



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

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

**Efecto de la aplicación de óxido nítrico en combinación
con películas plásticas y ceras en la vida de anaquel de
mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Manila'**

TESIS

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

Presenta:

I.B.Q. Humberto Ramos Sotelo

Dirigido por:

Dr. Edmundo M. Mercado Silva

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Noviembre 2013

México



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

Efecto de la aplicación de óxido nítrico en combinación con películas plásticas y ceras en la vida de anaquel de mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Manila'.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

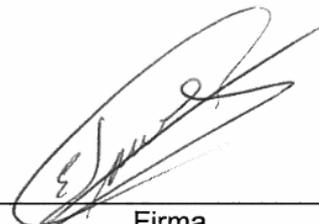
I.B.Q. Humberto Ramos Sotelo

Dirigido por:

Dr. Edmundo M. Mercado Silva.

SINODALES

Dr. Edmundo M. Mercado Silva
Presidente



Firma

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios
Co-Director



Firma

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Vocal



Firma

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Suplente



Firma

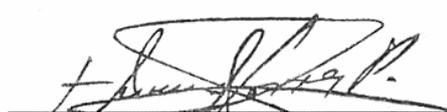
Dr. Ramón Alvar Martínez Peniche
Suplente



Firma



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



Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre, 2013.
México

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades sobre el mango	3
2.1.1 Origen y antecedentes	3
2.1.2 Descripción botánica	3
2.1.2.1 Árbol y Copa	3
2.1.2.2 Inflorescencia	4
2.1.2.3 Fruto	5
2.1.3 Posición taxonómica del mango	6
2.1.4 Composición nutricional del mango	6
2.2 Importancia económica del cultivo	7
2.2.1 En México	7
2.2.1.1 Variedades cultivadas en México	9
2.2.1.2 México como exportador	11
2.2.2 En el mundo	12
2.5 Índices de cosecha y manejo poscosecha	13
2.5.1 Temperaturas y atmósferas controladas	14
2.6 Fisiología de la maduración	15
2.7 Problemas en poscosecha	17
2.7.1 Pérdida de calidad visual	17
2.7.2 Pérdida de firmeza	17
2.7.1 Enfermedades del mango	18
2.7.1.1 Antracnosis	18
2.7.1.2 Etiología	19
2.7.1.2 Epidemiología	19
2.7.2 Oidio	21
2.7.3 Seca	22
2.8 Plagas del mango	22
2.8.1 Cochinilla de la nieve	22
2.8.2 Polillas de las flores	23
2.8.3 Mosca de la fruta	24

2.8.3.1	Taxonomía de la mosca de la fruta	25
2.8.3.2	Ciclo de vida	26
2.9	Tratamientos cuarentenarios	28
2.9.1	Tratamientos químicos	28
2.9.1.1	Fumigantes	28
2.9.1.2	Aerosoles	29
2.9.2	Tratamientos no químicos	29
2.9.2.1	Tratamiento hidrotérmico	29
2.9.2.2	Irradiación	30
2.9.3	Control biológico	31
2.9.3.1	Insectos parasitoides	32
2.9.3.2	Técnica del insecto estéril	32
2.10	Control de la maduración	33
2.10.1	Óxido nítrico	33
2.10.2	Control de maduración a través de empaques plásticos	37
2.10.3	Encerado	38
2.11	Pared celular	40
2.12	Pectin metil esterasa (PME)	41
2.13	Poligalacturonasa	41
III.	JUSTIFICACIÓN	43
IV.	OBJETIVOS	44
4.1	Objetivo general	44
4.2	Objetivos específicos	44
V.	METODOLOGÍA	45
5.1	Experimento 1	45
5.2	Experimento 2	45
5.3	Materiales	45
5.3.1	Material biológico	45
5.3.1.1	Experimento 1	46
5.3.1.2	Experimento 2	46
5.4	Estrategia general	46
5.4.1	Experimento 1	46
5.4.2	Experimento 2	49
5.5	Diseño experimental	51
5.5.1	Experimento 1	51
5.5.2	Experimento 2	52

5.6 Métodos aplicados	53
5.6.1 Tratamiento de irradiación	53
5.6.2 Establecimiento de condiciones de uso del inhibidor de la síntesis de etileno, óxido nítrico (NO)	54
5.6.2.1 Establecimiento de la concentración, tiempo de exposición y presión del sistema	54
5.6.2.2 Establecimiento de tiempo de exposición del NPS a la luz para incrementar liberación de NO	56
5.6.2.3. Cuantificación de óxido nítrico	57
5.6.3 Aplicación del inhibidor de la síntesis de etileno, NO	57
5.6.3.1 Experimento 1	57
5.6.3.2 Experimento 2	58
5.6.4 Tratamiento general para evitar el desarrollo de antracnosis en los frutos	58
5.6.4.1 Experimento 1	58
5.6.4.2 Experimento 2	59
5.6.5 Empaque en bolsas microperforadas	59
5.6.6 Tratamiento con cera	60
5.7 Métodos empleados	61
5.7.1 Propiedades físicas	61
5.7.1.1 Pérdida fisiológica de peso	61
5.7.1.2 Firmeza	61
5.7.1.3 Calidad visual	61
5.7.1.4 Color	62
5.7.2 Métodos químicos utilizados	62
5.7.2.1 Acidez titulable	62
5.7.3 Métodos para medir actividad enzimática	62
5.7.3.1 Actividad de Pectin Metil Esterasa (PME)	63
5.7.3.1.1 Procedimiento de extracción	63
5.7.3.1.2 Determinación de la actividad de PME	63
5.7.3.2. Actividad de Poligalacturonasa (PG)	63
5.7.3.2.1 Extracción de la enzima	63
5.7.3.2.2 Determinación de la actividad PG	64
5.7.4 Cuantificación de proteína en el extracto crudo	64
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES	65
6.1 EXPERIMENTO 1	65
6.1.1 Identificación de las condiciones óptimas de aplicación de NPS	65

