lo reportado por León *et al.* (1997), e Hidalgo *et al.* (1997), quienes describieron que la rápida síntesis de carotenoides, responsables de la coloración amarilla de los frutos, puede ser inhibida por las bajas temperaturas y favorecida por las altas temperaturas.

Se ha reportado que las bajas temperaturas provocan daños por frío en mango ‘Manila’; este daño se caracteriza por zonas descoloridas, depresiones en la piel, oscurecimiento e incapacidad para madurar (Hidalgo *et al.*, 1997; León *et al.*, 1997), las Figuras 30, 31, 32 y 33 no muestran dichos síntomas en los frutos; Beristain *et al.* (1999), y Ramos *et al.* (2001), indicaron que la temperatura de transición de fases de los lípidos de membrana del pericarpio de mango ‘Manila’ se ubica alrededor de los 12 °C. De acuerdo con esta información y lo observado durante el desarrollo del experimento, se puede concluir que la temperatura de

almacenamiento de 13 °C no causa daño por frío en los mangos, debido a que esta temperatura se encuentra por arriba de la temperatura de transición de fases de los lípidos de la membrana.

Saucedo y Lakshminarayana (1977), reportaron que el porcentaje de frutos maduros se reducía al disminuir la temperatura de almacenamiento: a 25 °C se alcanzaba el 92 % de maduración a los 12 días, mientras que los frutos almacenados a 13 °C sólo alcanzaban el 48 % de maduración después de 30 días. Aunque en éste trabajo no se cuantificó el porcentaje de frutos maduros, se puede observar en las Figuras 30 a 33, que aquellos frutos que fueron almacenados a menores temperaturas sufren un retraso en el proceso de maduración. Asimismo, Osuna *et al.* (2005), reportaron que en mangos 'Manila' tratados con diferentes dosis de 1-MCP (0.01, 0.02, 0.03, 0.06 y 0.09 ppm) había un menor porcentaje de frutos maduros en los frutos a los que se les aplicó la mayor concentración de dicho compuesto, lo cual concuerda con lo observado en este trabajo, debido a que se conserva la coloración verde en los frutos que se expusieron a dicho compuesto, con respecto a los frutos controles.

Inicialmente se había propuesto que la temperatura para el almacenamiento de los frutos de mango 'Manila' fuera de 10 °C, esto de acuerdo con lo reportado por Kader (2007; 2008), y Guerrero (2010), sin embargo, los estudios sobre conservación de mango 'Manila' bajo refrigeración indican que es sensible a las bajas temperaturas, debido a que la temperatura de transición de fase de los lípidos de membrana es de 12 °C, y por ello debe almacenarse por arriba de dicha temperatura, como lo reportan Beristain *et al.* (1999), y Ramos *et al.* (2001). De acuerdo a la teoría de transición de fases, existe un mayor contenido de ácidos grasos insaturados cuando existe daño por frío, a este respecto León *et al.* (2005), realizaron un estudio para conocer la composición de ácidos grasos de las membranas celulares de la piel de frutos de mango 'Manila' almacenados durante 20 días a 5 °C y 25 °C, ellos observaron que los lípidos de membranas con estrés de frío disminuyeron su proporción de ácidos grasos, y de manera más marcada lo

hicieron los ácidos esteárico y oleico. La relación de ácidos grasos insaturados/saturados fue menor a 5 °C (0.552) con respecto de la observada para 20 °C (0.898). Debido a esta evidencia, se decidió cambiar la temperatura de almacenamiento a 13 °C, que se encuentra por arriba de la temperatura de transición de fases de los lípidos de membrana.

### **VI.3.2 Prueba de significancia estadística del efecto de los tratamientos**

El Cuadro 12 muestra los valores de probabilidad estadística de los efectos simples de todos los tratamientos que constituyeron el experimento, así como de sus interacciones entre cada uno de los factores estudiados. Desde el punto de vista de utilidad comercial, interesan aquellos factores que alarguen la vida de anaquel por más de 13 días (Mercado-Silva 2010), disminuyan el problema de marchitez o pérdida de peso y mantengan una mejor textura; solo se analizaron los efectos de los factores estudiados a los 17 y 23 días de almacenamiento.

Después de 17 y 23 días de almacenamiento, los factores simples que más influyeron significativamente en la pérdida de peso fueron el empaque con bolsas microperforadas y la temperatura de almacenamiento; mientras que la firmeza fue significativamente influida por el empaque en bolsa microperforada; en tanto que los SST fueron influidos por la irradiación, la temperatura y el empaque en bolsa microperforada. Para la acidez titulable, esta fue significativamente influida por el empaque y la temperatura de almacenamiento, y por su parte el color externo e interno estuvo influido por el 1-MCP, la irradiación y la temperatura de almacenamiento.

Para describir el efecto que tienen cada una de las interacciones sobre las variables respuesta, se realizó una comparación de medias por Tukey con  $\alpha=0.05$  las cuales se analizan para cada variable respuesta por separado (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valores de probabilidad obtenidos para los factores de estudio y sus interacciones con los parámetros fisicoquímicos

Factor	Pp	Firmeza	SST	AT	a* <sub>e</sub>	C* <sub>e</sub>	H <sub>e</sub>	a* <sub>i</sub>	C* <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>
M	0.69	0.57	0.12	0.94	0.18	0.91	0.21	0.67	0.01	0.03
I	0.21	0.73	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M*I	0.51	0.75	0.58	0.86	0.13	0.03	0.19	0.98	0.38	0.37
B	0.00	0.00	0.00	0.01	0.55	0.72	0.54	0.43	0.16	0.03
M*B	0.82	0.19	0.33	0.77	0.44	0.78	0.38	0.62	0.29	0.62
I*B	0.97	0.47	0.16	0.26	0.68	0.34	0.76	0.45	0.94	0.38
M*I*B	0.45	0.28	0.42	0.34	0.91	0.98	0.79	0.63	0.91	0.63
T	0.00	0.97	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M*T	0.86	0.32	0.54	0.16	0.98	0.68	0.98	0.59	0.21	0.09
I*T	0.46	0.66	0.10	0.05	0.08	0.37	0.03	0.00	0.36	0.02
M*I*T	0.30	0.53	0.20	0.40	0.34	0.18	0.35	0.94	0.38	0.58
B*T	0.87	0.11	0.27	0.26	0.39	0.14	0.69	0.46	0.95	0.30
M*B*T	0.83	0.21	0.05	0.03	0.25	0.82	0.18	0.71	0.37	0.63
I*B*T	0.40	0.55	0.25	0.23	0.44	0.39	0.26	0.50	0.97	0.43
M*I*B*T	0.56	0.97	0.02	0.54	0.17	0.96	0.18	0.70	0.59	0.83

**M**:1-MCP, **I**: irradiación, **B**: bolsa, **T**: temperatura, **pp**: porcentaje de pérdida de peso, **SST**: sólidos solubles totales, **AT**: acidez titulable, **C\*<sub>e/i</sub>**: croma externo/interno, **H<sub>e/i</sub>**: Hue externo/interno.

### VI.3.3 Análisis físicos

#### VI.3.3.1 Color

El color y la apariencia en los alimentos juegan un papel importante en la calidad y aceptabilidad del producto (Little, 1975). Los cambios en el color de la piel y pulpa de los frutos durante la maduración, son el resultado de la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides (Ornelas-Paz *et al.*, 2007; 2008; Medicott *et al.*, 1986; Hidalgo *et al.*, 1997). Este evento, está asociado con la destrucción de las membranas de los tilacoides de los cloroplastos durante las primeras etapas de maduración (Medicott *et al.*, 1986).

### VI.3.3.1.1 Cambios en los valores de color

El Cuadro 13 muestra la comparación de medias de los valores de  $a^*$ ,  $C^*$  y Hue externos para el conjunto de datos a los 17 y 23 días de almacenamiento. En él se observa que los valores de  $a^*$  y  $C^*$  fueron consistentemente mayores en aquellos frutos que no fueron sometidos a irradiación y que fueron transferidos de 13 a 20 °C (8.51 a 9.51 para  $a^*$  y 47.27 a 49.12 para  $C^*$ ) mientras que los frutos que fueron sometidos a irradiación y almacenados a 13 °C mostraron los valores más bajos (0.68 a 2.58 para  $a^*$  y 39.73 a 43.76 para  $C^*$ ). El valor de Hue también mostró los mismos efectos de los mismos factores; aquellos frutos que no fueron irradiados y que fueron transferidos de 13 a 20 °C mostraron los valores más bajos (78.6 a 80.02) mientras que los frutos irradiados y almacenados a 13 °C mostraron los valores más altos (86.92 a 89.05).

Cuadro 13. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el color externo a los 17 y 23 días después del almacenamiento.

Tratamiento	$a^*$	Tratamiento	$C^*$	Tratamiento	Hue
SM,SI,CB,T	9.51 a	SM,SI,CB,T	49.12 a	SM,CI,CB,13	89.04 a
SM,SI,SB,T	9.36 ab	CM,SI,CB,T	48.51 a	CM,CI,CB,13	87.70 a
CM,SI,SB,T	8.74 ab	SM,SI,SB,T	47.39 ab	CM,CI,SB,13	87.24 a
CM,SI,CB,T	8.50 ab	SM,SI,SB,13	47.26 ab	SM,CI,SB,13	86.92 a
SM,SI,CB,13	7.46 ab	CM,SI,SB,T	46.11 abc	CM,CI,CB,T	83.72 b
SM,SI,SB,13	7.19 ab	SM,SI,CB,13	45.98 abc	SM,CI,SB,T	83.57 b
SM,CI,CB,T	6.91 ab	SM,CI,SB,T	45.60 abc	CM,SI,CB,13	82.96 bc
CM,CI,SB,T	6.32 abc	CM,CI,SB,T	45.46 abc	CM,SI,SB,13	82.87 bc
CM,SI,SB,13	5.93 abcd	CM,CI,CB,T	45.33 abc	CM,CI,SB,T	82.00 bcd
CM,SI,CB,13	5.43 abcd	CM,SI,SB,13	44.93 abc	SM,SI,SB,13	81.31 bcde
SM,CI,SB,T	5.18 bcd	SM,CI,CB,T	44.74 abc	SM,CI,CB,T	81.22 bcde
CM,CI,CB,T	5.13 bcd	CM,SI,CB,13	43.79 abc	SM,SI,CB,13	80.77 bcde
SM,CI,SB,13	2.51 cde	CM,CI,SB,13	43.76 abc	CM,SI,CB,T	80.01 cde
CM,CI,SB,13	2.30 cde	CM,CI,CB,13	42.41 abc	CM,SI,SB,T	79.12 de
CM,CI,CB,13	1.86 de	SM,CI,SB,13	41.06 bc	SM,SI,CB,T	78.81 e
SM,CI,CB,13	0.67 e	SM,CI,CB,13	39.72 c	SM,SI,SB,T	78.60 e

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

La misma comparación estadística de las interacciones entre los diferentes tratamientos señaló que los factores que menos influyeron en el valor de  $a^*$ ,  $C^*$  y Hue fueron la aplicación de 1-MCP y el empaque en bolsas microperforadas.

El patrón de cambio de color de la pulpa o color interno no se ajustó al mismo patrón de cambio que se observó en el color externo. El Cuadro 14 muestra la comparación de medias de los valores de  $a^*$ ,  $C^*$  y Hue internos para el conjunto de datos a los 17 y 23 días de almacenamiento. Los valores de  $a^*$  fueron consistentemente más influidos por la temperatura, aquellos frutos que fueron transferidos de 13 a 20 °C mostraron los valores más altos (15.1 a 16.3) que los mostrados por los frutos que fueron almacenados a 13 °C (11.09 a 14.7), no observándose una diferencia significativa entre los tratamientos de 1-MCP, irradiación y empaque en bolsa microperforada. Para los valores de ángulo de matiz o Hue la respuesta fue similar, aunque los valores fueron inversos; aquellos frutos que fueron almacenados a 13 °C mostraron los valores más altos (78.7 a 81.05) mientras que los que fueron transferidos a 20 °C mostraron los valores más bajos (77.3 a 78.6). La cromaticidad no mostró el comportamiento observado en el color externo; el tratamiento que mostró el valor más alto correspondió a aquel tratamiento que fue transferido a 20 °C (84.78), fue tratado con 1-MCP, no se irradió y no se empaco en bolsa microperforada y los que mostraron los menores valores (67.4 a 70.2) correspondieron a frutos irradiados sin observarse diferencias entre los tratamientos con 1-MCP o el empacado en bolsa microperforadas.

#### **VI.3.3.1.2 Hue externo e interno**

En la Figura 34, se observan los cambios del ángulo Hue externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C. La tendencia en todos los tratamientos, tanto en Hue interno como externo es la disminución de sus valores con respecto al tiempo de almacenamiento. El Hue externo mostró una mayor disminución en los tratamientos almacenados a mayor

temperaturas, donde se encontraron valores de 95 ° a 105 ° para el inicio y de 75 ° a 80 ° para el final del experimento, mientras que para Hue interno se registraron valores de 85 ° a 75 °-80 °. Se observa que no hubo un cambio tan marcado en el color interno de los frutos, lo cual confirma lo observado en la Figura 32 y 33.

Cuadro 14. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el color interno a los 17 y 23 días después del almacenamiento

Tratamiento	a*	Tratamiento	C*	Tratamiento	Hue
<b>CM,SI,SB,T</b>	16.31 a	<b>CM,SI,SB,T</b>	84.78 a	<b>CM,CI,SB,13</b>	81.05 a
<b>CM,SI,CB,T</b>	16.30 a	<b>CM,SI,CB,T</b>	80.87 ab	<b>SM,CI,SB,13</b>	80.96 a
<b>CM,CI,SB,T</b>	16.01 a	<b>CM,CI,SB,T</b>	79.28 ab	<b>SM,CI,CB,13</b>	79.75 ab
<b>CM,SI,SB,13</b>	15.99 a	<b>CM,SI,SB,13</b>	78.45 ab	<b>CM,CI,CB,13</b>	79.69 ab
<b>SM,SI,SB,13</b>	15.44 ab	<b>SM,SI,SB,13</b>	75.58 ab	<b>CM,SI,SB,13</b>	79.30 ab
<b>CM,SI,CB,13</b>	15.34 ab	<b>CM,SI,CB,13</b>	75.30 ab	<b>SM,SI,SB,13</b>	79.18 ab
<b>SM,SI,CB,T</b>	15.16 ab	<b>SM,SI,CB,T</b>	75.24 ab	<b>CM,SI,CB,13</b>	78.97 ab
<b>SM,SI,SB,T</b>	15.13 ab	<b>SM,SI,SB,T</b>	74.88 ab	<b>CM,SI,SB,T</b>	78.92 ab
<b>SM,SI,CB,13</b>	14.53 abc	<b>SM,SI,CB,13</b>	74.71 ab	<b>CM,CI,SB,T</b>	78.88 ab
<b>SM,CI,CB,T</b>	14.26 abcd	<b>SM,CI,CB,T</b>	74.45 ab	<b>SM,SI,CB,13</b>	78.72 ab
<b>CM,CI,CB,T</b>	14.24 abcde	<b>CM,CI,CB,T</b>	73.88 ab	<b>CM,SI,CB,T</b>	78.57 ab
<b>SM,CI,SB,T</b>	13.91 abcde	<b>SM,CI,SB,T</b>	73.14 ab	<b>CM,CI,CB,T</b>	78.12 b
<b>CM,CI,SB,13</b>	12.35 bcde	<b>CM,CI,SB,13</b>	71.25 ab	<b>SM,CI,CB,T</b>	77.94 b
<b>SM,CI,SB,13</b>	11.79 cde	<b>SM,CI,SB,13</b>	70.21 b	<b>SM,CI,SB,T</b>	77.82 b
<b>CM,CI,CB,13</b>	11.17 de	<b>CM,CI,CB,13</b>	69.83 b	<b>SM,SI,SB,T</b>	77.45 b
<b>SM,CI,CB,13</b>	11.08 e	<b>SM,CI,CB,13</b>	67.40 b	<b>SM,SI,CB,T</b>	77.26 b

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

El cambio de color del mango ‘Manila’ está asociado al proceso de maduración (Yahia *et al.*, 2000). Este cambio de color está ligado a la síntesis de carotenoides y a la degradación de la clorofila (León *et al.*, 1997; Hidalgo *et al.*, 1997; Ornelas Paz *et al.*, 2007; 2008; Medlicott *et al.*, 1986), lo cual ocurre por la destrucción de las membranas tilacoides de los cloroplastos durante las primeras etapas de maduración (Medlicott *et al.*, 1986). Ornelas-Paz *et al.* (2007, 2008), reportaron que los carotenoides más importantes en el mango ‘Manila’ son trans-