6.1.2 Dosimetría de irradiación.....	67
6.1.3 Efectos de la aplicación NO en la calidad poscosecha de los frutos	68
6.1.3.1 Cambios en la calidad visual externa.....	68
6.1.3.2 Cambios en la calidad visual interna.....	74
6.1.4 Análisis físicos.....	77
6.1.4.1 Pérdida de peso.....	77
6.1.4.2 Cambios en valores de color	83
6.1.4.3 Firmeza	86
6.1.5 Análisis Químicos	91
6.1.5.1 Sólidos solubles totales.....	91
6.1.5.2 Acidez titulable	94
6.2 Experimento 2.....	98
6.2.1 Identificación de la concentración óptima de óxido nítrico.....	98
6.2.2 Cambios en la Calidad poscosecha de los frutos.....	101
6.2.2.1 Cambios en la calidad visual externa.....	101
6.2.2.2 Cambios en la calidad visual interna.....	103
6.2.3 Análisis físicos.....	106
6.2.3.1 Pérdida de peso.....	106
6.2.3.2 Cambios en valores de color	109
6.2.3.3 Firmeza	113
6.2.4 Análisis Químicos	118
6.2.4.1 Sólidos solubles totales.....	118
6.2.4.2 Acidez titulable	121
6.2.4 Análisis enzimáticos en la pulpa de los frutos.....	123
6.2.4.2 Actividad de Pectinmetilesterasa (PME).....	124
6.2.4.2 Actividad de Poligalacturonasa (PG).....	126
VII. Conclusiones	132
VIII. REFERENCIAS	133

RESUMEN

El presente trabajo se propuso investigar la aplicación de diferentes técnicas para alargar la vida poscosecha de Mango 'Manila' y mantener su firmeza. El estudio se dividió en dos etapas. En la primera se estudió la aplicación de un inhibidor de la síntesis de etileno, el óxido nítrico (NO), empaques micro perforados (MP) e irradiación gamma almacenados a 13°C o transferidos a 20°C por cuatro días. 729 mangos en madurez $\frac{3}{4}$ fueron divididos en dos lotes (irradiados 0.3kGy y no irradiados). Ambos fueron sometidos a un tratamiento hidrotérmico a 53°C durante 6 min para control de antracnosis. La mitad de los frutos irradiados y no irradiados se sumergieron en una solución 1mM de nitroprusiato de sodio, un donador de NO bajo 10 inHg de vacío por 3 minutos, la otra mitad se trató con agua destilada y almacenados con o sin MP. En la segunda etapa se estudió la aplicación de cera y NO bajo las mismas condiciones de almacenamiento y transferencia. 441 mangos en madurez $\frac{3}{4}$ fueron sometidos al mismo tratamiento contra antracnosis y divididos en dos lotes encerados y no encerados. La mitad de frutos encerados y no encerados se sumergieron en una solución 1mM de NPS previamente expuesta a una fuente de luz ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) durante 3 horas para favorecer la liberación de NO y se aplicó bajo las mismas condiciones de presión de vacío y tiempo. Se analizaron cada 4 días, tres réplicas de tres frutos por tratamiento Las variables respuesta fueron calidad visual, daño por antracnosis, pérdida de peso, color interno-externo, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y actividad enzimática. La aplicación de NO pareció retrasar la maduración del fruto, los MP y la aplicación de ceras disminuyeron la pérdida de peso en 50 y 65% respectivamente, los tratamientos de radiación retardaron el cambio de color, además redujeron significativamente la incidencia y la severidad del daño por antracnosis, la actividad de la poligalacturonasa se vio disminuida por acción de la cera y el NO lo cual retraso la pérdida de firmeza y permitió alcanzar una vida poscosecha de 22 días a 13°C y 4 días a 20°C.

Palabras Clave: Mango Manila, Óxido nítrico, Radiación gamma, recubrimientos céreos y empaques microperforados.

ABSTRACT

The present work aims to investigate the application of different techniques to extend the shelf life and keep the firmness of mango 'Manila'. The study is divided in two sections. The first one studies the application of an inhibitor of ethylene synthesis, nitric oxide (NO), microperforated packages (MP) and gamma irradiation in mango 'Manila' at cool storage (13°C) or transferred (20°C) during four days. 729 mangos at $\frac{3}{4}$ maturity were separated in two groups, irradiated (0.3 kGy) and non-irradiated. Both groups were treated against anthracnose (hydrothermal treatment; 53°C, 6 min). Half of irradiated and non-irradiated fruits were infiltrated with 1mM sodium nitroprusside solution, a NO donor under an air pressure of 10inHg for 3 minutes, the other half was treated with distilled water and stored with or without MP. In the second section it was studied the application of wax coating and NO at the same storage and transference conditions. 441 mangoes at $\frac{3}{4}$ maturity exposed to the same treatment against anthracnose and separated in two groups waxed and non-waxed. Half of the waxed ones and non-waxed were infiltrated with 1mM NPS previously degraded by light exposure ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) during 3 hours to increase the liberation of NO under the same pressure conditions and time. Analyses were made every 4 days, three replicates of three fruits per treatment. Response variables were the visual quality, anthracnose damage, loss of weight, internal and external color, firmness, total soluble solids, titratable acidity and enzymatic activity. Apparently the application of the NO treatment delayed the maturation of the fruit, the MP and the application of wax coating decreased the weight loss in 50 and 65% respectively, radiation treatment significantly delayed color development in addition significantly reduced the incidence and severity of anthracnose damage, NO and wax treated fruit showed suppressed activity of polygalacturonase which delayed loss of firmness and allowed to reach a shelf life of 22 days at 13°C and four days at 20°C.

Keywords: Mango 'Manila' Nitric oxide, gamma radiation, wax coating and microperforated packages

AGRADECIMIENTOS

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

Al consejo de ciencia y tecnología (CONACYT)

A las personas que estuvieron detrás de cada paso y cada tramite, gracias por siempre ser tan buenas en su trabajo y apoyarme en todo lo que estaba en sus manos.

Personal administrativo.

A mi asesor que siempre estuvo para apoyarme con sus conocimientos y su experiencia, por ser algo más que un maestro y llegar a ser para mí un amigo.

Dr. Mercado.

Gracias por todo el apoyo y la confianza que siempre me mostró, por estar siempre cuando la necesite y por haberme otorgado su amistad desde el día que la conocí.

Dra Estela.

Gracias por todos tus consejos y por todo tu apoyo, sé que llegarás a ser una gran doctora.

Dra. Dulce.

A mis sinodales por ayudarme a crecer como estudiante y por todas sus observaciones para que este trabajo fuera mejor.

Dra. Rosalía, Dr. Castaño y Dr. Peniche.

A las personas que me apoyaron con los frutos en el estado de Guerrero y que de la mejor manera me ofrecieron su ayuda para la realización de este proyecto.

Leopoldo y Ricardo.

Con todo mi cariño, porque sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, gracias por haberme dado la vida, por guiarme en cada paso y por apoyarme en esos momentos cuando creí que todo parecía imposible.

Papá y Mamá.

A mis hermanos que siempre han estado conmigo y que siempre me han apoyado sin importar nada.

Nayelli, Velia y José.

Con todo mi amor, por todas las veces que dejaste de hacer tu trabajo para apoyarme en el mío, por no dejarme vencer ante ninguna situación, esta tesis es tan mía como tuya, te amo.

Marely.

Gracias a esas personas que hace tres años no sabía que existían y que ahora se han vuelto una parte tan importante de mi vida, aprecio mucho todo su apoyo en los momentos difíciles y todas las risas en los momentos felices, son y serán siempre parte de mi familia.

Gisela, Eunice, Karen, Luis, Diego, Omar y Pedro.

A mis amigos del posgrado, porque no hay nadie que haya entendido mejor mis penas y alegrías ya que ustedes pasaron exactamente por lo mismo.

Alejandra, Alejandro, Adriana, Adriana, Emmanuel, Anabel, Liz, Andrea, Mireya, Mayra, Ana, Dalia, Jonathan, Gaby, Abraham, Nayeli, Dany, Fernando

A mis amigos y compañeros del laboratorio, ya que sin ustedes no hubiera sido posible realizar mi trabajo experimental y el laboratorio no hubiera sido lo mismo, gracias por todas las risas y por todo su apoyo.

Ana, Rossana, Dalia, Teresita, Luis, David y Juan Manuel.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Árbol de mango (<i>Mangifera Indica</i> L.) cv. 'Manila'	4
2.	Inflorescencia del fruto de mango, a) panícula terminal, b) flor	5
3.	Diferentes variedades de fruto de mango	5
4.	Distribución de la superficie de producción de mango por entidad federativa 2011	8
5.	Producción de mango en México	8
6.	Participación porcentual por variedad de mango en la producción nacional.	9
7.	Variedades, Estacionalidad y Características Sensoriales de mango	11
8.	Dinámica de la Exportación de mango en México 2005-2011	12
9a.	Superficie Mundial cosechada de Mango	13
9b.	Producción en millones de toneladas de los principales países productores de mango.	13
10.	Cambios durante la madurez de diferentes variedades de mango	16
11.	Evolución de la antracnosis durante el almacenamiento de mango.	19
12.	Factores primarios en la dispersión y desarrollo de la antracnosis.	21
13.	Enfermedades del mango oidio y seca.	22
14.	Daño de cochinilla en el fruto y colonias de machos sobre las hojas	23
15.	Polillas de las flores, Prays citri y Cryptoblabes gnidiella	24
16.	Zonas en México afectadas por la mosca de la fruta	25
17.	Moscas de la fruta	26
18.	Larva de la mosca de la fruta e insecto en su etapa adulta.	27

19.	Etapa final del desarrollo de la larva. Pupa de la mosca de la fruta	28
20.	Avispa del barconid (<i>Opius</i> sp)	32
21.	Inhibición de la biosíntesis de etileno por óxido nítrico	37
22.	Mango cv. 'Cat Hoa Loc'	40
23.	Modo de acción de PME	41
24.	Estrategia general seguida durante el experimento 1	48
25.	Estrategia general seguida durante el experimento 2	50
26.	Posición de dosímetros durante el tratamiento de irradiación	54
27.	Aplicación del nitroprusiato de sodio experimento 1.	58
28.	Tratamiento hidrotérmico contra antracnosis y enfriado de los frutos.	59
29.	Almacenamiento con y sin empaque microperforado	60
30.	Aplicación de cera y secado en frutos de mango 'Manila'	60
31.	Daños causados por la aplicación de NPS a concentraciones de 1, 2, 3 y 5 mM (a, b, c y d respectivamente) a 10inHg. durante 5 minutos.	65
32.	Daños causados por la aplicación de NPS a concentraciones de 3 y 5 mM durante 3 y 5 min a 15 inHg.	65
33.	Apariencia visual de frutos de mango 'Manila' control y tratados con NPS 1mM	66
34.	Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	71
35.	Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13 a 20°C	72
36.	Incidencia de antracnosis en frutos de mango cv. 'Manila' durante 22 días de almacenamiento y transferencias de 13 a 20°C	73
37.	Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	75