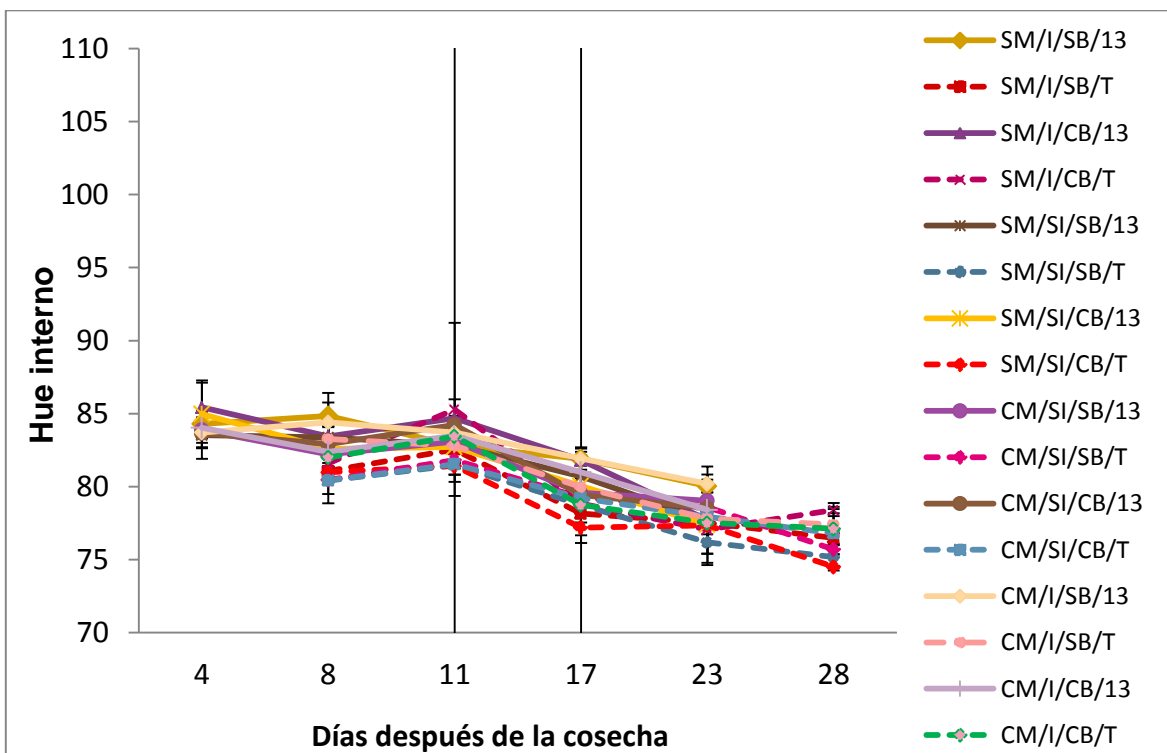
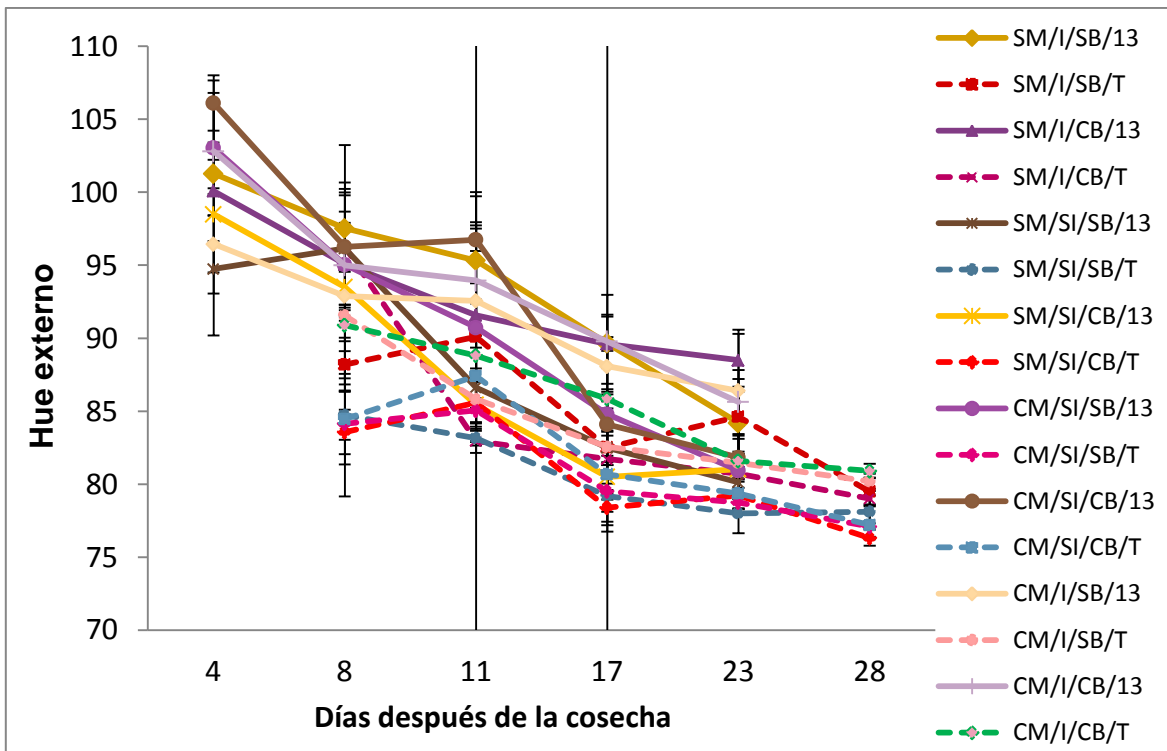


Figura 34. Cambios en los valores de Hue externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).



$\beta$ -caroteno, trans-violaxantina y 9-cis-violaxantina y determinaron que hay alta correlación entre los valores de  $a^*$  y  $h$  con la concentración de carotenoides, por lo tanto, la coloración amarilla-naranja de los frutos, está dada por la síntesis de carotenoides.

De acuerdo a los valores presentados, se puede observar que los cambios de coloración en el interior de los frutos no fueron tan marcados como los observados en el exterior (Figura 32 y 33). Esto indica que la irradiación afectó en mayor medida la piel de los frutos, más que la pulpa. Este mismo efecto fue reportado por Guerrero (2010), y Mercado-Silva (2010), quienes mencionan que la irradiación con rayos gamma provoca una demora en los cambios de color de la piel de verde a amarillo de frutos de mango 'Manila'. De igual manera, Boag *et al.* (1990), reportaron que a mayores dosis de irradiación (rayos gamma) había un aumento en el retraso del desarrollo de la coloración amarilla en mangos cv. 'Kensington Pride'. Por otro lado, Súmano (2009), no observó diferencias significativas en el cambio de coloración de frutos 'Tommy Atkins' irradiados a diferente dosis.

Como se ha establecido anteriormente el valor de Hue fue mayor en todos los casos donde los frutos se almacenaron a 13 °C, sin embargo, se puede observar que hubo una mayor tendencia a disminuir los valores de Hue en la piel de los frutos, que en la pulpa, La misma tendencia fue reportada por Hidalgo *et al.* (1997), quienes mencionan que los valores de Hue decrecieron en la pulpa de los frutos de mango controles mantenidos a 25 °C, indicando un cambio normal en la coloración de amarillo-verde a naranja-amarillo. Estos autores no encontraron diferencias significativas en los valores de Hue en la pulpa de los mangos almacenados a las diferentes temperaturas de refrigeración. Súmano (2009), reportó una diferencia significativa de la coloración de frutos de mango 'Tommy Atkins' irradiados, encontrando un mayor desarrollo de coloraciones rojas en frutos almacenados a 20 °C que en frutos almacenados a 10 °C.

Sisler y Serek (1997), y Blankenship y Dole (2003), reportaron que el 1-MCP retardó los cambios relacionados con la maduración y la senescencia de los frutos. Este efecto fue reportado por Wang *et al.* (2006), donde trataron mangos cv. 'Guifei' con 1-MCP y vacío, encontrando que la tasa de degradación de clorofila en la piel de los mangos fue inhibida con dicho tratamiento,

Jiang *et al.* (1999), reportaron que al aplicar 1-MCP en plátanos "Cavendish", se retrasó la aparición del color amarillo, lo que sugiere el retraso en el proceso de maduración por la reducción en la producción de etileno debido a la saturación de los receptores del etileno; así mismo, mencionaron que el cambio de color fue más afectado por el uso de 1-MCP que por las diferentes concentraciones aplicadas. No obstante, Osuna *et al.* (2005), no encontraron efectos significativos en el color de la pulpa de mango.

#### **VI.2.3.1.3 Cromo externo e interno**

En la Figura 35, muestra los cambios del croma externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C (línea continua) y transferidos de 13 °C a 20 °C (línea discontinua). Tanto croma interno, como externo, mostraron un incremento inicial que posteriormente permaneció aproximadamente constante durante el almacenamiento.

Este mismo comportamiento fue reportado por Yahia *et al.* (2000), estudiando los efectos del tratamiento con aire caliente forzado donde no encontró diferencias significativas en el valor de croma para frutos tratados y o no tratados.

Los datos mostrados se encuentran dentro de los reportados por Siller-Cepeda *et al.* (2001), para diferentes variedades de mango durante el proceso de maduración.

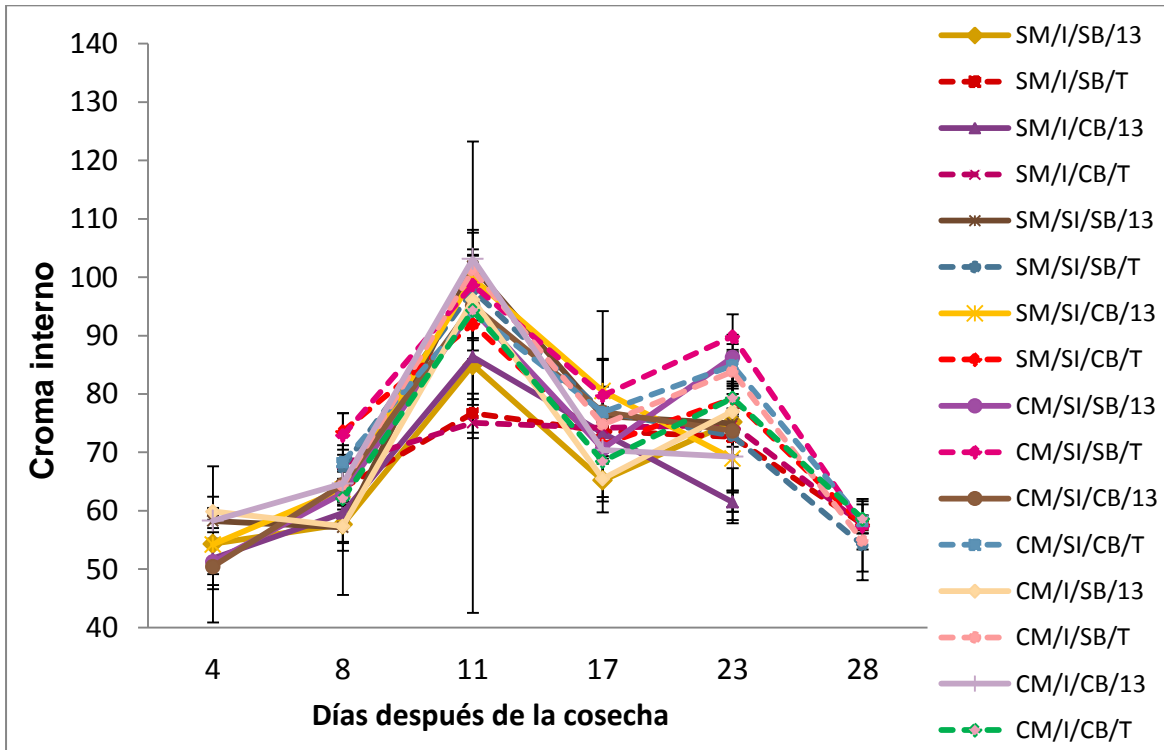
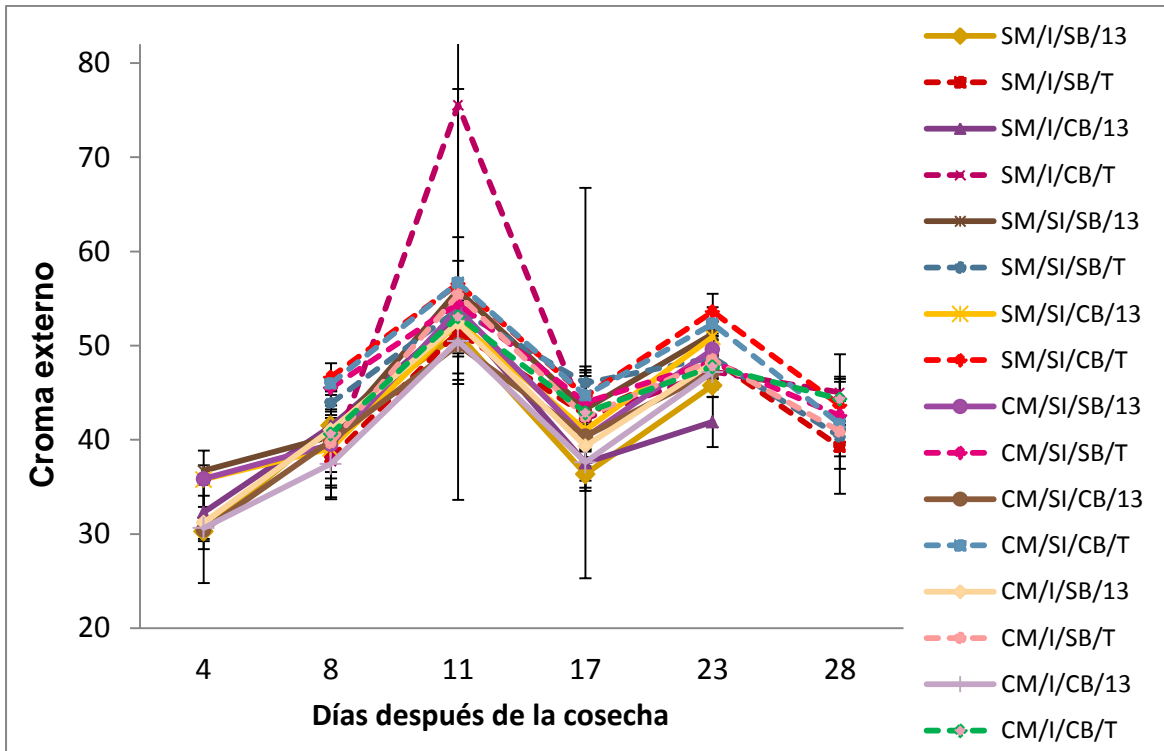


Figura 35. Cambios en Croma externo e interno de mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C. (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

#### **VI.2.3.1.4 Pérdida de peso**

Las frutas y hortalizas frescas se componen principalmente de agua, en la etapa de crecimiento tienen un abastecimiento abundante de agua a través del sistema radicular de la planta. Con la cosecha, este abastecimiento se corta y el producto debe sobrevivir de sus propias reservas. En conjunto con el metabolismo, el producto cosechado pierde agua hacia la atmósfera, por un proceso conocido como transpiración, el cual depende de la diferencia de presión de vapor de agua entre el ambiente y la atmósfera interna de los tejidos. La atmósfera interna de frutas y hortalizas se puede considerar como saturada de vapor de agua, a la misma temperatura el aire ambiental generalmente se encuentra con una presión de vapor de agua menor que el tejido, por lo tanto, existe un gradiente de presión de vapor de agua desde el producto al aire que lo rodea, lo que provoca una transferencia de vapor de agua desde la zona de alta presión (el tejido) a la zona de baja presión (el aire) que impacta en la pérdida de peso. La presión de vapor de agua es una función directa de la temperatura del sistema de tal forma que a altas temperaturas se tendrá un diferencial de presión de vapor mayor y por tanto una mayor pérdida de peso. El efecto neto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado. Esta pérdida de agua o peso también puede ser controlada por la presencia o no de una epidermis más o menos gruesa o la presencia de una capa de cera que podría impedir el paso de humedad en la superficie. La pérdida de agua, cuando ocurre, causa una disminución significativa del peso que disminuye su apariencia, la elasticidad, la crujencia o turgencia haciendo al producto blando y marchito. Debido a esto, la velocidad con la que se pierde agua, es un factor determinante en la vida poscosecha del producto (FAO, 1987; 1989).

El Cuadro 12 mostró que los factores que más impactaron la pérdida de peso fueron el empaque en bolsas microperforadas (que limitan la salida de agua hacia el ambiente exterior) y la temperatura de almacenamiento (que disminuye la presión de vapor de agua). De acuerdo con las necesidades de vida de anaquel para la comercialización de los frutos, se estimó el efecto de los distintos factores

estudiados a los 17 y 23 días de almacenamiento mediante una comparación de medias de la pérdida de peso utilizando la prueba de Tukey con  $\alpha=0.05$ . El Cuadro 15 muestra la comparación de medias señalada.