38.	Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13°C a 20°C	76
39.	Pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	80
40.	Pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento en transferencia de 13 a 20°C	81
41.	Promedio de la pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' al día 22	81
42.	Comparación de frutos de mango 'Manila' almacenados sin empaque microperforado y con empaque microperforado durante su transferencia en el día 26	82
43.	Frutos de mango 'Manila' almacenados a 13°C durante 22 días, irradiados y no irradiados	84
44.	Firmeza (N) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferidos de 13 a 20 °C	89
45.	Medias de firmeza (N) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C	90
46.	Sólidos solubles totales (°Brix) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C	93
47.	Acidez titulable (% Ácido cítrico) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C	97
48.	Frutos de mango 'Manila' infiltrados al vacío (10 inHg por 3 min) con una solución 1mM de NPS expuesta la luz durante 3 (a) y 6 horas (b) durante 2 días a 13°C	100
49.	Comparación de calidad visual de frutos de mango cv. 'Manila' tratados con cera (arriba) y sin cera (abajo) almacenados durante 22 días a 13°C y transferidos a 20 °C durante 4 días	102
50.	Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	102
51.	Comparación de calidad visual de frutos de mango cv. 'Manila' tratados con cera (arriba) y sin cera (abajo) almacenados durante 22 días a 13°C y transferidos 4 días a 20 °C	103
52.	Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv.	

	'Manila' durante su transferencia de 13°C a 20°C	104
53.	Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	105
54.	Cambios en la pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	108
55.	Cambios valores de a* externos de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	112
56.	Cambios valores de Hue externos de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C a 20°C	113
57.	Cambios en firmeza de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	117
58.	Cambios valores de solidos solubles totales de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	120
59.	Cambios en la acidez titulable de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	123
60.	Cambios en la actividad enzimática de la pectinmetilesterasa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C	126
61.	Cambios en la actividad enzimática de la poligalacturonasa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	129
62.	Relación entre la actividad enzimática de la poligalacturonasa y la firmeza de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C	130
63.	Cambios en la actividad enzimática de la poligalacturonasa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13 a 20°C	131

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1.	Composición nutricia en base a 100 g de pulpa.	7
2.	Tasa de respiración de mangos mono embriónicos a diferentes temperaturas	15
3.	Producción de etileno de mangos mono embriónicos a diferentes temperaturas	15
4.	Aplicación de NO para extender la vida de anaquel.	35
5.	Diseño experimental aplicado en Experimento 1	51
6.	Diseño experimental aplicado en el Experimento 2	52
7.	Condiciones experimentales de concentración de NPS, presión de vacío y tiempo de exposición para establecer la mejor condición de uso del NPS	55
8.	Intervalos de dosis recibida por frutos de mango durante el proceso de irradiación	67
9	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la pérdida de peso en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencias de 13 a 20 °C	77
10.	Pérdida global de peso provocada por los tratamientos durante todo el almacenamiento	78
11.	Pérdida global de peso de frutos de mango almacenados a 13 °C y sus transferencias a 20 °C	80
12.	Cambios de color externos en b* y matiz (Hue).	84
13.	Cambios de color internos en a* y matiz (Hue) internos.	86
14.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la firmeza en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencias de 13 a 20 °C	87
15.	Cambios en firmeza provocados por los tratamientos.	88

16.	Cambios en firmeza provocados por el empaque microperforado y la temperatura.	90
17.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre los sólidos solubles totales en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	91
18.	Cambios en solidos solubles totales provocados por los tratamientos	92
19.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la acidez titulable en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	95
20.	Cambios en acidez titulable provocados por los tratamientos	96
21.	Degradación del NPS bajo la luz de laboratorio (20 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) durante 6 horas.	99
22.	Valores de probabilidad de los efectos principales de los factores estudiados en la pérdida de peso de frutos de mango Manila encerados, tratados con NO y almacenados a 13 °C y transferidos a 20 °C	106
23.	Pérdida de peso con y sin el uso de ceras durante el almacenamiento y transferencia de 13 a 20°C.	107
24.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el valor de color a^* externo en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	109
25.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el matiz del color externo en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	110
26.	Cambios de color externo en a^* y matiz de frutos de mango Manila sometidos a diferentes tratamientos y almacenados a 13 °C y transferidos de 13 a 20 °C	111
27.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la firmeza de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	114

28.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el contenido de sólidos solubles de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	118
29.	Interacciones temperatura*día y días*tratamiento en el contenido de sólidos solubles de frutos de mango Manila tratados con ceras y NO durante su almacenamiento	119
30.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la acidez titulable de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	122
31.	Interacciones temperatura*día en la acidez titulable de frutos de mango Manila tratados con ceras y NO durante su almacenamiento.	122
32.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la actividad de PME en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C.	124
33.	Actividades de PME en la pulpa de frutos de mango encerados o no; y tratados o no con NO durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C.	125
34.	Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la actividad de PG en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C	127
35.	Actividades de PG en la pula de frutos de mango encerados o no; y tratados o no con NO durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C (T).	128

I. INTRODUCCIÓN

Después del plátano, el mango (*Mangifera indica L.*) es uno de los frutos tropicales más importantes en el comercio internacional. Su apreciable y delicado sabor dulce, su origen exótico y tropical así como su delicado aroma cuando está maduro lo hacen muy apreciado en los mercados de exportación. Nutricionalmente, es una buena fuente de vitamina A, y C así como de compuestos antioxidantes, a los que también se han descrito propiedades anticancerígenas.

México es el 6° productor mundial de mango: uno de cada veinte mangos que se consume en el orbe es mexicano. Los principales productores son India, China, Tailandia, Pakistán, seguidos por nuestro país e Indonesia. En conjunto, estas seis naciones generan tres de cada cuatro toneladas del fruto a nivel mundial. Las exportaciones se envían principalmente a Estados Unidos y en volúmenes menores a Canadá, Australia, Nueva Zelanda así como a países de la Unión Europea. En México, los principales estados productores son Guerrero, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Michoacán los cuales aportan en conjunto más de un millón 384 mil toneladas, es decir, nueve de cada diez (89%) de la producción nacional.

Dada su alta calidad sensorial que lo hace muy demandado en el mercado nacional, el Mango cv. Manila es la segunda variedad más importante producida en México (SIAP 2011), alcanzando el 19.8 % de la producción pero debido a que posee una alta tasa respiratoria y baja firmeza, su vida de anaquel es muy corta para llevar a cabo su exportación donde se demanda al menos 21 días, su piel es muy delgada y metabólicamente muy activa lo cual provoca una elevada pérdida de peso con su consecuente efecto en la calidad visual y mayor susceptibilidad a los daños mecánicos que surgen en el manejo poscosecha. Debido a esto, históricamente esta variedad ha participado muy poco en el mercado de exportación, otro reto para esta variedad es que no tolera el proceso

hidrotérmico convencional a los que deben de ser sometidos todos los mangos dirigidos al mercado de Estados Unidos. En el año 2008, se iniciaron las exportaciones de esta variedad mediante el proceso de irradiación gamma y se espera que los volúmenes vayan aumentando. No obstante, esa técnica no resuelve la problemática de alta perecibilidad que enfrenta este fruto.

En el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica de Pre y Poscosecha de Frutas y Hortalizas, se han estudiado tratamientos para incrementar la vida de anaquel con 1-MCP, un inhibidor de la biosíntesis del etileno, llegando a prolongar la vida de anaquel hasta 18 días pero aún se requiere alcanzar 21 días para lograr un proceso de comercialización adecuado. A pesar de esos esfuerzos uno de los parámetros más importantes en la calidad del fruto, la firmeza, no logró satisfacer las demandas del consumidor.

Por lo tanto es importante evaluar nuevas técnicas para mejorar la firmeza, dado que este es un factor muy importante para las operaciones convencionales de los frutos en los centros de distribución y consumo. Aunque el tratamiento por irradiación gamma, permite la exportación de este fruto, los problemas de falta de firmeza y pérdida de calidad visual deben ser atendidos para satisfacer las expectativas del consumidor final y resistir los procesos de manejo del fruto a los que se enfrentará en la cadena de comercialización.

Además de la conservación bajo ambientes de refrigeración para aumentar la vida de anaquel y mejorar la firmeza de los frutos, se han aplicado, en otras variedades, soluciones de calcio, y tratamientos hidrotérmicos que alteran el proceso de maduración así como el envase en películas plásticas para evitar la pérdida de humedad, No obstante, estas técnicas no han logrado la vida de anaquel esperada. El presente proyecto pretende estudiar tratamientos alternativos que regulen la actividad metabólica del fruto, mantengan su calidad visual y firmeza durante al menos 21 días de almacenamiento; mediante el uso combinado del óxido nítrico, empaques microperforados y recubrimientos céreos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre el mango

2.1.1 Origen y antecedentes

Los mangos han sido cultivados en la India por más de 4,000 años. A partir del siglo 16, este fruto fue distribuido gradualmente alrededor del mundo y llegó a América en el siglo 18 (Crane, 1991); fue introducido en México desde las Filipinas antes de 1778 por viajeros españoles (Vasanthaiah *et al.*, 2007) y actualmente están distribuidos por todas las zonas bajas tropicales del mundo.

2.1.2 Descripción botánica

El mango (*Mangifera indica* L.) es el miembro más importante de la familia *Anacardiaceae*, debido a su distribución mundial y a su importancia económica ya que ocupa el 5° lugar en consumo mundial y el 3° entre los frutos tropicales después del plátano y la piña (Galan Sauco, 2009). El género *Mangifera* comprende alrededor de 50 especies nativas del sureste de Asia o las islas circundantes, excepto una, *M. africana*, que se encuentra en África. Sólo 3 ó 4 especies del grupo producen frutas comestibles (Ochse *et al.*, 1974).

2.1.2.1 Árbol y Copa

El árbol de mango (Figura 1) es de tamaño mediano a grande, puede crecer de 10-30 m de altura, posee raíces profundas y con una copa densa y siempre verde. El tronco es cilíndrico de 75-100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris-café tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos (Loay, 2005). Las hojas son alternas y se encuentran espaciadas irregularmente a lo largo de las ramas, de forma oblonga elíptica o lanceolada, relativamente angostas y largas de 15-30 cm de longitud; las hojas jóvenes son generalmente de color rojizo, bronceadas o verde pálido, cambiando más tarde al tono verde

oscuro brillante (Ramírez, 1991). 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.



Figura 1. Árbol de mango (*Mangifera Indica* L.) cv. 'Manila'

2.1.2.2 Inflorescencia

La inflorescencia del mango es una panícula piramidal (Figura 2a), usualmente terminal de 10 a 60 cm de largo y flores que miden de 6 a 8 mm, de colores variados que se generan de yemas apicales. Sin embargo, si se elimina la yema apical durante el periodo de diferenciación floral, se desarrollan inflorescencias de las yemas axilares más próximas. Las flores miden alrededor de 6 mm de diámetro cuando están abiertas; generalmente tienen cinco sépalos pubescentes de color verde, cinco pétalos caedizos de color anaranjado, púrpura, amarillo o verdoso, y un disco nectario de cinco lóbulos de color amarillo-verdoso (Fig. 2b) (Ramírez, 1991).