Cuadro 15. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la pérdida de peso a los 17 y 23 días después del almacenamiento.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
<b>CM,CI,SB,T</b>	12.16 a
<b>SM,CI,SB,T</b>	11.98 a
<b>CM,SI,SB,13</b>	11.33 ab
<b>CM,SI,SB,T</b>	10.87 abc
<b>SM,SI,SB,T</b>	10.86 abc
<b>SM,CI,SB,13</b>	10.80 abcd
<b>CM,CI,SB,13</b>	9.94 abcde
<b>SM,SI,SB,13</b>	9.64 abcdef
<b>CM,CI,CB,T</b>	7.23 bcdefg
<b>SM,CI,CB,T</b>	6.92 cdefg
<b>SM,SI,CB,T</b>	6.67 defg
<b>CM,SI,CB,T</b>	6.53 efg
<b>SM,CI,CB,13</b>	5.99 efg
<b>CM,CI,CB,13</b>	5.90 efg
<b>CM,SI,CB,13</b>	5.48 fg
<b>SM,SI,CB,13</b>	5.28 g

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Todos aquellos tratamientos que estuvieron empacados en bolsas microperforadas y almacenadas bajo refrigeración a 13 °C perdieron menos peso (5.3 a 6.0 %) respecto de los frutos que no se almacenaron en bolsa microperforada y que fueron transferidos de 13 a 20 °C, los cuales alcanzaron pérdidas de peso de 10.9 a 12.2 %. Estos resultados muestran claramente la mejora que significa en el manejo de este fruto el empacarlo en bolsas microperforadas, porque reduce hasta un 5 % la pérdida de peso. La menor

incidencia de marchitez de los frutos que se observa en las Figuras 30 y 31 seguramente tiene explicación en esta menor pérdida de peso.

La Figura 36, muestra la evolución de la pérdida de peso de los frutos bajo los diferentes tratamientos almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C durante todo el experimento. Todos los tratamientos siguieron la misma tendencia esperada. A lo largo del tiempo de almacenamiento, aumentó progresivamente la pérdida de peso, hasta alcanzar valores cercanos al 15 % (en los días 23 y 28 de almacenamiento). En dicha figura, se pueden observar dos grandes grupos, aquellos en que la pérdida de peso fue más rápida, que lo componían los frutos almacenados sin la bolsa microperforada y bajo temperaturas de transferencia, y el otro grupo formado por aquellos frutos almacenados con bolsa microperforada y almacenados a 13 °C.

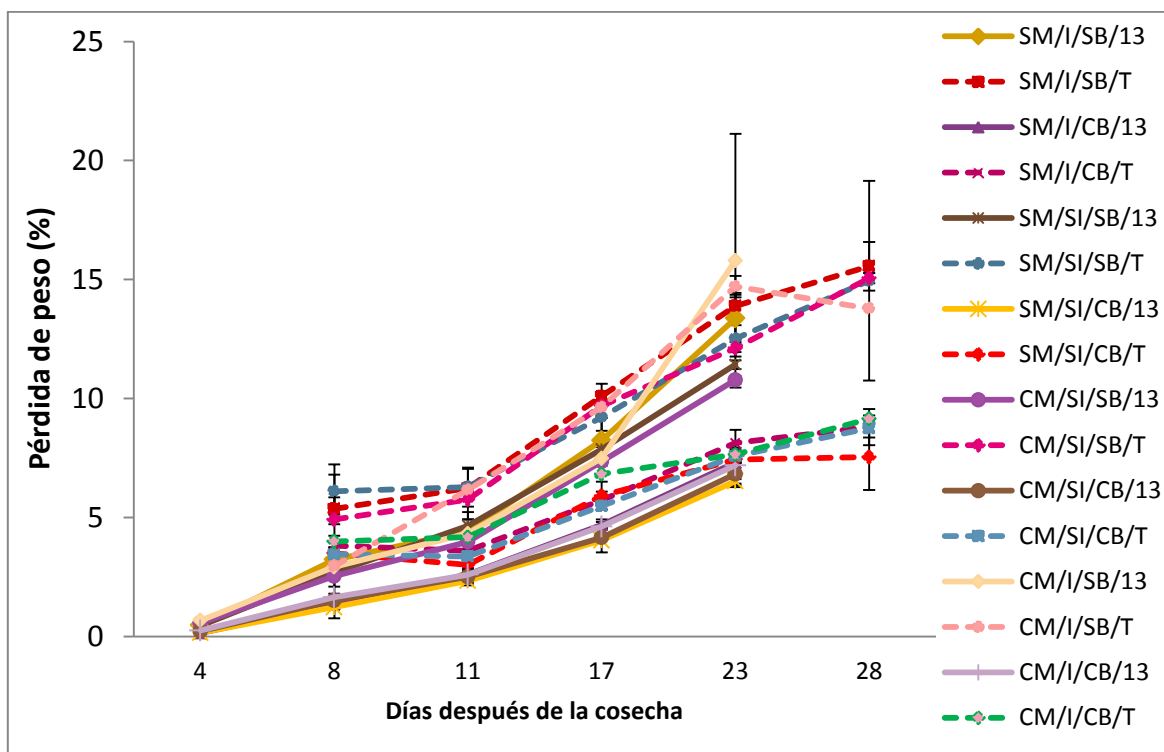


Figura 36. Porcentaje de pérdida de peso en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

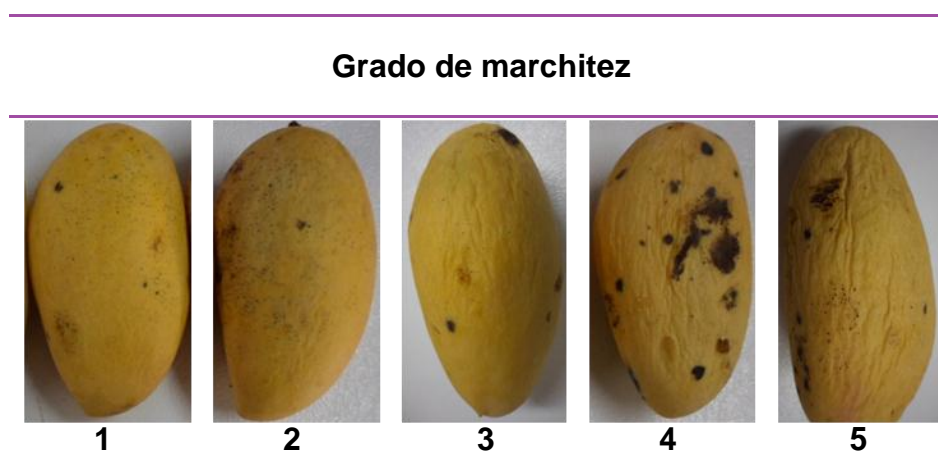
Súmmano (2009), indicó que la pérdida de peso en frutos de mango 'Tommy Atkins' a los 19 días de almacenamiento a 20 °C fue alrededor del 7 % sin el uso de materiales de empaque, lo cual contrasta con los resultados encontrados en esta variedad donde la pérdida de peso fue de aproximadamente 10 % para el día 17 (Figura 33). Lo anterior puede explicarse en función de la distinta estructura histológica de la piel de ambos tipos de mango. Así mismo, Saucedo y Lakshminarayana (1977), reportaron una pérdida de peso de 10.1 % en mango 'Manila' a los 12 días de almacenamiento a 25 °C, mientras que a 13 °C, sólo alcanzó el 1.6 %. Guerrero (2010), encontró una pérdida de peso alrededor del 11 % y 7 % en frutos de mango 'Manila' almacenados a 20 °C y 10 °C, respectivamente. La rápida pérdida de peso de los mangos 'Manila' se ha asociado a rápida pérdida de agua, lo cual es causado por una alta tasa metabólica (Barbosa-Martínez *et al.*, 2009; Saucedo y Lakshminarayana, 1977). Barbosa-Martínez *et al.* (2009), reportaron que el mango 'Manila' presenta una actividad metabólica y una tasa de pérdida de humedad más alta que cultivares como 'Kent', debido a que presentan diferencias histológicas importantes como que la piel y cutícula son más delgadas, tiene menor número de capas de células epidérmicas e hipodérmicas, con paredes celulares más delgadas y las células de la pulpa con más grandes. Por otro lado, Gutiérrez *et al.* (1997), reportaron que el pico climatérico de mangos 'Manila' se presenta a los 3 días después de la cosecha, mientras que en mangos como 'Tommy Atkins', 'Haden' y 'Kent' se presenta a los 10 a 12 días después de la cosecha, señalando con esto, una mayor actividad metabólica. Saucedo y Lakshminarayana (1977), y León *et al.* (1997), registraron altas tasas de respiración de mango 'Manila' almacenado a 25 °C de 262 y 242 mg CO<sub>2</sub>/kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que a 13 °C, alcanzó 93 mg CO<sub>2</sub>/kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y el climatérico apareció hasta los 27 días de almacenamiento. Por su parte, Lira *et al.* (2008), mostraron datos comparativos de las tasas de respiración de esta variedad con 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden', indicando que 'Ataulfo' y 'Manila' (mangos poliembriónicos), mostraron la mayor tasa de respiración cuando se almacenaron a 20 °C (265 y 196 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente), en comparación con las otras variedades (150, 110 y 105 mg

CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Haden', respectivamente); añadiendo que el mango 'Manila' tuvo la menor vida de anaquel a 20 °C (6 días), respecto de las otras variedades (11 días) confirmando que la mayor actividad metabólica de esta variedad es una de las causas de la menor vida de anaquel.

Mercado-Silva (2012), reportó que el mango 'Manila' presenta un alto grado de deshidratación o marchitez; este fenómeno ha sido asociado a la alta tasa de respiración y a la pérdida de peso (Saucedo y Lakshminarayana, 1977), y por las diferencias histológicas que presenta esta variedad, respecto de mangos del tipo momoembriónico, como por ejemplo 'Kent' (Barbosa-Martínez *et al.*, 2009).

Tratando de hallar una correlación entre el grado de marchitez o deshidratación del fruto y la pérdida de peso, se construyó una escala subjetiva del grado de marchitez que se muestra en Cuadro 16, donde el número 1 representa frutos con muy ligeros signos de marchitez, y el número 5, representa el grado de marchitez más severo.

Cuadro 16. Clasificación visual del grado de marchitez de mango 'Manila'.



En el Cuadro 17, se muestran los valores obtenidos de grado de marchitez y pérdida de peso de frutos de mango 'Manila' almacenados a 13 °C ó 13 °C/20 °C a los 23 días después de la cosecha. Se puede observar que el factor bolsa tuvo



un efecto significativo sobre esta variable respuesta, esto es, hubo mayor grado de marchitez en aquellos frutos que no se empacaron con la bolsa microperforada, obteniendo una media de 3.52, mientras que aquellos frutos que se almacenaron con la bolsa microperforada presentaron una marchitez promedio de 1.56. De igual forma, se aprecia que ese grado de marchitez se asoció con una mayor pérdida de peso.

Cuadro 17. Pérdida de peso y grado de marchitez, de frutos de mango ‘Manila’ después de 23 días de almacenamiento a 13 °C ó 13 °C/20 °C sometidos a diferentes tratamientos.

Tratamiento	Grado de marchitez	Pérdida de peso (%)
SM/I/SB/13	3.83±0.75 a	13.37±0.99 abc
SM/I/SB/T	3.50±0.84 a	13.87±0.55 ab
SM/I/CB/13	1.67±0.52 b	7.31±0.45 cd
SM/I/CB/T	1.50±0.84 b	8.13±0.55 bcd
SM/SI/SB/13	3.50±0.84 a	11.42±0.19 abcd
SM/SI/SB/T	3.33±0.52 a	12.51±0.57 abcd
SM/SI/CB/13	1.33±0.52 b	6.52±0.09 d
SM/SI/CB/T	1.83±0.75 b	7.43±0.14 bcd
CM/SI/SB/13	3.17±0.75 a	15.33±0.17 a
CM/SI/SB/T	3.50±0.84 a	14.71±0.35 a
CM/SI/CB/13	1.50±0.55 b	6.82±0.47 d
CM/SI/CB/T	1.17±0.75 b	7.58±0.27 bcd
CM/I/SB/13	3.83±1.17 a	12.4±5.33 abcd
CM/I/SB/T	3.67±0.82 a	12.10±0.45 abcd
CM/I/CB/13	1.00±0.89 b	7.18±0.91 cd
CM/I/CB/T	1.67±0.52 b	7.64±0.29 bcd

**SM/CM:** sin/con 1-MCP; **SI/I:** sin/con irradiación; **SB/CB:** sin/con bolsa microperforada; **T/13:** almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Para dar más evidencia del efecto de la bolsa microperforada para el control de la marchitez, se construyó una gráfica del porcentaje de pérdida de peso contra el grado de marchitez subjetivo. La Figura 37 muestra claramente que los frutos

que estuvieron empacados en la bolsa microperforada tuvieron una menor marchitez y menor pérdida de peso, también de forma general, se pudo observar una menor importancia de la temperatura de almacenamiento.

Los datos de la figura 37 muestran claramente que el factor más importante que controló la pérdida de peso y la marchitez de los frutos fue el empaque en bolsas microperforadas, y que los factores 1-MCP y la irradiación no tuvieron un efecto significativo.

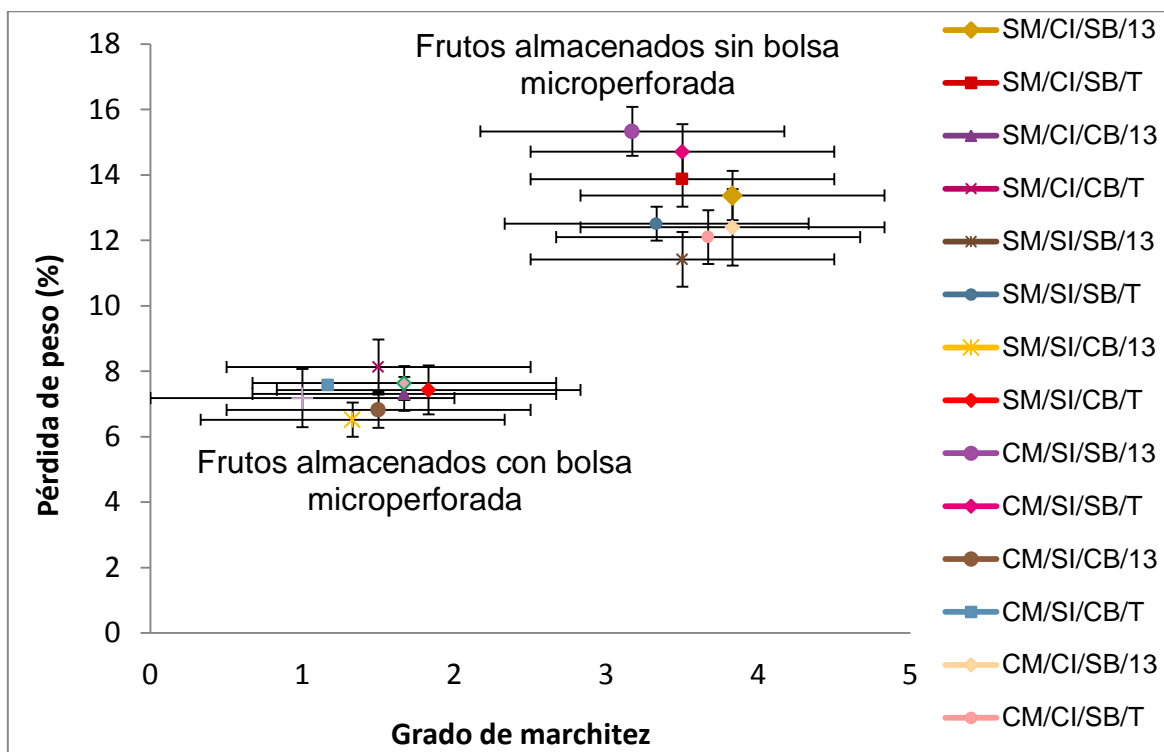


Figura 37. Relación de la pérdida de peso y el estado de marchitez de frutos de mango 'Manila' (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

Después de los 17 y 23 días de almacenamiento, el factor temperatura de almacenamiento tuvo un efecto menor que el empaque en bolsas perforadas; no obstante, en el Cuadro 15 también se observa que aquellos tratamientos que fueron transferidos de 13 a 20 °C registraron mayores pérdidas de peso respecto de los que fueron almacenados a 13 °C de forma continua; por ello no se debe

olvidar que el empaque en bolsas microperforadas debe de asociarse al almacenamiento a 13 °C.

Éste mismo efecto fue reportado por Rosa *et al.* (2001), quienes encontraron una menor pérdida de peso de frutos de mango cv 'Tommy Atkins' y 'Keitt' almacenados en empaques microperforados por 3 semanas a 12 °C más 5 días a 20 °C. Así mismo, Ramin y Khoshbakhat (2008), reportaron que había una pérdida de peso en frutos de lima almacenadas con empaques microperforados alrededor del 8 %, en contraste con los frutos control que registraron 16 % a 20 °C. Díaz-Sobac *et al.* (1996), recubrieron frutos de mango cv. 'Manila' con una emulsión a base de maltodextrinas, carboximetilcelulosa, propilenglicol y ácidos grasos que perdieron el 8 % de peso después de 21 días de almacenamiento a 25 °C y extendieron la vida de anaquel hasta por 20 días. El recubrimiento limitó la transpiración y consecuentemente la pérdida de peso. Sin embargo, la aplicación de recubrimientos y el abuso de la temperatura puede provocar un aumento de la demanda de oxígeno al interior del producto y esto generar condiciones anaerobias que a su vez provocan alteraciones del sabor, cambios indeseables en la textura, entre otros (Kader, 2011).

No obstante la evidencias anteriores, fue importante identificar si la aplicación del regulador de la maduración tuvo un impacto en la pérdida de peso y la marchitez de los frutos. El análisis estadístico por fecha de muestreo indicó que hasta el día 4 de almacenamiento, la aplicación de 1-MCP indujo una menor pérdida de peso respecto de los frutos no tratados (3.0 y 3.4 % respectivamente) pero esta diferencia ya no fue significativa en los siguientes muestreos. Aunque el factor 1-MCP no fue estadísticamente significativo, se puede observar, en el Cuadro 15, que hubo una tendencia de menor pérdida de peso en los frutos a los cuales se les aplicó el regulador de la maduración. En experimentos preliminares, se almacenaron frutos de mango 'Manila' por 13 días a 13 °C, sin la aplicación de 1-MCP y con bolsa microperforada, observándose una mayor pérdida de peso (10 % al 14 %) que la registrada en este experimento para 11 ó 17 días de

almacenamiento. Se ha demostrado en hortalizas de hoja y ornamentales, que el etileno causa la marchitez prematura después de la cosecha, a este respecto, el uso de 1-MCP, reduce este problema (Reid, 2011). La aplicación de 0.5 ppm de 1-MCP aplicado en tomate bola verde-maduro, retrasó el pico climatérico por 10 días en comparación con los frutos no tratados, lo cual demoró los cambios de color y la pérdida de firmeza de los frutos sin alterar su calidad sensorial (Báez *et al.*, 2001). Muy-Rangel *et al.* (2004), reportaron que la aplicación de 1-MCP redujo la pérdida de peso de frutos de mangos cv 'Ataulfo' almacenados durante 15 días a 20 °C, encontrando que la máxima diferencia alcanzada a los 12 días fue 0.5 %.

Mercado-Silva (2010), indicó que el mango 'Manila' tiene una vida de anaquel de 15 días debido a problemas de marchitez, en el presente estudio, se logró aumentar la vida de anaquel a 17 días a 13 °C y 6 días adicionales a 20 °C. En contraste con estos resultados, Siller-Cepeda *et al.* (2009), señalaron que el mango 'Manila Rosa' y 'Ah-ping' presentaron signos de marchitez cuando la pérdida de peso fue de 5 a 6 % a 20 °C, sin identificar de manera más puntual ese grado de marchitez, mientras que las variedades 'Haden', 'Tommy Atkins', 'Kent' y 'Keitt' presentaron valores de 2.5 a 4 %, y otras como 'Diplomático' y 'Edward' que perdieron 6 y 7 % no presentaron signos de marchitez.

#### **VI.2.3.1.5 Firmeza**

La firmeza es un factor de calidad importante, debido a que este influye en la resistencia que los frutos presentan al manejo poscosecha y determina directamente la percepción de la calidad por el consumidor (Najib *et al.*, 1997). El ablandamiento del mesocarpo es uno de los principales signos asociados al proceso maduración, el cual está relacionado con cambios estructurales de la pared celular (Díaz-Sobac *et al.*, 1997).

En este estudio, la firmeza de los frutos disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Figura 38). La variabilidad de datos fue mayor al inicio

del experimento y se redujo a medida que transcurrió el almacenamiento. A grandes rasgos, se puede observar que existen dos grandes grupos, éstos de acuerdo a la temperatura de almacenamiento, siendo mayor la firmeza en aquellos frutos que se almacenaron a 13 °C. Lo cual concuerda con lo observado por otros autores (Keawpet y Kanlayanarat, 2002), quienes observaron una disminución de la firmeza, a través del tiempo, en frutos de mango ‘Nam Dok Mai’ almacenados en bolsas microperforadas a 7 °C, 13 °C y 25 °C, señalando una mayor pérdida de firmeza en frutos almacenados a mayores temperaturas.

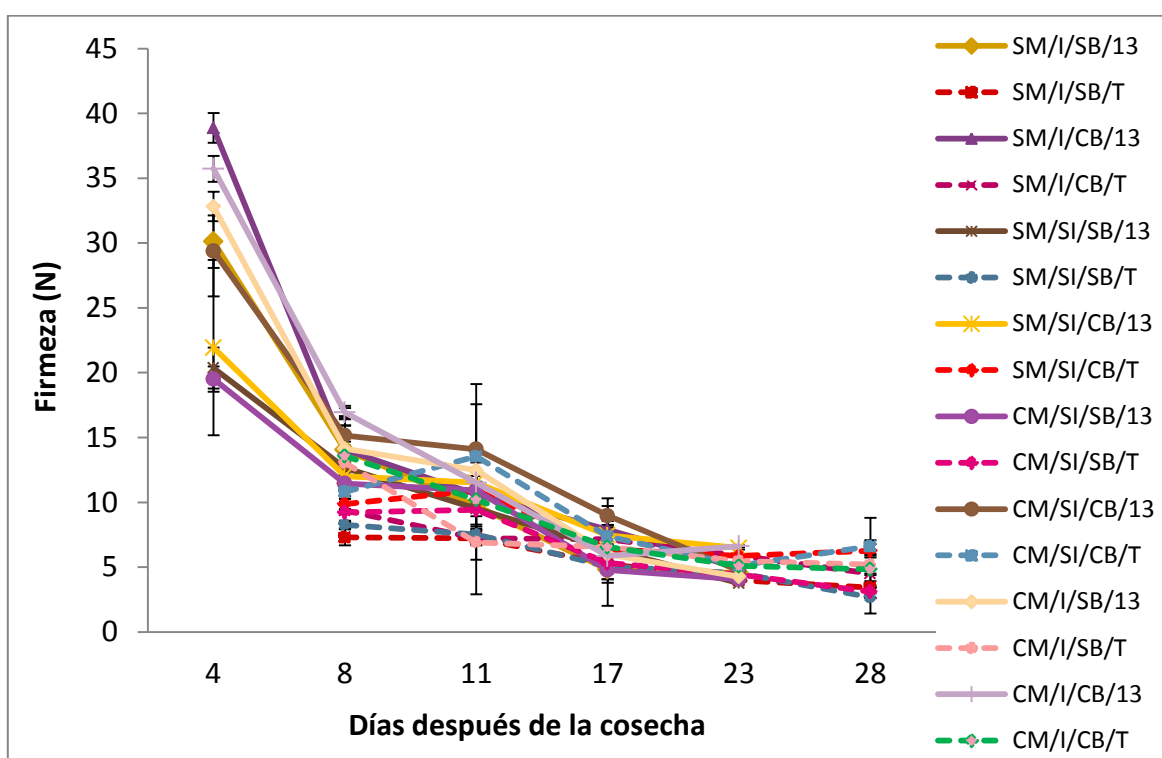


Figura 38. Firmeza, expresada en Newtons, de mangos ‘Manila’, almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

Mercado-Silva (2010), clasificó distintas variedades de mango de acuerdo a su firmeza, utilizando una prueba de compresión del fruto íntegro, donde indicó que el mango ‘Manila’ es de baja firmeza con valores que van de 18 a 31 N, en comparación con variedades como ‘Tommy Atkins’, ‘Haden’, ‘Kent’ y ‘Keitt’ que

presentan una firmeza de 85 a 185 N. La baja firmeza del mango 'Manila' puede deberse a las diferencias en sus características morfohistológicas (Barbosa-Martínez *et al.*, 2009), que se mencionaron anteriormente y a la rápida pérdida de sustancias pecticas en la piel del fruto durante el proceso normal de maduración como lo señalaron Lira *et al.* (2008).

Al finalizar el tratamiento, la firmeza de los frutos de mango estuvo en un rango de 3 a 7 N. Osuna *et al.* (2005), indicaron que la firmeza de consumo de frutos de mango debe situarse entre 10 a 20 N, por ello, a partir del 8vo día de almacenamiento, los frutos que se analizaron en el presente estudio, se pueden considerar que tenían la firmeza adecuada para consumo.

El Cuadro 12, señala que los factores que influyeron significativamente en la firmeza fueron el 1-MCP, el empaque en bolsa microperforada y la temperatura. Observándose en términos generales que la aplicación de 1-MCP produjo en los frutos mayores valores de firmeza (9 N), respecto de los frutos no tratados (7.9 N); por otro lado, aquellos frutos empacados en bolsas microperforadas registraron una media general de 9.2 N en comparación con 7.2 N de los frutos no empacados con bolsa y los mismos valores fueron registrados para los frutos almacenados a 13 °C y sus transferencias de 13 a 20 °C. Aunque el análisis general de todas las interacciones sólo mostraron diferencias significativas el tratamiento que incluyó 1-MCP, sin irradiación, empacado con bolsa y almacenado a 13 °C mostró una media general de 10.7 N y que fue diferente con el tratamiento que no incluyó el 1-MCP; que fueran irradiados o no y no empacados en bolsa microperforada que mostraron valores de 5.9 a 6.3 N.

Bajo el argumento señalado respecto de analizar los frutos bajo periodos de almacenamiento de 17 y 23 días para cumplir con las necesidades de comercialización a mercados relativamente distantes; se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias en esos dos periodos de muestreo (Cuadro 18). El empaque en bolsa microperforada registró valores

mayores, no obstante el análisis general de las interacciones no mostró diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Cuadro 18. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la firmeza a los 17 y 23 días después del almacenamiento

Tratamiento	Firmeza (N)
<b>SM,SI,CB,13</b>	6.96 a
<b>CM,SI,CB,13</b>	6.85 a
<b>SM,CI,CB,T</b>	6.52 a
<b>SM,CI,CB,13</b>	6.40 a
<b>CM,SI,CB,T</b>	6.24 a
<b>CM,CI,CB,13</b>	6.23 a
<b>SM,SI,CB,T</b>	6.12 a
<b>CM,CI,SB,T</b>	6.01 a
<b>CM,CI,CB,T</b>	5.82 a
<b>CM,SI,SB,T</b>	5.72 a
<b>CM,CI,SB,13</b>	5.18 a
<b>SM,SI,SB,13</b>	5.09 a
<b>SM,SI,SB,T</b>	4.78 a
<b>SM,CI,SB,13</b>	4.68 a
<b>SM,CI,SB,T</b>	4.61 a
<b>CM,SI,SB,13</b>	4.42 a

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

El análisis fraccionado a los 17 días mostró algunas diferencias entre los tratamientos que desaparecieron a los 23 días. Los datos de firmeza al inicio del experimento muestran uno de los principales problemas de esta variedad ya que tiene de entrada valores iniciales muy bajos los cuales se reducen notoriamente con el almacenamiento limitando drásticamente la vida de anaquel de estos frutos.

De manera contraria, Súmano (2009), reportó que la firmeza de frutos de mango ‘Tommy Atkins’ irradiados disminuyó conforme aumento la dosis de irradiación y la temperatura, sin embargo, en los frutos no irradiados, la firmeza se

conservó mejor independientemente de la temperatura, de manera contraria, Guerrero (2010), reportó que la irradiación no ejerció un efecto significativo sobre el ablandamiento de frutos de mango 'Manila', presentado valores de firmeza de 24 y 21 N al inicio del experimento, para finalizar en 4.3 y 7.4, para los controles y frutos irradiados, respectivamente.

Este comportamiento también concuerda con lo indicado por Muy-Rangel *et al.* (2004), quienes mostraron que al aplicar 1-MCP en mango cv 'Ataulfo', se reducía la pérdida de firmeza durante los primeros 9 días de almacenamiento (40 % más firmes que los controles), Sin embargo, a los 15 días de almacenamiento, no se observan diferencias entre los diferentes tratamientos lo cual coincide con lo observado en este experimento.

Por su parte Osuna *et al.* (2005), indicaron que al tratar frutos de mango 'Kent' con 1-MCP se retrasó significativamente el proceso de maduración y la pérdida de firmeza, lo que permitió prolongar hasta en 4 días la vida de anaquel, reteniendo la firmeza de los frutos hasta un 50 %, con relación a los frutos no tratados. Así mismo concluye que el uso de 1-MCP puede ser una tecnología viable para la exportación de mango vía marítima a la Unión Europea y Asia al minimizar riesgos de pérdidas poscosecha en mercado terminal y reducir costos del transporte. Para el caso de mango 'Manila' se deben de explorar otras alternativas para mejorar la resistencia mecánica de este fruto.

Aunque después de 8 días de almacenamiento hubo ciertas ventajas de almacenar los frutos empacados con bolsas microperforadas, la práctica comercial no permite ver que el problema de baja firmeza se mejore con el uso de las técnicas aplicadas; aunque otros investigadores (Keawpet y Kanlayanarat 2002), observaron una mayor firmeza en mango 'Nam Dok Mai' almacenados en bolsas microperforadas a 13 °C y 25 °C. Así mismo, Toivonen (1996), reportó que se mantenía mejor la firmeza de brócoli cv. Mariner (*Brassica oleracea* L., Itálica) cuando se almacenaron en bolsas microperforadas. De igual manera, Ramin y



Khoshbakhat (2008), reportaron que al almacenar limas de la variedad “Kay”, en bolsas con diferente número de microperforaciones, indicaron que la firmeza de los frutos era mejor en aquellos que se almacenaron en la bolsa con la menor cantidad de microperforaciones (40 microperforaciones), sin embargo, aún las bolsas con la mayor cantidad de microperforaciones mejoró la firmeza de los frutos en comparación con los frutos controles. Conjuntamente, reportaron que los frutos almacenados bajo estas condiciones, mejoraron casi al doble la vida de anaquel, en comparación con el enfriamiento, considerado como el tratamiento tradicional para alargar la vida poscosecha de cítricos.

Cabe destacar que los frutos de mango almacenados a menores temperaturas, mantienen mejor la firmeza, que aquellos almacenados a temperaturas bajas y transferidos a temperatura ambiente. Esto mismo ha sido reportado por León *et al.* (1997), en donde no encontraron una diferencia significativa en la firmeza al almacenar frutos de mango ‘Manila’ con diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> a 12 °C (2 Kgf/cm<sup>2</sup>), sin embargo si observaron diferencias significativas con respecto a la temperatura de almacenamiento, debido a que los frutos almacenados a 25 °C mostraron un rápido ablandamiento con respecto a los almacenados a 12 °C.

Gutiérrez *et al.* (1997), reportaron que en frutos de mango ‘Manila’ sometidos a tratamiento hidrotérmico (46 °C por 75 min) y posteriormente almacenados a 6 °C y 12 °C, no encontraron diferencias significativas entre los frutos tratados y los controles, sin embargo, observaron que los frutos almacenados a 6 °C, tuvieron mayor firmeza que los almacenados a 12 °C y 25 °C, donde la fuerza necesaria para penetrar los frutos disminuyó de 12 Kgf/cm<sup>2</sup> a 1.5 Kgf/cm<sup>2</sup>, en todos los tratamientos. Con dichos datos, concluyeron que el tratamiento hidrotérmico no afectó la firmeza de los frutos.

## **VI.3.4. Análisis químico**

### **VI.3.4.1 Sólidos solubles totales**

En los frutos climatéricos, conforme avanza su maduración, se presenta un incremento en su contenido de SST, al mismo tiempo que se reduce el contenido de ácidos orgánicos. Los SST se relacionan con los azúcares, sin embargo, éstos no sólo consideran azúcares en su determinación, además incluyen se cierta cantidad de ácidos orgánicos, aminoácidos, fenoles, sales inorgánicas y orgánicas (Morín, 1980). Hidalgo *et al.* (1997), señalaron que los principales azúcares en mango 'Manila' son fructosa y glucosa.

La Figura 39 se muestra el comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) en los diferentes tratamientos a través del tiempo. Como era de esperarse, el contenido de SST aumentó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. Lagunes *et al.* (2007), reportaron que el contenido de SST aumentaba desde 11 a 19 °Bx a los 5 días de maduración posterior a la aplicación de etileno exógeno. Un aspecto importante que muestran estos datos es que el contenido inicial de los frutos fue alto lo que sugiere que los frutos estaban en franca maduración al inicio del experimento, lo cual pudo tener efectos importantes en las respuestas a los distintos tratamientos. No obstante, también es importante señalar que hubo una adecuada evolución de los SST, lo cual indico que los tratamientos no alteraron el proceso.

De acuerdo al Cuadro 12, los factores que influyeron significativamente en los SST fueron la irradiación y el empaque en bolsa microperforada mostrando valores más altos aquellos frutos que no fueron irradiados (20.6 °Bx) respecto de los irradiados (19.6 °Bx); mientras que los frutos que no fueron empacados en dichas bolsas registraron valores de 20.4 respecto de los que si empacaron en ese material mostrando valores estadísticamente menores (19.7 °Bx). No obstante las interacciones mostraron que sólo el tratamiento sin 1-MCP, sin irradiación y sin bolsa microperforada tuvo una media general más alta de SST (21.2 °Bx) que

aquellos frutos que no fueron tratados con 1-MCP, pero que se irradiaron y empaclaron en bolsa y almacenados a 13 °C (18.5 °Bx).