Figura 2 Inflorescencia del fruto de mango, a) panícula terminal, b) flor.

2.1.2.3 Fruto

El Fruto del mango (Figura 3) es considerado como una drupa, es un fruto monospermo, de mesocarpio carnoso - fibroso que rodea un endocarpio leñoso (hueso) con una sola semilla en su interior la cual es ovoide, oblonga, alargada, recubierta por un endocarpio fibroso y por una membrana papirácea que posee una testa delgada de color café oscuro (COVECA, 2011). Existen diferentes variedades de mango las cuales varían en forma, color, sabor y peso el cual puede ser de 150 g hasta 2 Kg, el color puede variar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. Es un fruto climatérico, es decir que una vez alcanzada su madurez fisiológica puede seguir madurando fuera del árbol la cual es provocada por la producción de etileno auto catalítica y un incremento en la tasa de respiración (Bretch y Yahia, 2009).



Figura 3. Diferentes variedades de fruto de mango

2.1.3 Posición taxonómica del mango

Clase: *Dicotiledóneas*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Sapindales*

Suborden: *Anacardineae*

Familia: *Anacardiaceae*

Género: *Mangifera*

Especie: *M. indica*

El género *Mangifera* comprende 69 especies (Kosterman y Bompard 1993). La zona de origen de este género, en el sudeste de Asia, va desde los 27° de latitud Norte hasta casi los 5° sobre el Ecuador y de Sri Lanka hasta las Islas Carolinas. Estas especies se encuentran distribuidas en una amplia zona geográfica con distintas condiciones ambientales y exhiben una considerable diversidad genética, particularmente en caracteres del fruto.

2.1.4 Composición nutricional del mango

La Tabla 1 muestra la composición nutrimental del fruto mango, se puede apreciar que es una fuente excelente de vitamina A y C, las cuales tiene funciones antioxidantes importantes. La vitamina C promueve la función inmune y la formación de colágeno. La vitamina A es importante en la función visual y el crecimiento de los huesos.

Tabla 1. Composición nutricia en base a 100 g de pulpa.
(Galán Saúco, b 1993)

Nutriente	Valor por 100 gramos de pulpa
Calorías (Kcal)	62.1 – 63.7
Humedad (g)	78.9 – 82.8
Proteína (g)	0.36 – 0.40
Grasa (g)	0.30 – 0.53
Carbohidratos (g)	16.2 – 17.1
Fibra (g)	0.85 – 1.06
Cenizas (g)	0.34 – 0.52
Calcio (mg)	6.10 – 12.8
Fósforo (mg)	5.50 – 17.9
Hierro (mg)	0.20 – 0.63
Vitamina A (mg)	0.13 – 1.87
Tiamina (mg)	0.02 – 0.07
Riboflavina (mg)	0.02 – 0.06
Niacina (mg)	0.02 – 0.70
Vitamina C (mg)	7.80 – 172
Metionina (mg)	3.00 – 6.00
Triptófano (mg)	32.0 – 37.0

2.2 Importancia económica del cultivo

2.2.1 En México

En México, el mango se cultiva en 21 entidades, ocupando una superficie de 180 mil hectáreas, equivalente a tres veces la superficie de Singapur en Asia. De esa superficie, el 40% corresponden a la modalidad de riego y 60% a la de temporal. El pico de producción se ubica entre los meses de mayo y junio, aunque la oferta se extiende de febrero hasta septiembre. Los estados de Guerrero, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz y Michoacán aportan en conjunto más de un millón 384 mil toneladas (Figura 4), es decir el 89% de la producción nacional. (SIAP, 2011)



Figura 4. Distribución de la superficie de producción de mango por entidad federativa 2011

Del total de la producción el 13.5% se destina a la industrialización la cual en el 2011 genero 194 mil toneladas de jugos con un valor de 1,776 millones de pesos y casi 16 mil toneladas de conservas de mango con un valor de 152 millones 892 mil pesos (SIAP, 2011).

México es uno de los países productores de mango más importantes en el mundo, en el 2012 se produjeron más de 1.8 millones de toneladas (Figura 5), una de las producciones más altas en la historia de México, solo superada por la producción del 2006 y 2007 con 2.0 y 1.9 millones de toneladas respectivamente.

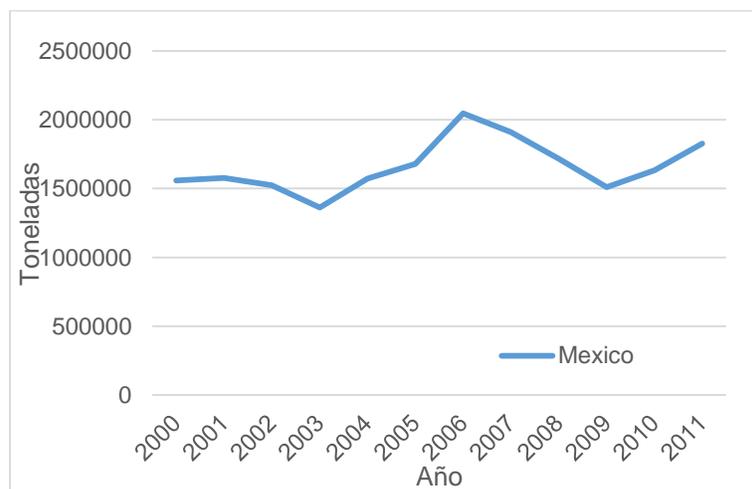


Figura 5. Producción de mango en México (2000-2011)

2.2.1.1 Variedades cultivadas en México

En el país se producen diferentes variedades de mango destacándose el 'Ataulfo', 'Manila', 'Haden', 'Tommy Atkins', 'Keitt' y 'Kent' (Figura 6). Se puede observar que la variedad 'Manila' es la segunda más producida en México pero esta no participa en el mercado de exportación. Dentro de las variedades que más participan en este mercado se encuentran "Tommy Atkins", 'Haden', "Keitt", "Kent" y "Ataulfo".

Variedad	Participación %	Variedad	Participación %
Ataulfo	25.4	Kent	11.3
Manila	19.8	Criollo	7.0
Tommy Atkins	13.2	Keitt	4.5
Haden	11.5	Otros	6.3

Figura 6 Participación porcentual por variedad de mango en la producción nacional. (SIAP, 2011)

Entre las variedades que se cultivan y aprovechan comercialmente en nuestro país están las siguientes (Kader, 2008; Ortiz *et al.*, 2002; SAGARPA 2005):

'Tommy Atkins': fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, de forma redonda y tamaño mediano (350 a 450 g.) La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra. Tiene la desventaja de que si no se corta en su madurez óptima presenta problemas en el manejo pos cosecha.

‘Haden’: fruto que presenta una base de color amarillo en chapeo rojo, que lo hace muy atractivo tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Los frutos registran un peso de 300 a 400 g. Su pulpa es jugosa con poca fibra y de buen sabor.

‘Manila’: produce frutos de tamaño medio (200 a 275 gr.), de forma elíptica y color amarillo, con cáscara delgada, pulpa amarilla, firme, muy dulce y sabrosa, cuenta con un bajo contenido de fibra. Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional tanto para consumo en fresco como industrial.

‘Kent’: los frutos pesan de 500 a 700 gr. La base es de color verde amarillento con chapeo rojo. Presenta la desventaja de ser muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias.

‘Keitt’: fruto grande, con un peso que varía de 600 a 800 gr. La base del fruto es de color verde con chapeo rosa-rojizo. Tiene una pulpa muy dulce con escaso contenido de fibra.

‘Manzanillo Núñez’: es una selección regional. Árbol vigoroso muy productivo, no alternante, se cosecha entre junio y julio. Su fruto es grande parecido al ‘Kent’. El chapeo es rojo sobre amarillo-naranja, su pulpa no tiene fibra y la semilla es pequeña. Su producción se destina preferentemente al mercado nacional.

‘Ataulfo’: Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad. Es de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio que varía de 200 a 370 gr. El color de la pulpa es amarillo y no tiene fibras.

NOMBRE	ESTACIONALIDAD	SABOR · TEXTURA Y COLOR
 ATAULFO	Enero a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> · Sabor dulce y cremoso · Textura suave y firme sin fibras · Su piel es amarillo vibrante con tintes dorados profundos
 HADEN	Febrero a Julio	<ul style="list-style-type: none"> · Rico en sabor con matices perfumados · Pulpa firme con finas fibras · Piel verde a amarillo con toques de color rojo a naranja
 KEITT	Junio a Octubre	<ul style="list-style-type: none"> · Sabor dulce, afrutado · Pulpa firme y jugosa, con pocas fibras · Su piel permanece verde aún estando maduro y un ligero tono rosado
 KENT	Mayo a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> · Rico sabor dulce · Pulpa tierna y jugosa con pocas fibras · Su piel es verde oscuro con un rubor rojo oscuro y matices amarillos aparecen al madurar.
 MANILA	Enero a Agosto	<ul style="list-style-type: none"> · Sabor dulce ligeramente ácido · Muy jugoso y delicado. Textura muy suave · Color amarillo brillante
 TOMMY/ATKINS	Marzo a Julio	<ul style="list-style-type: none"> · Sabor ligeramente dulce · Textura firme, bastante fibrosa · Su piel dorada o verdosa con rubor bermellón (rojo vivo)

Figura 7. Variedades, Estacionalidad y Características Sensoriales de mango (CONASPROMANGO, 2012)

2.2.1.2 México como exportador

Las exportaciones de mango mexicano y sus derivados han crecido 77% en los últimos siete años: 122 mil toneladas más destinadas al comercio exterior. En total, se exporta una de cada cinco toneladas (18%) de la producción del fruto, lo que coloca a México como el segundo exportador mundial sólo detrás de la India (SIAP, 2011).

La exportación de mango en México se ha incrementado de forma constante desde el 2005 a la fecha (Figura 5) pasando de 159 mil toneladas en el 2005 a 282 mil toneladas el 2011, y se espera que esta cifra incremente con los siguientes años, Es importante destacar que la variedad 'Manila' participa marginalmente en el mercado de exportación aunque ocupa el segundo lugar en la producción nacional (SIAP, 2011).