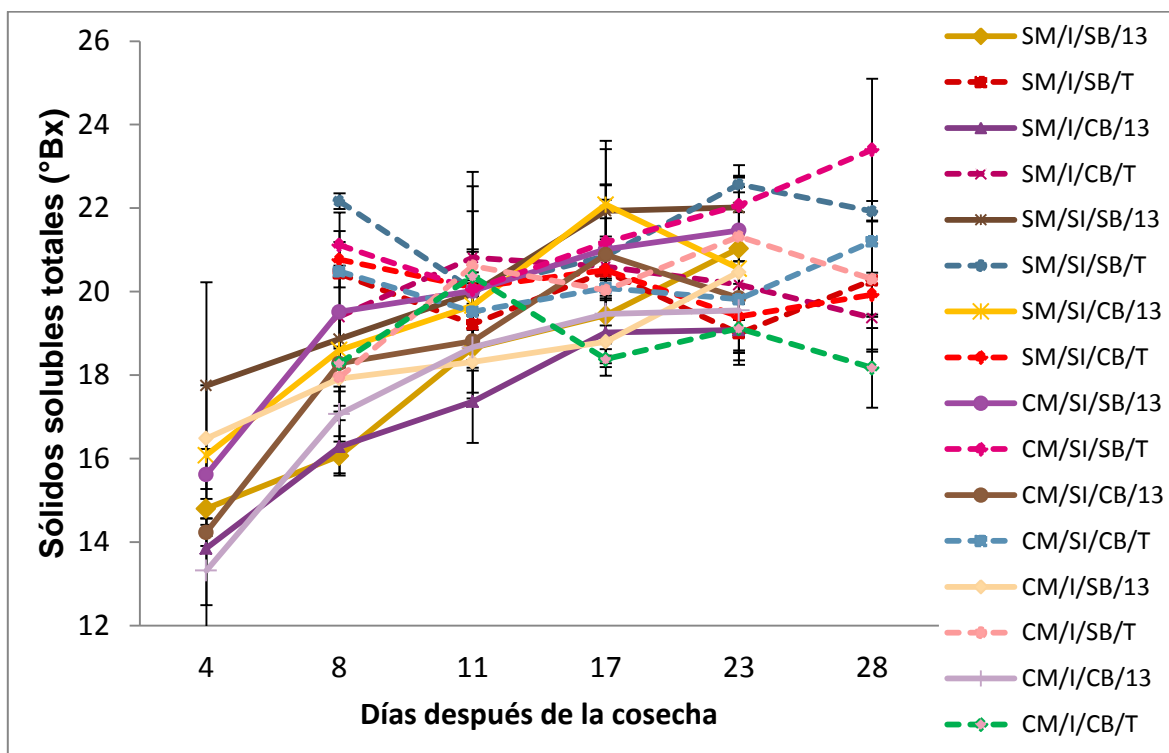


Figura 39. Sólidos solubles totales (°Bx) en mangos ‘Manila’, almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

De acuerdo al criterio de análisis para los tiempos de comercialización de 17 y 23 días; se realizó el análisis de varianza para esos días. Nuevamente fueron significativos los efectos simples de la irradiación y el empaque en bolsas microperforadas y la interacción múltiple de todos los factores; observándose que los tratamientos sin irradiación mostraron mayores valores (21.0 °Bx) y los irradiados registraron valores de 19.7 °Bx. De igual forma, los frutos que no fueron empacados en bolsas microperforadas registraron más altos valores de SST (21.4 °Bx), en tanto que los empacados en esas bolsas registraron 19.9 °Bx. El Cuadro 19 muestra los resultados de la comparación de medias para todas la interacciones entre todos los tratamientos para esos dos muestreos donde se

observa que efectivamente los tratamientos que no fueron irradiados y que no fueron empacados en bolsas microperforadas mostraron el rango de valores más alto (21.6 a 22 °Bx) mientras que los que fueron irradiados y fueron empacados en bolsas microperforadas mostraron un intervalo estadísticamente menor (18.7 a 19.6 °Bx), aunque en realidad hubo un traslape de tratamientos difíciles de asignar al efecto de los tratamientos estudiados.

Cuadro 19. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para SST a los 17 y 23 días después del almacenamiento

Tratamiento	SST (°Bx)
<b>SM,SI,SB,13</b>	21.97 a
<b>SM,SI,SB,T</b>	21.70 ab
<b>CM,SI,SB,T</b>	21.62 ab
<b>SM,SI,CB,13</b>	21.31 abc
<b>CM,SI,SB,13</b>	21.24 abc
<b>CM,CI,SB,T</b>	20.67 abcd
<b>SM,CI,CB,T</b>	20.38 abcd
<b>CM,SI,CB,13</b>	20.36 abcd
<b>SM,CI,SB,13</b>	20.23 abcd
<b>SM,SI,CB,T</b>	19.95 abcd
<b>CM,SI,CB,T</b>	19.95 abcd
<b>SM,CI,SB,T</b>	19.74 bcd
<b>CM,CI,SB,13</b>	19.63 bcd
<b>CM,CI,CB,13</b>	19.50 cd
<b>SM,CI,CB,13</b>	19.05 d
<b>CM,CI,CB,T</b>	18.75 d

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Guerrero (2010), y Mercado-Silva (2010), reportaron el mismo comportamiento en mangos ‘Manila’ irradiados con 1 kGy y almacenados a 10 °C, donde tendieron a mostrar menores valores de SST que los tratamientos a menores dosis de irradiación. Así mismo, mencionaron que los rangos de dosis de

0.96 a 1.33 kGy alteraron los procesos de maduración evitando que el fruto alcanzara mayores contenidos de sólidos solubles.

El empacado en bolsas microperforadas tuvo un efecto significativo en la concentración de SST de los frutos empacados, mostrando menores valores de °Bx, por lo que esto está asociado a un retraso en el proceso de maduración, tal como lo reportó Keawpet y Kanlayanarat (2002), quienes observaron un contenido de 13 °Bx y 10 °Bx, para frutos de mango 'Nam Dok Mai' que se almacenaron sin y con bolsa microperforada a 13 °C. De manera contraria, Ramin y Khoshbakhat (2008), reportaron que no encontraron diferencias significativas en el contenido de SST en el jugo de limas de la variedad "Kay", almacenadas o no en bolsas microperforadas, sin embargo se presentan mayores valores de SST en los frutos almacenados con la bolsa microperforada.

Chiabrando y Giacalone (2008), reportaron que el tipo de bolsa microperforada tuvo un efecto diferente en el contenido de SST en arándanos, donde la diferencias entre los empaques fue la cantidad de microperforaciones y el material del que estaban hechos, donde las bolsa de polietileno, del mismo material que las usadas en el presente estudio, no mostraron diferencias significativas con los frutos control.

León *et al.* (1997), reportaron que la concentración de SST (expresados como °Bx) de mangos almacenados con atmósferas controladas (30 y 50 % de CO<sub>2</sub>) no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos de frutos almacenados a 12 °C. Así mismo, cuando los frutos fueron transferidos de 12 °C a 25 °C, los frutos a ambas temperaturas de almacenamiento, alcanzaron el mismo valor de SST, 20 °Bx.

Hidalgo *et al.* (1997), reportaron que los SST incrementaron en frutos de mango 'Manila' almacenados a 12 °C, 16 °C y 25 °C, durante el tiempo de almacenamiento, pero no a 6 °C. Sin embargo, al final de tiempo de

almacenamiento, todos los tratamientos mostraron valores similares de SST, 24 °Bx, después de ser transferidos a 25 °C, lo cual concuerda con lo observado en el presente trabajo.

Gutiérrez *et al.* (1997), reportaron que en frutos de mango 'Manila' sometidos a tratamiento hidrotérmico (46 °C por 75 min) y posteriormente almacenados a 6 °C y 12 °C, mostraron un incremento de los SST en ambas condiciones de almacenamiento, con lo cual ellos concluyen que incluso a bajas temperaturas de refrigeración, el almidón es hidrolizado a azúcares simples, sin embargo, el valor máximo de SST fue de sólo 15 °Bx, lo cual indica que no hubo una completa madurez de los frutos por las bajas temperaturas de almacenamiento.

#### **VI.3.4.2 Acidez titulable**

Para frutos climatéricos, la acidez titulable decrece gradualmente conforme madura el fruto, reducción que juega un papel importante en el balance acidez/azúcar y por lo tanto, influye en el sabor y aroma de los frutos (Hulme, 1971 reportado por Guerrero, 2010). De acuerdo a Medicott *et al.* (1986), los cambios en el metabolismo del ácido cítrico en frutos inmaduros son la causa del decremento de la acidez.

De acuerdo al Cuadro 12, los factores que influyeron significativamente en la acidez total fue la temperatura mostrando valores más altos aquellos frutos que fueron almacenados a 13 °C (0.63 % ác. cítrico), respecto de los que se almacenaron a 20 °C y después se transfirieron a 13 °C (0.39 % ác. cítrico); lo cual es lógico, ya que las bajas temperaturas retrasan el proceso de maduración.

En la Figura 40, se observa el comportamiento a través del tiempo de la acidez titulable (AT) de frutos de mango 'Manila' almacenados a 13 °C y sus transferencias de 13 °C a 20 °C. Hubo una disminución de esta variable respuesta

en todos los tratamientos. La AT al inicio del experimento estaba en un rango entre 1.8 y 1.4 % de ácido cítrico, para finalmente llegar a una concentración de 0.2 a 0.3 % de ácido cítrico a los 28 días después de la cosecha. Este mismo efecto fue reportado por Díaz-Sobac *et al.* (1996). De acuerdo a lo reportado por Siller-Cepeda *et al.* (2001), el mango ‘Edward’ es de alta acidez, debido a que presentó una acidez del 2.2 % al momento de la cosecha, mientras que variedades como ‘Haden’, ‘Manila Rosa’, ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’ y ‘Keit’, presentaron valores de 0.8 %, 1.1 %, 0.3 %, 0.5 % y 0.5 %, respectivamente. En este sentido, los frutos utilizados en este experimento presentaron una acidez alrededor del 1.8 % a los 4 días de la cosecha, por lo tanto, podemos decir que al compararlo con otras variedades, se puede considerar al mango ‘Manila’ de alta acidez.

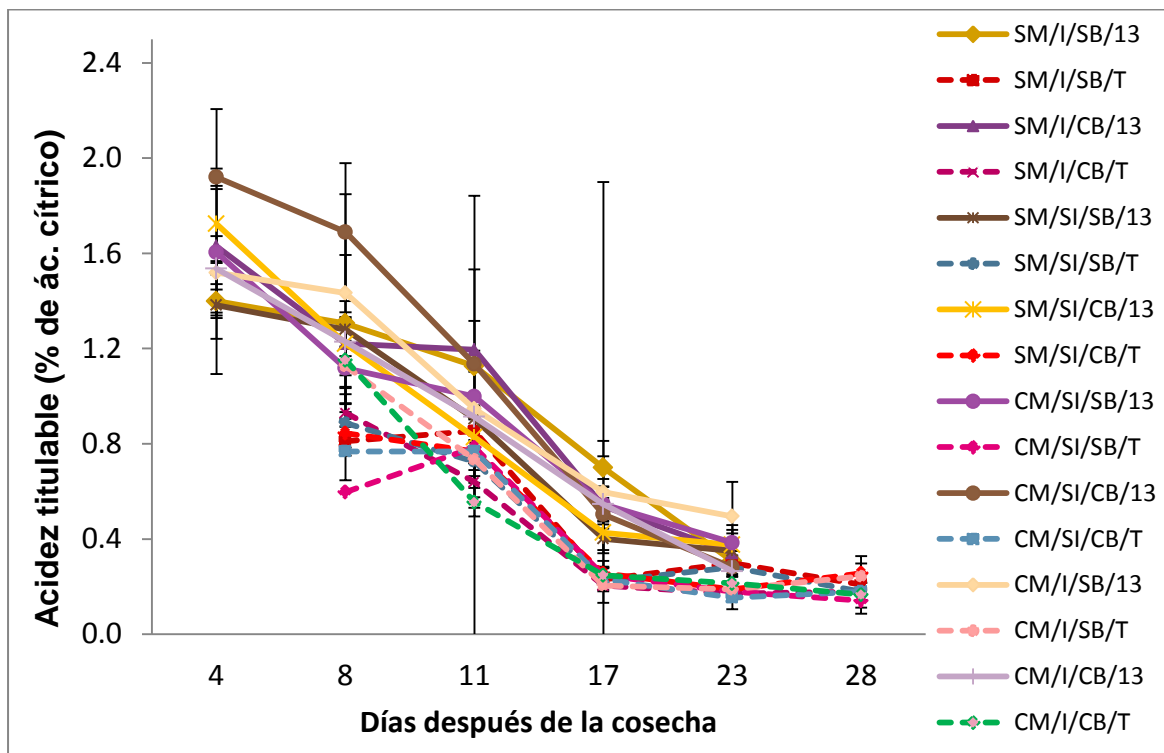


Figura 40. Porcentaje de acidez titulable en mangos ‘Manila’, almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

En la misma Figura 40 se observa que los frutos almacenados a mayores temperaturas (transferencias) mostraron menores valores de acidez y que aquellos frutos que fueron almacenados a 13 °C mostraron los valores más altos, lo cual nos indica que existe un retraso en el proceso de maduración asociado a la temperatura de almacenamiento. Este mismo efecto fue reportado por Hidalgo *et al.* (1997), Gutiérrez *et al.* (1997), Díaz-Sobac *et al.* (1996), todos ellos trabajando con mango de la variedad 'Manila'.

La comparación de medias de todos los tratamientos para esas dos fechas de muestreo se muestra en el Cuadro 20. Nuevamente el factor temperatura y la bolsa de empaque fueron los factores más significativos que influyeron en este parámetro; a 13 °C se registró la media general más alta de acidez (0.44 %), mientras que en las muestras transferidas de 13 a 20 °C fueron las que registraron la media general más baja (0.22 %). La comparación general de medias de las interacciones reconfirmó que todos los tratamientos que estuvieron almacenados a 13 °C mostraron los valores más altos (0.38 a 0.55 %) y todos aquellos de transferencias registraron los intervalos más bajos (0.18 a 0.27 %).

Por tanto, el factor temperatura fue estadísticamente más significativo en el porcentaje de acidez titulable, aunque se puede percibir que los factores 1-MCP, irradiación y empaque no tuvieron una influencia tan significativa como la tuvo la temperatura. El mismo efecto fue reportado por Guerrero (2010), y Súmano (2009), en donde encontraron que la acidez de frutos de mango 'Manila' y 'Tommy Atkins' disminuyó paulatinamente en los frutos almacenados a menores temperaturas y disminuyó más drásticamente a mayores temperaturas de almacenamiento. Así mismo, León *et al.* (1997), observaron una rápida pérdida de acidez de 2.4 a 0.6 %, en frutos de mango 'Manila' almacenados con atmósferas modificadas, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos (30 y 50 % de CO<sub>2</sub>) y aunado a esto, cuando los frutos fueron transferidos de 12 °C a 25 °C, los frutos a ambas temperaturas de almacenamiento, alcanzaron los mismo



valores de acidez titulable. Hidalgo *et al.* (1997), indicaron que frutos de mango 'Manila' almacenados a 6 °C y 12 °C mantienen los niveles originales de acidez titulable, mientras que los frutos almacenados a 16 °C y 25 °C el valor de acidez titulable disminuyó y por lo tanto el pH aumentó. De acuerdo a Medlicott *et al.* (1986), en frutos de mango 'Tommy Atkins' se reduce la pérdida de ácido cítrico y hay una mayor retención de ácido ascórbico durante el almacenamiento a 12 °C.

Cuadro 20. Comparación de medias por Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para la acidez titulable a los 17 y 23 días después del almacenamiento.

Tratamiento	AT (% ác. cítrico)
<b>CM,CI,SB,13</b>	0.5458 a
<b>SM,CI,SB,13</b>	0.5042 ab
<b>CM,SI,SB,13</b>	0.4650 ab
<b>SM,CI,CB,13</b>	0.4383 ab
<b>CM,CI,CB,13</b>	0.4075 abc
<b>SM,SI,CB,13</b>	0.4017 abc
<b>CM,SI,CB,13</b>	0.3942 abcd
<b>SM,SI,SB,13</b>	0.3767 bcde
<b>SM,CI,SB,T</b>	0.2658 cdef
<b>SM,SI,SB,T</b>	0.2533 cdef
<b>CM,CI,CB,T</b>	0.2292 def
<b>SM,SI,CB,T</b>	0.2217 ef
<b>CM,SI,SB,T</b>	0.2108 ef
<b>CM,CI,SB,T</b>	0.1933 f
<b>CM,SI,CB,T</b>	0.1908 f
<b>SM,CI,CB,T</b>	0.1842 f

**CM/SM:** con y sin 1-MCP, **CI/SI:** con y sin irradiación, **CB/SB:** con y sin bolsa, **13/T:** almacenados a 13 °C/ transferencias de 13 °C a 20 °C. Las medias son valores de tres mangos y dos réplicas para cada tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

#### VI.3.4.3 Cambios en el contenido de pectina en la piel

La progresiva pérdida de firmeza en los frutos de mango es consecuencia de la maduración normal y se debe a los cambios en la pared celular y en los polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa a través de la

actividad enzimática así como la progresiva solubilidad y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular (Lira *et al.*, 2008; Ketsa *et al.*, 1999).

En esta sección se decidió analizar los tratamientos control o aquellos frutos que no fueron tratados con 1-MCP, no se irradiaron y no se empacaron con bolsas microperforadas (almacenados a las dos condiciones de temperatura) contra aquellos frutos a los que se aplicó 1-MCP, se irradiaron, se empacaron en bolsa microperforada (también almacenados a las dos condiciones de temperatura) en todas ellas se determinó el contenido total de pectinas en la piel de los frutos

En la Figura 41 se muestra los cambios del contenido de pectina en la piel de frutos de mango 'Manila' durante el almacenamiento. Con la excepción del tratamiento con 1-MCP, irradiado, empacado en bolsa y almacenado a 13 °C, todos los demás tratamientos disminuyeron su contenido de pectinas conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento; mientras que en el tratamiento anteriormente señalado se observó un incremento en las fechas intermedias de almacenamiento. Los datos encontrados no permitieron determinar un cambio asociado a los tratamientos aplicados, aunque el tratamiento (CM/I/CB/13) que incremento su contenido de pectinas mostró el menor índice de marchitez y la menor pérdida de peso, pero de manera no lógica este mismo tratamiento transferido a 20 °C disminuyo su contenido de pectinas de la misma forma que los controles y su índice de marchitez fue bajo al igual que su pérdida de peso. Por ello el contenido de pectina no ayudó a explicar los cambios en la marchitez, firmeza o pérdida de peso.

Lira *et al.* (2008), al analizar diferentes pulpas de diferentes variedades de mango indicaron que la variedad 'Ataulfo' presentó el mayor contenido de pectina (expresada como pectato de calcio) (0.98 a 1.13 g/100 g de pulpa), y que la variedad 'Haden' mostró cambios muy pequeños durante el almacenamiento (0.65 a 0.45 g/100 g de pulpa), así mismo la variedad que presentó la menor concentración de pectina fue la variedad 'Manila', debido a que la máxima

concentración de pectina al inicio del experimento fue 0.45g/100g en pulpa y conforme avanzó el almacenamiento, la cantidad de pectina disminuyó hasta alcanzar un valor de 0.10 g/100 g, sin embargo la concentración de pectina que se encontró en los frutos en estudio fue mucho mayor, debido a que se tuvieron concentraciones alrededor de los 4 g/100 g y el mínimo fue de 1.4 g/100 g, además que la cuantificación en el presente estudio se llevó a cabo en piel. Estos datos parecen confirmar que el mango 'Manila' tiene una alta actividad en la pared celular y que los tratamientos aplicados no fueron capaces de alterar el proceso.

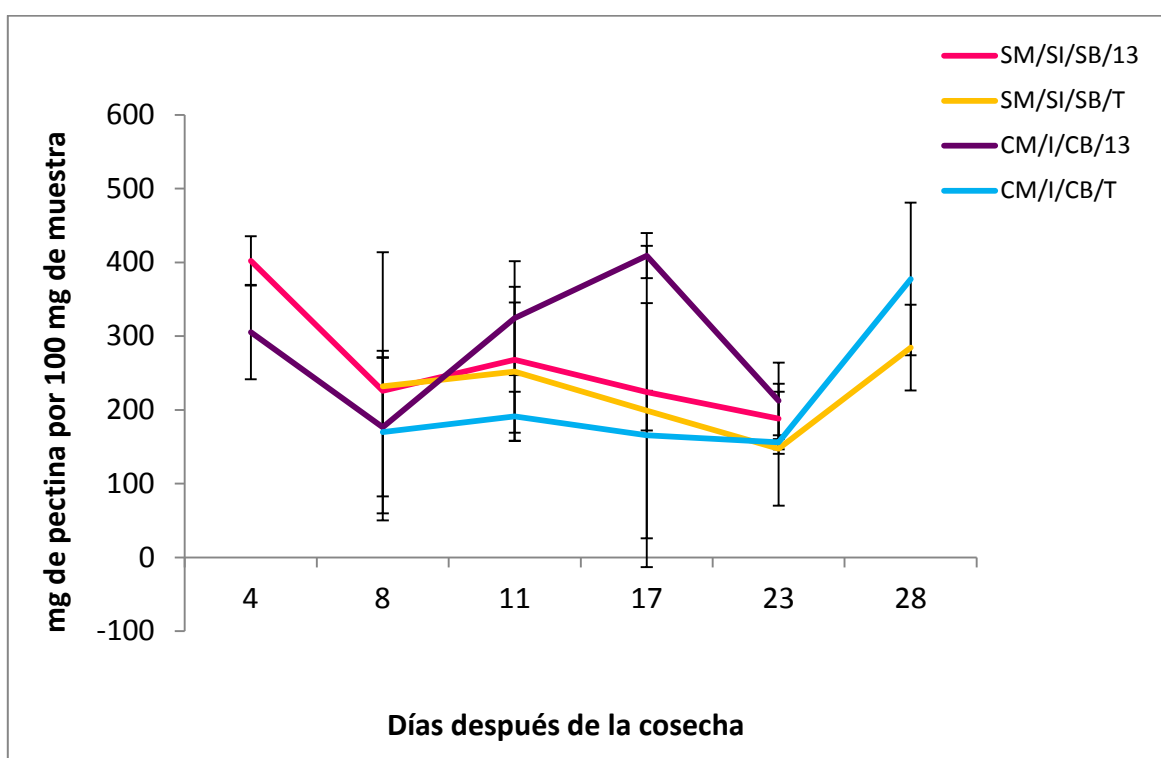


Figura 41. Cambios en el contenido de pectina en la piel de frutos de mango 'Manila' sometidos a diferentes tratamientos (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13° a 20°C/ 13°C).

Existe la posibilidad que frutos con estados de madurez menores pudieran responder de mejor manera a los tratamientos aplicados.

Bongwoo y Bruemmer (1981), reportaron que el mango de la variedad 'Keitt' mostró decrementos en la concentración de pectina soluble en agua y álcali, mientras que en pectina soluble en oxalato de amonio mostró un incremento conforme avanzó la maduración de frutos y por ende su ablandamiento. Así mismo, reportaron un decremento más lento en mangos almacenados a menores temperaturas, que se correlacionó con la menor pérdida de firmeza de los frutos. De manera contraria, Ketsa *et al.* (1999), reportaron que en mango cv. 'Nam Dok Mai' se incrementó el contenido de pectina soluble en agua conforme avanzó el proceso de maduración, mientras que la pectina soluble en álcali y oxalato de amonio, disminuyeron durante el almacenamiento a 25 °C por 8 días. Estos datos indican que puede haber una reestructuración molecular de la pectina en la pared celular durante la maduración y que dicha reestructuración puede ser diferente en diferentes variedades de mango. Por ello es necesario realizar más estudios a este respecto para identificar posibles mecanismos de degradación de la pectina en esta variedad de mango

#### **VI.3.4. Cambios en las actividades enzimáticas de PE y PG en el mango**

El proceso de maduración del mango está caracterizado por el ablandamiento del tejido. Este ablandamiento está acompañado de la solubilización de las sustancias pécticas por acción enzimática como la pectinesterasa (PE) y poligalacturonasa (PG) (Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992; Ketsa *et al.*, 1999).

##### **VI.3.4.1 Actividad de pectinesterasa (PE)**

La pectinesterasa es la primera enzima que actúa sobre la pectina, el mayor componente de la pared celular de la planta. Ésta cataliza la demetilesterificación del ácido galacturónico, generando grupos carboxilos libres, metanol y protones. Esta enzima se encuentra presente en todas las plantas superiores, así como en hongos fitopatógenos y bacterias. Se ha postulado que la actividad de la PE es

regulada por la concentración de  $H^+$  de manera cíclica durante el crecimiento de la célula. La actividad óptima de la enzima ocurre cuando el pH es cercano a la neutralidad y se reduce por la disminución local del pH generados a consecuencia de la reacción, en tanto el decremento del pH inactiva a las glicosidasas y glicosiltransferasas, involucradas en la extensión y síntesis de la pared celular. En consecuencia, se diluyen las cargas negativas y el pH local aumenta resultando en la reactivación de la PE, comenzando un nuevo ciclo (Giovane *et al.*, 2003).

En la Figura 42, se observan los cambios en la actividad de esta enzima en la piel de frutos de mango 'Manila' durante el almacenamiento. Al igual que el contenido de pectinas totales. La determinación de la actividad de esta enzima se realizó en las muestras correspondientes al control a ambas temperaturas y al tratamiento que recibió todas las condiciones, esto es, el que se almaceno con bolsa microperforada, con 1-MCP e irradiado en ambas temperaturas.

La variabilidad de datos fue muy amplia, lo cual no permitió observar tendencias claras en cada uno de los tratamientos. Parece haber un incremento de actividad en el día 8 y una posterior disminución sin encontrarse un patrón relativo para cada uno de los tratamientos estudiados.

Se ha reportado que la actividad de la pectinesterasa disminuye conforma avanza la maduración del fruto (Ketsa *et al.*, 1999; Lira *et al.*, 2008), sin embargo, esta tendencia únicamente se puede observar en los tratamientos CM/CI/CB/T y CM/CI/CB/13, mientras que en los tratamientos controles no se mostró una tendencia regular en la actividad de esta enzima. Ashraf *et al.* (1981), y Aina y Olandojoye (1993), reportaron la misma tendencia irregular de la actividad en frutos de 4 variedades diferentes de mangos pakistaníes y mangos africanos, respectivamente.

Díaz-Sobac *et al.* (1997), reportaron que la actividad de PME en frutos controles decreció en una proporción de 6 veces durante los primeros 8 días de almacenamiento y posteriormente permaneció casi sin cambios, mientras que en

frutos cubiertos con una película comestible a base de carbohidratos el decremento se redujo a la mitad, para posteriormente incrementar al doble su actividad durante los siguientes 8 días. Así mismo, mencionan que el decremento en la actividad de PME no estuvo necesariamente asociado al grado de maduración de los frutos de mango, lo cual explicaría los datos obtenidos en el presente estudio.

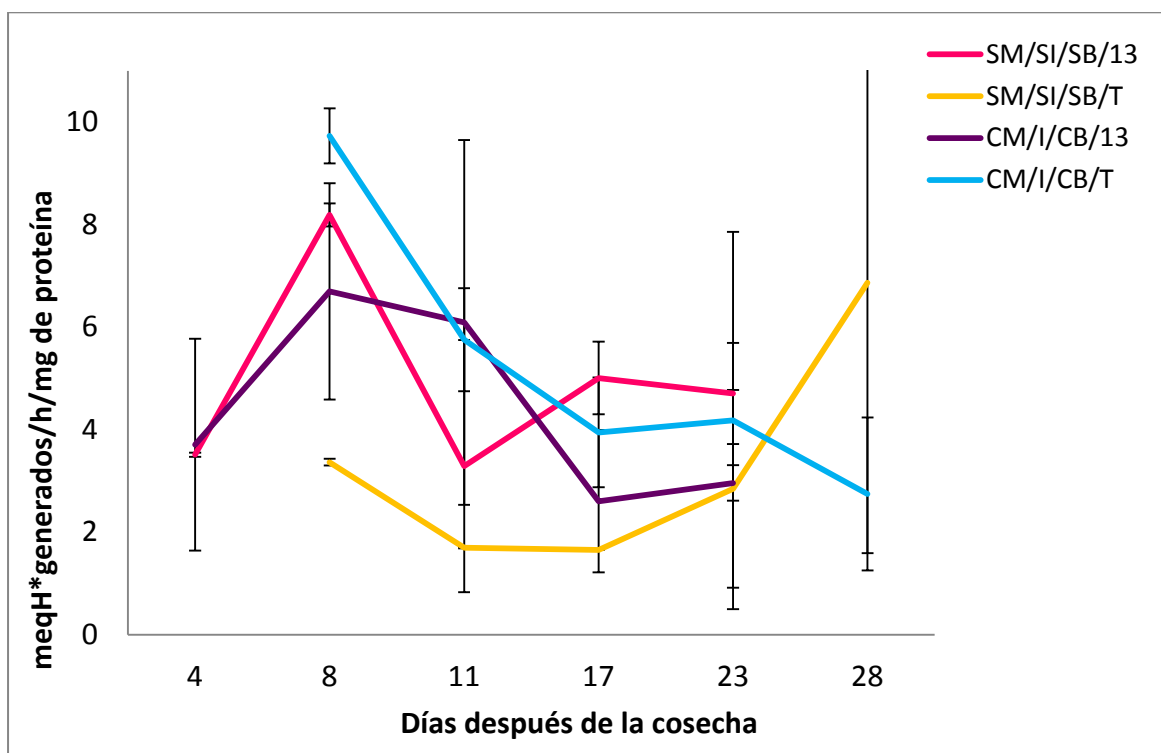


Figura 42. Cambios en la actividad enzimática de PME en piel de frutos de mango 'Manila' (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13° a 20°C/ 13°C).

De manera contraria, Lira *et al.* (2008), reportaron que la actividad de PME en la pulpa de distintas variedades de mango descendió conforme incrementó el tiempo de almacenamiento o de maduración, con valores desde 3 U/mg de proteína \*h hasta 0.5 /mg de proteína \*h en pulpa y de 0.1 a 0.5 U/mg de proteína \*h, así mismo mencionaron que la actividad en piel descendió 10 veces más con respecto al tejido de pulpa. Estos mismos autores señalaron que la variedad 'Manila' perdió drásticamente su contenido de pectinas conforme avanzó la

maduración, mientras que la actividad de pectinesterasa en la piel fue alta, así mismo, esta mostró una alta correlación con la pérdida de firmeza del fruto señalando una participación de esta enzima en el proceso de ablandamiento del fruto. No obstante, los resultados del presente estudio no describen plenamente este proceso.

#### **VI.3.4.2 Actividad de poligalacturonasa (PG)**

Las poligalacturonasas son un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de las uniones  $\alpha$ -1,4 entre residuos de ácido galacturónico de la molécula de pectina. Una vez que actúa sobre la PME, resulta pectina de bajo metoxilo o pectato, que posteriormente es sustrato para la PG (Aina y Oladunjoye, 1993). Se ha reportado que la reducción de la firmeza se asocia con un incremento en la actividad de las enzimas pectinolíticas, entre ellas la poligalacturonasa, donde la despolimerización de las pectinas ha sido ampliamente relacionada con la actividad de dicha enzima (Muy-Rangel *et al.*, 2009).

La Figura 43 muestra los cambios de la actividad de la enzima poligalacturonasa a través del tiempo en la piel de frutos de mango 'Manila' durante el tiempo de almacenamiento.

Los tratamientos control parecieron tener menores cambios y una menor actividad que los tratamientos con las aplicaciones de 1-MCP, irradiación y empaque en bolsa microperforada, los cuales presentaron altas actividades a los 17 y 28 días a 13 °C y la transferencia de 13 a 20 °C, respectivamente, sin encontrarse una correlación con los cambios en la firmeza de los frutos.

Muy-Rangel *et al.* (2009), reportaron que al aplicar 1-MCP a frutos de mango 'Ataulfo', redujeron la pérdida de firmeza, así como la actividad de la enzima poligalacturonasa, con respecto al tratamiento control. Ketsa *et al.* (1999), reportaron que la actividad de la poligalacturonasa incrementa conforme avanza la

maduración del fruto. De acuerdo con estos resultados, en el presente experimento, podemos observar que el comportamiento típico de esta enzima únicamente se presentó en el tratamiento CM/I/CB/T (línea azul), mientras que el tratamiento SM/SI/SB/T permanece prácticamente sin cambio. Así mismo, se puede observar que todos los tratamientos tuvieron valores muy similares en el día 23.

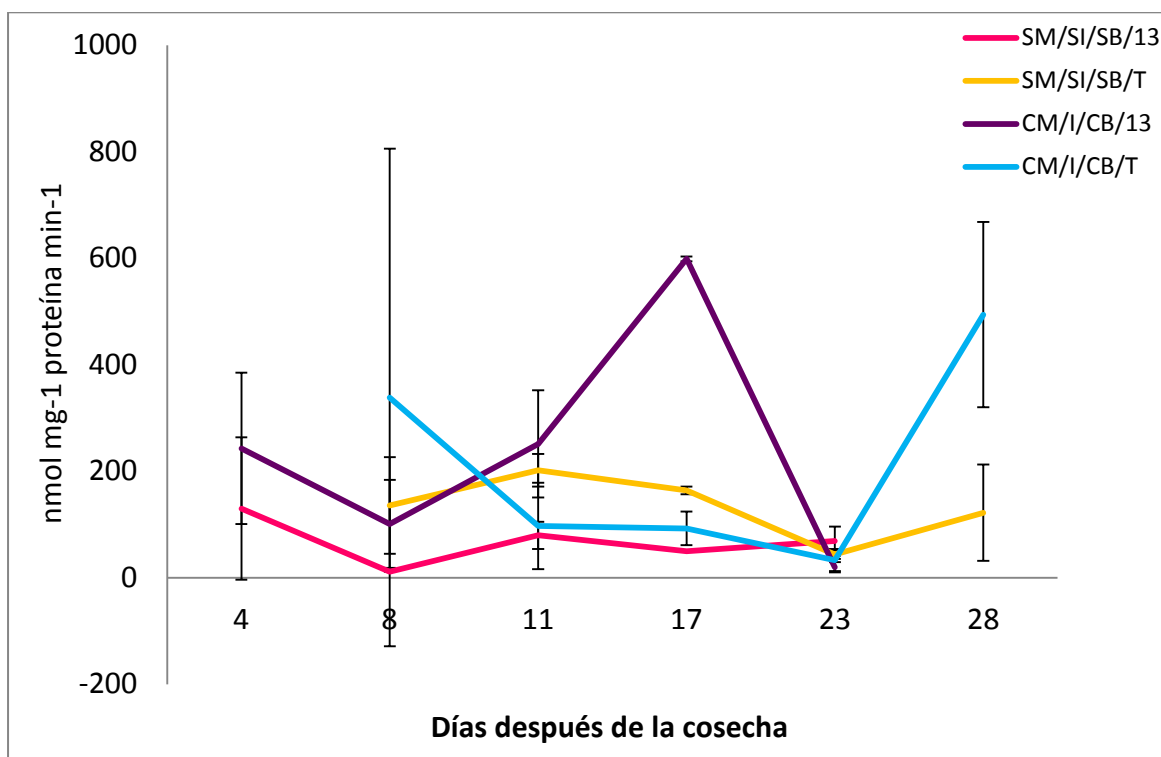


Figura 43. Cambios en la actividad enzimática de PG en piel de frutos de mango 'Manila' (**SM/CM**: sin/con 1-MCP; **SI/I**: sin/con irradiación; **SB/CB**: sin/con bolsa microperforada; **T/13**: almacenados con transferencias de 13° a 20°C/ 13°C).

No se observó una clara relación entre la firmeza de los frutos y la actividad enzimática de PG. Díaz-Sobac *et al.* (1997), al estudiar el efecto de la aplicación de una película comestible indicaron una correlación lineal de la actividad de la PG y una menor firmeza de los frutos control, mientras que en los frutos tratados con la película la correlación fue baja. Esto sugiere que dicha actividad tiene un efecto directo sobre el ablandamiento de los tejidos de frutos control, pero no en frutos con el recubrimiento. También Bongwoo y Bruemmer



(1981), reportaron que la actividad de la poligalacturonasa en mango de la variedad 'Keitt' incrementó rápidamente durante el proceso de maduración que se correlacionó de manera directa con la pérdida de firmeza.

Aunque se ha reportado que la PG juega un papel importante en la depolimerización de la pectina, se ha reportado también, que estas enzimas no son determinantes en el ablandamiento, sino que éste se debe a los cambios de las pectinas por la acción de la  $\beta$ -galactosidasa y exo-galactanasas (Muy-Rangel *et al.*, 2009). Además, se ha reportado que durante la maduración ocurre una pérdida de azúcares de la pared celular (Muy-Rangel *et al.*, 2009). Debido a esto, es probable que para observar el fenómeno de ablandamiento de los frutos se tenga que cuantificar la actividad de otras enzimas que se relacionen con este proceso, específicamente,  $\beta$ -galactosidasa y exo-galactanasas.

## VII. CONCLUSIONES

La concentración óptima de 1-MCP para retardar la maduración, fue de 0.3 ppm aplicados durante 5 horas; concentraciones iguales o mayores de 0.5 ppm condujo a la necrosis del tejido.

De acuerdo a las observaciones visuales, los frutos de mango 'Manila' irradiados (0.4 a 0.55 kGy), tratados con 0.3 ppm de 1-MCP durante 5 horas y empacados en bolsas microperforadas pueden ser almacenados a 13 °C durante 17 días y ser comercializados sin síntomas de marchitez durante 5 días adicionales a 20 °C.

El empaque de los frutos en bolsas microperforadas redujo hasta en un 5 % la pérdida de peso de los frutos después de almacenarlos durante 17 días a 13 °C y 5 días adicionales a 20 °C. Esto indica que el problema de marchitez de los frutos puede ser resuelto a través del empaque de los frutos con este tipo de bolsas.

La pérdida de firmeza de los frutos no se disminuyó con ninguno de los tratamientos aplicados; por lo que este aspecto sigue siendo un problema en el manejo de este fruto.

Dado que el contenido de sólidos solubles totales iniciales de todas las muestras fue elevado, lo cual indicó que el proceso de maduración se encontraba ya en proceso, es necesario estudiar el efecto de estos tratamientos con frutos en estados de madurez menores.

Las actividades de PE y PG en la epidermis de los frutos no explicaron los cambios en firmeza de los mismos.

La aplicación de irradiación y la baja temperatura retrasaron el cambio de color de los frutos. Ni la aplicación de 1-MCP a 0.3 ppm ni el empaçado en bolsas microperforadas alteraron los patrones de cambio de color de los frutos.

Por lo anterior, es necesario estudiar la aplicación de otras técnicas para mejorar la resistencia mecánica de esta variedad.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Abu-Sarra, A. F. and Abu-Goukh, A. A. 1992.** Changes in pectinesterase, polygalacturonase and cellulase activity during mango fruit ripening. *Journal of Horticultural Science*. 67(4):561-568.
- Aina, J. O. and Oladunjoye, O. O. 1993.** Respiration, pectolytic activity and textural changes in ripening African mango (*Irvingia gabonensis*) fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 63(4):451–454.
- Angón-Galván P., Santos-Sánchez, N. F. y Hernández-Carlos, G. 2006.** Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 10(30):3-8.
- Ashraf, M., Khan, N., Ahmad, M. and Elahi, M. 1981.** Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some Pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 29(3):526-528.
- ATN/MT 7957-RG. 2005.** Apoyo al comercio agropecuario mediante la aplicación regional armonizada de medidas sanitarias y fitosanitarias. Manual de procedimientos para la aplicación de los tratamientos cuarentenarios. Consultado septiembre 2011 en : <http://ns1.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/MANUALDEPROCEDIMIENTOSPARALAAPLICACIONDELOSTRATAMIENTOSCUARENTENARIOS.pdf>.
- Allende-Molar, R., García, R.S. y Carrillo, A. 2002.** Enfermedades Poscosecha en Mangos Cultivados en Sinaloa. Departamento de Protección y Nutrición Vegetal, CIAD-Unidad Culiacán. Consultad Junio 2011 en: <http://www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf>.
- AOAC. 1998.** Official methods of analysis. 16<sup>th</sup> Ed. William S., Ed. Publisher by Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C. C. Drom.
- Báez, S. M., J. Siller, D. Muy, E. Araiza, L. Contreras y A. Sañudo. 2001.** Smartfresh<sup>TM</sup>: Una novedosa tecnología para extender vida de anaquel en tomate. *Tecnología de Alimentos*. 36(3):7-11. Consultado Junio 2011 en: <http://www.ciad.mx/boletin/enefeb02/Investigacion1.PDF>.
- Bally, I. S. E. 2006.** *Mangifera indica* (mango), ver. 3.1. In: Elevitch, C.R. (ed.). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Hōlualoa, Hawai. Consultado en Junio 2011: <http://www.traditionaltree.org>.
- Barbosa, M. C. 2003.** Desarrollo de frutos de mango *Mangifera indica* L. Var. “Haden” y prevención de antracnosis. Tesis de Maestro en Ciencias

Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.

- Barbosa-Martínez C.**, Ponce de León-García L. and Pelayo-Saldivar C. **2009**. Morpho-histology of 'Manila' and 'Haden' Fruit development. A comparative study with postharvest implications. *Acta Horticulturae* 820. 281-288.
- Ben-Yehoshua**, S., Fishman, S., Fang, D. and Rodov, V. **1994**. New development in modified atmosphere packaging and surface coatings for fruits, ICIAR proceedings-aphnet.org.
- Beristain**, C. I., Ramos, A. L., De la Cruz, J. and García, H. S. **1999**. Thermal phase transition in polar lipids of mango pericarp (*Mangifera indica* cv. Manila) subjected to chilling injury. 1999. IFT Annual Meeting Book of Abstracts. Chicago, Ill. USA. p. 54.
- Blankenship**, S. M. **2001**. Ethylene effects and the benefits of 1-MCP. *Perishables Handling Quarterly*. 108:2-4.
- Blankenship**, S. M. and Dole, J. M. **2003**. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*. 28:1-25.
- Boag**, T. S., Johnson, G. I., Izard, M., Murray, C., and Fitzsimmons, K. C. **1990**. Physiological responses of mangoes cv. Kensington Pride to gamma irradiation treatment as affected by fruit maturity and ripeness. *Annals of Applied Biology*. 116:177-187.
- Bongwoo**, R. and Bruemmer, J. H. **1981**. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of "Keitt" mangos. *Journal of Food Science*. 46(1):186-189.
- Boscán** M. N. **1995**. Métodos cuarentenarios de control de las moscas de las frutas. *Revista de difusión de tecnología agrícola y pesquera del FONAIAP*. Número 50. Consultado julio 2011 en: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd50/metodos.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd50/metodos.htm).
- Bourtoom**, T. **2008**. Review Article: Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. 15(3): 237-248.
- Bradford**, M. M. **1976**. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.
- Brencht**, J. K., Sargent, S. A., Kader, A. A., Mitcham, E. J., Maul, F., Brench, P. E., Menocal, O. **2011**. Manual de prácticas para el mejor manejo

postcosecha del mango. Traducido por Octavio A. Menocal. National Mango Board. Consultado agosto 2011 en: <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1190>.

**Cáceres**, I. Mulkay, T., Rodríguez, J. and Paumier, A. Conservación de productos hortofrutícolas. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Consultado junio 2011 en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf>

**Cáceres**, I., Mulkay, T., Rodríguez, R., Paumier, A., Sisino, A., Castro-López, T., Alonso, O., Bango, G., y Gutiérrez, P. **2003**. Influencia del encerado y tratamiento térmico en la calidad poscosecha del mango. Sociedad Agronómica de Chile. 73(1-2):25- 29.

**Carabalí**, M. I. L., Narváez, C. C. E. y Restrepo, S. I. P. 2009. Extracción y medida de actividad de pectin metil estearasa en pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*), enzima relacionada con el ablandamiento. Acta Biológica Colombiana. 14(2):73-82.

**Castro**, I. C., Castellanos, E., Gil, E., Almanza, O., Barreto, G. y Díaz, J. M. **2009**. Elaboración de dosímetros de alanina y sus posibles aplicaciones en riesgos profesionales. Universitas Scientiarum.14(1):86-91.

**CESVY**. Comité estatal de Sanidad Vegetal del estado de Yucatán. **2009**. Consultado febrero 2012 en: [http://www.cesvy.org.mx/campanas/moscas\\_nativas.html](http://www.cesvy.org.mx/campanas/moscas_nativas.html).

**Chantler Packaging**. **2006**. Consulta julio 2011 en: <http://chantlerpackaging.com/site/>.

**Chiabrando**, V. y Giacalone, G. **2008**. Studies on shelf life of 'Lateblue' highbush blueberries. Food Science and Technology International. 14(3):199-205.

**CIDRAP**. **2011**. Food Irradiation. Consultado julio 2011 en: <http://www.cidrap.umn.edu/cidrap/content/fs/irradiation/biofacts/irrad-bkgd.html>

**COVECA**. **2011**. Monografía del Mango. Gobierno del estado de Veracruz. Consultado junio 2011 en: [http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMA\\_GENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAFIA%20MANGO2011.PDF](http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMA_GENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAFIA%20MANGO2011.PDF)

**Corkidi**, B. G., Rojas, D. A., Balderas, R. K. A., Sangabriel, M. J. C. y Serrano, C. L. **2010**. Una nueva herramienta para la caracterización precisa y cuantitativa de la antracnosis del mango, de utilidad para fitopatólogos, productores y exportadores. Claridades Agropecuarias. 198: 39-47.

- Da Costa Raposo, P. T., Finardi-Filho, F. 2005.** Extraction and assay of pectic enzymes from Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.). Food Chemistry. 89:85-92.
- Díaz-Sobac, R., Vázquez, A. L., Beristain, C. I., De la Cruz and García, H. S. 1996.** Emulsion coating to extend postharvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). Journal of Food Processing and Preservation. 20: 191-202.
- Díaz-Sobac, R., Cruz, J. de la, Vázquez Luna, A., Beristain, C. I. and García, H. S. 1997.** Evaluation of softening and associated enzyme activities during the ripening of coated 'Manila' mangoes. Journal of Horticultural Science 72 (5):749–753.
- EMEX, A. C. 2012.** Empacadores de mango de exportación. Consultado agosto 2012 en: [www.mangoemex.com](http://www.mangoemex.com)
- EPA. 2011.** Radiation Protection. Food Irradiation. Consultado junio 2011 en: [http://www.epa.gov/radiation/sources/food\\_irrad.html](http://www.epa.gov/radiation/sources/food_irrad.html).
- Espinoza, Z. J. 2008.** Efecto de la aplicación de ceras superficiales y de 1-MCP en el perfil de aroma de frutos de guayaba cv. Media china. Tesis de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro, Qro, México.
- FAO. 1987.** Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas (PARTE I). Consultado septiembre 2012 en: <http://www.fao.org/docrep/x5055S/x5055S02.htm>.
- FAO. 1989.** Prevention of post-harvest food losses fruits, vegetables and root crops a training manual. Consultado septiembre 2012 en: <http://www.fao.org/docrep/T0073S/T0073S02.htm>.
- FAO/WHO. 1984.** Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Food, Codex Alimentarius. 15, Rome.
- FAOSTAT. 2012.** Food And Agriculture Organization of the United Nations. Consultado enero 2012 en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Financiera Rural. 2010.** Monografía del Mango. Consultado junio 2011 en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20mango%20\(oct%2010\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20mango%20(oct%2010).pdf).
- Franca, N. J., Kryzanowski, F.C., Pereira, Da C. N. 1998.** El test de Tetrazolio en Semillas de Soja. Embrapa EMBRAPA- CNPSo. Documentos.

Consultado septiembre 2012:  
www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/462777/1/doc117.pdf

**Galvis, J. A., Arjona, H. y Fischer, G. 2003.** Efectos de la aplicación de soluciones de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) sobre la vida de almacenamiento y la calidad del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. Agronomía Colombiana. 21 (3): 190-197.

**GIIM (Grupo Interdisciplinario del Investigación en Mango). 1998.** El mango y su manejo integrado en Michoacán. Daniel Téliz, Editor. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 55p.

**Giovane, A., Servillo, L., Balestrieri, C., Raiola, A., D'avino, R. D., Tamburrini, M., Ciardello, M. A. and Camardella, L. 2003.** Pectin methylesterase inhibitor. Biochimica et Biophysica Acta (BBA). 1696(2): 245-252.

**González, G. M. 2011.** Reconocimiento e inspección de alimentos de origen vegetal. Parámetros indicadores de calidad. Frutas y Hortalizas. Consultado septiembre 2012 en: <http://www.slideshare.net/monicaglezglez/frutas-y-hortalizas-6965719>.

**Guerrero, L. I. J. 2010.** Efecto de la irradiación gamma en la actividad antioxidante y calidad poscosecha de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. Tesis de Ingeniero Químico en Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Qro, México.

**Guillermo R. H. 2007.** Degradación de pared celular en frutillas. Análisis de sus componentes, evolución de la actividad enzimática y expresión de genes asociados. Tesis de Doctor en Biología Molecular y Biotecnología. Universidad Nacional de General San Martín. Buenos Aires, Argentina.

**Gutiérrez, B., De la Cruz, J., Parkin, K. L. and García, H. S. 1997.** Effect of refrigerated storage on Manila mangoes (*Mangifera indica* L.) after hydrothermal treatment. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Mango Symposium; Lavi, Degani, Gazit, Lahav, Pesis, Prusky, Tomer, Wysoki, Eds. Acta Horticulturae. 455:679-686.

**Hidalgo, M., De la Cruz, J., Parkin, K. L. and García, H. S. 1997.** Refrigerated storage and chilling injury development of Manila mangoes (*Mangifera indica* L.) 5th International Mango Symposium. Acta Horticulturae. 455(2):718-725.

**ININ.** Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. 2012. Consultado agosto 2012 en: <http://www.inin.gob.mx>.



- Jiang, Y., Joyce, D. C. and Macnish, A. J. 1999.** Extension on shelf life on banana fruit bay 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology*. 16:187-193.
- Kader, A. A. 2007.** Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. 3ª Ed. Atmósferas modificadas en el transporte y el almacenamiento. Universidad de California. Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. División de Agricultura y Recursos Naturales. Series de Horticultura Postcosecha No. 24. Traducción de la Publicación 3311 de ANR. Pp 157-168.
- Kader, A. A. 2008.** Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Department of Plant Sciences, University of California, Davis. [http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Mango\\_702/](http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Mango_702/).
- Kader, A. A. 2011.** Agriculture and Natural Resources, University of California. Consultado septiembre 2011 en: <http://ucanr.org/sites/postharvest/PFfruits/MangoPhotos/>
- Kava, R. D. 2003.** Irradiated Food. American Council on Science and Health. 5a Ed., Broadway. New York. Consultado agosto 2012 en: [http://www.acsh.org/doclib/20040331\\_irradiated2003.pdf](http://www.acsh.org/doclib/20040331_irradiated2003.pdf)
- Ke, D. y Kader, A.A. 1992.** External and internal factors influence fruit tolerance to low oxygen atmosphere. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117:913-918.
- Keawpet, N. and Kanlayanarat, S. 2002.** Effect of Plastic Film on Storage life of Mango cv. Namdokmai. *Postharvest Education and Research Development Project in Postharvest Technology*. Pp. 630-639.
- Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, D. J., Lurie, S. 1999.** Firmness, pectin components and cell wall hydrolases of mango fruit following low-temperature stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 74(6):685-689.
- Kruger, N. J. 2002.** The Bradford method for protein quantitation. Part I. *The Protein Protocols Handbook*, 2nd edition DOI: 10.1385/1-59259-169-8:15. Humana Press Inc Totawa, N.J. 15-21.
- Lagunes, B. L., Tovar, M. M., Vinay-Vadillo, J. C., De la Cruz, J., and García, H. S. 2007.** Effect of exogenous ethylene on ACC content and ACC oxidase activity during ripening of Manila mangoes subjected to hot water treatment. *Plant Foods for Human Nutrition*. 62:157-163.

- León, D. M., De la Cruz, J., Parkin, L., García, S. H. 1997.** Effect of controlled atmospheres containing low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> on chilling susceptibility of Manila mangoes. *Acta Horticulturae*. 455(2): 634-642.
- León, D. M., De la Cruz, J., García, H. S. and Gómez, L. M. A. 2005.** Chilling injury in mango (*Mangifera indica* L.) fruit. En Randane D. (Ed.) *Crops: Quality, Growth and Biotechnology*. WFL Publisher Helsinki, Finland. P. 903-924.
- Lira, V. A. A., Camacho de la Rosa, N. A., Wachter-Rodarte, C., Trejo, M. A. 2008.** Estudio comparativo de enzimas que degradan la pared celular en diferentes variedades de mango durante su maduración. X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Gómez Palacio, Durango. México. Respyn Edición especial 8-2008.
- Lizada, M. C. 1991.** Postharvest physiology of mango. A review. *Acta horticulturae*. 291: 437- 453.
- Little, A. 1975.** A research note, Off on a tangent. *Journal of Food Science*. 40:410-411.
- Madrigal, V. M. 2009.** Control biológico de la mancha negra (*Alternaria alternata*) como alternativa de prevención en el manejo postcosecha del mango. Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustria. Colegio De Postgraduados. Córdoba. México.
- Mangaraj, S., Goswami, T. K., Mahajan, P. V. 2009.** Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A review. *Food Engineering Reviews*. 1:133-158.
- Martínez, C. G. 2009.** Uso de bacterias lácticas en recubrimientos de quitosano para la conservación poscosecha de litchi y rambután. Tesis de Doctor en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. D.F., México.
- Martínez, H. C. M.; Sánchez, I. A., Hernández, R. C. A. 2006.** Tecnología del manejo poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) para el mercado fresco. *Centro Agrícola*, 33(2):23-31.
- Medlicott, A. P., Bhogal, M. and Reynolds, S. B. 1986.** Changes in peel pimentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Annals of Applied Biology*. 109:651-656.
- Mercado-Silva. 2010.** La Irradiación como tratamiento cuarentenario para el Mango. National Mango Board. Consultado julio 2011 en: [http://www.mango.org/media/99294/resumen\\_ejecutivo\\_irradiacion.pdf](http://www.mango.org/media/99294/resumen_ejecutivo_irradiacion.pdf).

- Mercado-Silva. 2012.** Reporte final de proyecto Estado del arte del manejo poscosecha del mango cv 'Manila'. Facultad de Química. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos y National Mango Board.
- Morín, C. L. 1980.** Cultivo de cítricos. 2da Ed. IICA. Lima, Perú. Pp:454-459.
- Muy-Rangel, M. D., Espinoza-Valenzuela, B., Siller-Cepeda, J., Sañudo-Barajas, A., Valdez-Torres, B. y Osuna-Enciso, T. 2009.** Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad pos cosecha del mango 'Ataulfo'. Revista Fitotecnia Mexicana. 32(1): 53-60.
- Muy-Rangel, M. D., Siller, C. J., Díaz, P. J. y Valdéz, T. B. 2004.** Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. Revista Fitotecnia Mexicana. 27 (2): 201–209.
- Muy-Rangel, M. D., Verdugo-Perales, M., Osuna-Enciso, T., Báez-Sañudo, M. A., Basilio-Heredia, J., Valdez-Torres, B., Contreras- Martínez, R., Sañudo-Barajas, J, A. y Campos-Sauceda, J, P. 2011.** Caracterización del garbanzo verde (*Cicer arietinum* L.) y tecnologías poscosecha para mantener su calidad. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 17(1):39-45.
- Najib, E. A., Huber, D. J., and Brecht, J. K. 1997.** Irradiation-induced changes in tomato fruit and pericarp firmness, electrolyte efflux, and cell wall enzyme activity as influenced by ripening stage. Journal of the American Society for Horticultural Science. 122: 100-106.
- National Mango Board. 2010.** Alternativas al Tratamiento Hidrotérmico. Consultado junio 2011 en: <http://www.mango.org/media/47753/alternativas%20al%20tratamiento%20hidrotermico%20resumen%20ejecutivo.pdf>.
- National Mango Board. 2011.** Actitud de los consumidores de EUA al mango de exportación y sus usos. National Mango Board. Tapachula Meeting, Mayo 2012.
- National Mango Board. 2012.** Mango Crop Report Updated May 4. Consultado en septiembre del 2012 en: [mango.org/crop](http://mango.org/crop).
- NORMA Oficial Mexicana NOM-023-FITO-1995,** Por la que se establece la Campaña Nacional contra Moscas de la fruta. Consulta julio 2011 en <http://www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=693>.
- Olsson, S. and Bergstrand E. S. 2001.** Calibration of alanine dosimeters. ISRN ULI-RAD-R--92—SE. Report 92. 25 p. Consulta en agosto 2012 en: <http://liu.diva-portal.org/>.

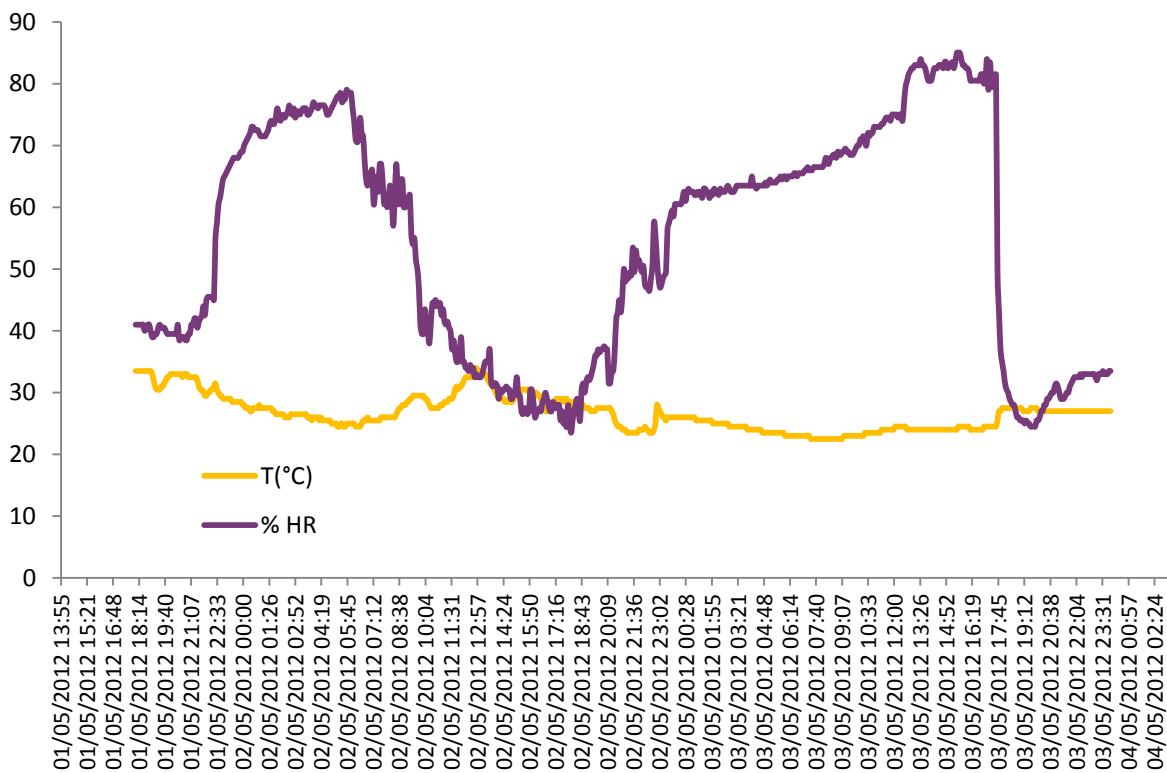
- Ornelas-Paz, J. De J., Yahia, E. M. and Gardea-Bejar, A. 2007.** Identification and quantification of xanthopyll esters, carotenes, and tocopherols in the fruit of seven Mexican mango cultivars by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-time-of-flight mass spectrometry [LC-(APCl<sup>+</sup>)-MS]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:6628-6635.
- Ornelas-Paz, J. De J., Yahia, E. M. and Gardea-Bejar, A. 2008.** Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCl<sup>+</sup>-time-of-flight mass spectrometry. 50 (2-3):145-152.
- Ortega-Zaleta, D. and Yahia, E. M. 2000.** Tolerance and quality of mango fruit exposed to controlled atmosphere at high temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 20:195-201.
- Osuna, G. J. A., Beltrán, J. A. y Urías, L. M. A. 2005.** Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre la vida de anaquel y calidad de mango para exportación. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(3):271-278.
- Páez, R. A. R. 2003.** Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) en papaya (*Carica papaya* L.) y mango (*Mangifera indica* L.) Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Boletín técnico No. 8.
- Parrotta, J. A. 1993.** *Mangifera indica* L. Mango. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p. Consultado junio 2012 en: [www.fs.fed.us/global/iitf/Mangiferaindica.pdf](http://www.fs.fed.us/global/iitf/Mangiferaindica.pdf).
- Pérez, B., Bringas, Cruz, L. y Báez, S., R. 2005.** Evaluación de cera comestible en mango "Tommy Atkins" destinado a la comercialización para el turismo parte I: efecto en las características físico-químicas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*. 7(1):24-32.
- Pérez-Rivero, B., Bringas, E., Mercado, J. N., Saucedo, C., Cruz, L. y Báez-Sañudo, R. 2004.** Aplicación de cera comestible en mango. Parte II: Estudios fisiológicos asociados a la maduración del fruto durante el almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 6(001):24-33.
- Postharvest Handling Technical Bulletin. 2004.** Waxing Fruits and Vegetables. Technical Bulletin No. 33. Postharvest Handling Technical Series. Consultado junio 2011 en: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNACY849.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACY849.pdf).

- Prieto, M. J. J., Covarrubias A. J. E., Romero C. A., Figueroa V. J. J., Munro O. D. 2005.** Paquete tecnológico para el cultivo de Mango en el estado de Colima. Secretaría de Desarrollo Rural. Gobierno del estado de Colima. Consultado junio 2012 en: <http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bibli/29mango.pdf>.
- PrimePro. 2010.** Shelf life extension packaging. Consultado junio 2011 en: <http://www.chantlerpackaging.com/primepromap/>.
- PROSERCO. 2007.** Diagnostico del sistema producto mango. Promotora de servicios comerciales del estado de Campeche. Consultado mayo 2011 en: <http://www.campoguerrero.gob.mx/publicar/wpcontent/uploads/2009/07/diagnostico-mango-Campeche.pdf>.
- Ramin, A. A., y Khoshbakhat, D. 2008.** Effects of microperforated polyethylene bags and temperatures on the storage quality of acid lime fruits. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*. 3(4): 590-594.
- Ramos, D. A. L., García, G. H. S., Beristain, G. C. I., De la Cruz, M, J. 2001.** II Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. Veracruz.
- Ranganna, S. 1977.** Manual of analysis of fruit and vegetable products. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi. 634pp.
- Reid, S. M. 2011.** Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Consultado julio 2011 en: [http://www.sap.uchile.cl/descargas/manejo\\_prod%20y%20postcosecha\\_cultivos/Postcosecha\\_flores\\_C.Muller.pdf](http://www.sap.uchile.cl/descargas/manejo_prod%20y%20postcosecha_cultivos/Postcosecha_flores_C.Muller.pdf).
- Rosa, B. A., Aharoni, D., Feygenberg, O., Aharoni, N., Keynan, A. y E. Pesis. 2001.** Effect of modified atmosphere packaging on mango ripening. *Acta Horticulturae*. 553:607-609.
- SAGARPA-SENASICA. 2012.** Campaña Nacional contra moscas de la fruta. Consultado agosto 2012 en: <http://www.senasica.gob.mx/?id=1002>.
- Saucedo, V. C., Lakshminarayana, S. 1977.** Efectos de diferentes temperaturas de almacenamiento en la maduración de mangos (*Mangifera indica* L.) var. Manila. *Revista Chapingo*. 2(3):27-36.
- SENATI. 2012.** Colorimetría textil I. Consultado septiembre 2012 en: <http://es.scribd.com/doc/64006792/Manual-de-Colorimetria>.

- SIAP-SAGARPA. 2009.** Cierre de la producción agrícola por cultivo. Consultado junio 2011 en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350).
- Sisler, E. and Serek, M. 1997.** Inhibition of ethylene responses in plants at a receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum*. 100: 577-582.
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E. y Ireta-Ojeda A. 2001.** Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):45-52.
- Spalding, D. H. and Reeder, W. F. 1978.** Controlling market diseases of mangoes with heated benomyl. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 91:186-187.
- Súmano, M. O. 2009.** Modificación de la actividad antioxidante y la calidad poscosecha de frutos de mango (*Mangifera indica*) irradiado. Tesis de Maestro en Ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Qro., México.
- Toivonen, P. M. A. 1996.** The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling, and micro-perforated wrap on shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L., Italica Group). *Postharvest Biology and Technology*. 10:59-65.
- Ureña, B. A. L., González, R. J. M., Meneses, C. R. y Alvarado, B. E. 2007.** Agrocadena de Mango. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Central Occidental de Grecia. Consultado junio 2011 en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00072.pdf>.
- USDA. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23. 2010.** Consultado junio 2011 en: [http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list\\_nut\\_edit.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl).
- USDA/APHIS. 2010.** Treatment manual. Chapter 3. Nonchemical treatments. Irradiation. Consultado junio 2011 en: [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment\\_pdf/03\\_08\\_nonchemicaltreatmentsirradiation.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment_pdf/03_08_nonchemicaltreatmentsirradiation.pdf)
- USDA/APHIS. 2011 a.** Manual treatment. Chapter 3. Nonchemical Treatments. Heat, Hot Water Immersion Treatment. Consultado junio 2011 en: [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf).

- USDA/APHIS. 2011 b.** Treatment Schedules 2. Chapter5, section T100 - Schedules for Fruit, Nuts, and Vegetables T102. Water Treatment. Consultado junio 2011 en: [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment\\_pdf/05\\_02\\_t100schedules.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment_pdf/05_02_t100schedules.pdf).
- Vargas, O. W. y Cepeda, O. R. 1987.** Tecnología del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. IICA-BOG. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura OEA. Bogotá, Colombia. Pp:11-15.
- Wang, B. G., Jiang, W. B., Liu, H. X., Lin, L. and Wang, J. H. 2006.** Enhancing the post-harvest qualities of mango fruit by vacuum infiltration treatment with 1-methylcyclopropene. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 81(1):163-167.
- Watkins, C. B. and Thompson, C. J. 1992.** An evaluation of microperforated polyethylene film bags for storage of 'Cox's Orange Pippin' apples. *Postharvest Biology and Technology*. 2:89-100.
- Yahia, E. M., Mongragon, A., Santiago, P., Balderas M. and Lagunez, L. 2000.** Effects of hot air treatment on the postharvest physiology and quality on mango fruit. VI International symposium on mango. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 509(2): 419-428.
- Yahia, E. M. y Ariza, F. R. 2001.** Tratamientos físicos en postcosecha de frutas y hortalizas. *Preservación de la calidad. Revista Extra*. Pp:80-89.
- Zambrano, J., Briceno, S., Mendez, C., Manzano, J. and Castellanos, E. 1997.** Changes during storage of wax coated mango fruits. *Agronomía tropical*. 47(1) p. 5-15.

## IX. ANEXOS



Anexo 1. Registro de la temperatura durante las operaciones de transporte, monitoreada a través de un termómetro digital con almacenamiento de datos individual (Lascar EL-USB-2).



01/05/2012		BATCH MANGO PROCESSING LOG (Fahrenheit)				Sheet: 1	
		La Suriana ( 305)					
Time	Probe	TANK 1	TANK 2	TANK 3	TANK 4	TANK 5	TANK 6
20:23:29	A	127.00	113.50	76.00			
	B	127.20	113.50	.			
		IDLE	IDLE	PREHEAT			
20:23:36	A	127.00	113.50	76.00			
	B	127.20	113.50	.			
		IDLE	IDLE	PREHEAT			
20:23:46 Start PROCESS Tank # 1							
20:25:36	A	124.30	113.50	76.00			
	B	126.20	113.50	.			
		PROCESS	IDLE	PREHEAT			
20:27:36	A	124.90	113.50	76.00			
	B	125.80	113.50	.			
		PROCESS	IDLE	PREHEAT			
20:28:45	A	125.10	113.50	76.00			
	B	125.80	113.50	.			
		PROCESS	IDLE	PREHEAT			
20:28:50	A	125.20	113.50	76.00			
	B	125.80	113.50	.			
		PROCESS	IDLE	PREHEAT			
20:29:37	A	125.20	113.50	76.00			
	B	125.80	113.40	.			
		PROCESS	IDLE	PREHEAT			
20:30:49 Process ENDED Tank # 1							
20:30:54 Out of Tank # 1							
20:31:01	A	125.20	113.40	76.00			
	B	125.80	113.40	.			
		IDLE	IDLE	PREHEAT			
20:31:18	A	125.30	113.40	76.00			
	B	125.80	113.40	.			
		IDLE	IDLE	PREHEAT			

Tanque #1

Anexo 2. Registro de la temperatura durante el tratamiento hidrotérmico contra antracnosis.