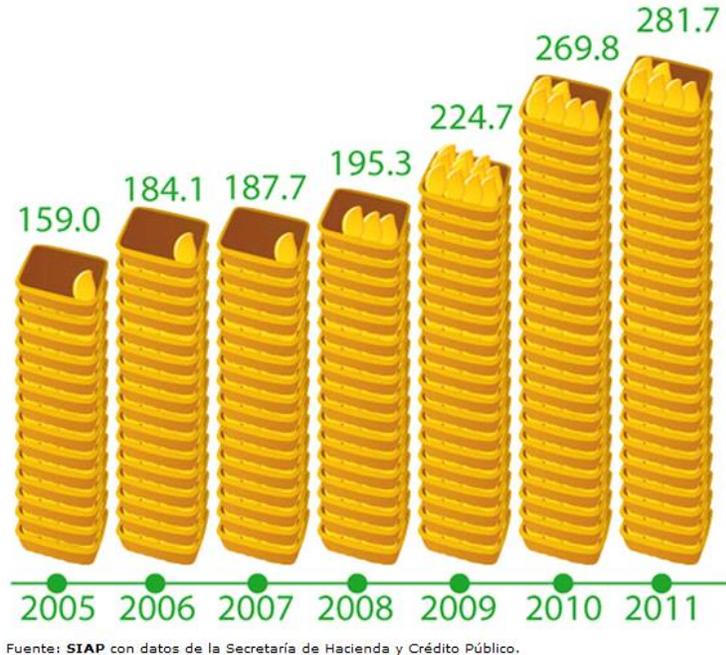


Figura 8. Dinámica de la Exportación de mango en México 2005-2011(SIAP 2011)

2.2.2 En el mundo

Para el 2012, el 84% del área total mundial cosechada de mango se concentró en 10 países, pero se destaca que tan solo la India y China representan el 55%. En este aspecto México se ubicó en la séptima posición para el 2012, sin embargo, cabe señalar que en años anteriores se ubicaba en la sexta y quinta posición.

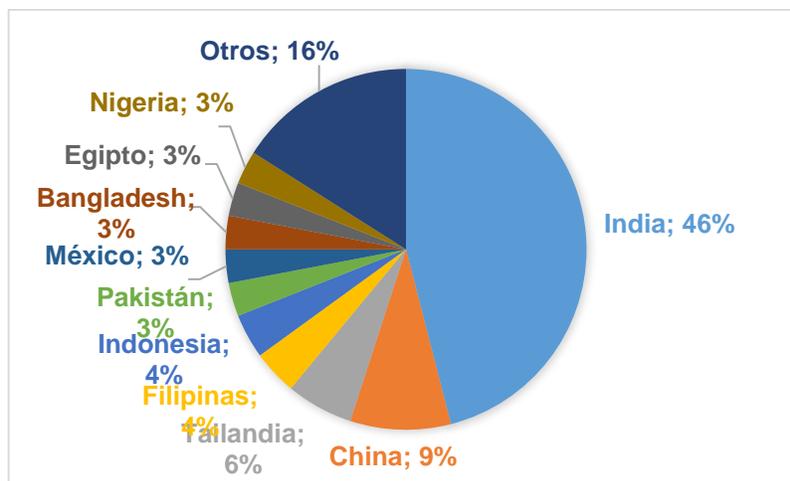


Figura 9a. Superficie Mundial cosechada de Mango

De acuerdo con la FAOSTAT (2012) en 2012, el 83% de la producción mundial de mango se concentró en 10 países, destacándose entre los primeros lugares India y China, quienes por si solos concentraron el 51% de la producción mundial. Por su parte, México se ubicó ese año en la sexta posición.

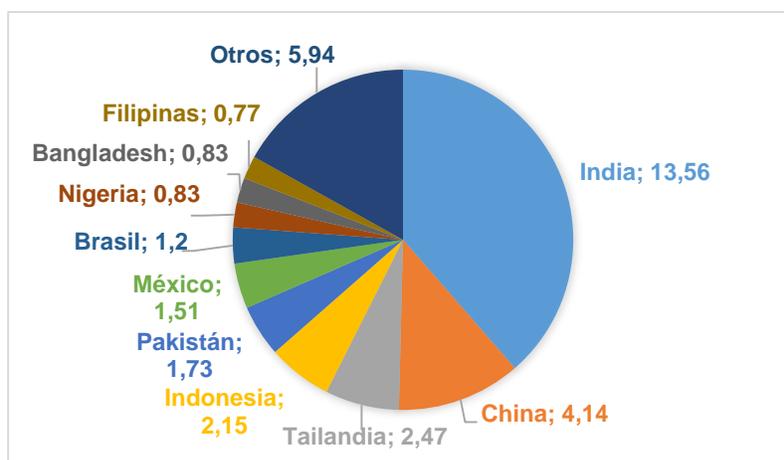


Figura 9b. Producción en millones de toneladas de los principales países productores de mango.

2.5 Índices de cosecha y manejo poscosecha

La producción de frutos por árbol de mango es muy elevada. Como término general, para un ejemplar de tamaño medio puede calcularse un

rendimiento de 200 kilos, llegando normalmente algunos árboles a producir más de 1000 kilogramos de fruta. Esto supone unos 30.000 – 40.000 kg/ha.

La cosecha es uno de los puntos críticos si se desea exportar, dado que un fruto cosechado antes de su madurez fisiológica no alcanzará los estándares de calidad aceptables de sabor y aroma. Por otra parte cada día que pase en el árbol después de su madurez fisiológica son días que se le restarán de vida de anaquel.

Existen diversos índices de cosecha en el mango, como el cambio de color en la piel y en la pulpa, los cambios de forma en el fruto (llenado de hombros), conversión de almidón a azúcar. Las frutas se cosechan en el 2do estado de madurez (Figura 10) cuando aún están de color verde oscuro si estas van a mercados lejanos, además de la necesidad de que estén más firmes para que puedan soportar el manejo durante el empaque.

En general, el criterio para determinar la época de recolección varía según el cultivar y la zona de producción, por tanto las recomendaciones dadas anteriormente sólo pueden tener utilidad en lugares con condiciones climáticas idénticas y donde tenga lugar una floración homogénea.

La recolección del mango es manual, se debe procurar siempre cortar el fruto con un poco de pedúnculo, ya que haciéndose a ras se derramaría latex, lo que más tarde contribuiría a que la fruta se arrugue y deprecie (Kader. 2008).

2.5.1 Temperaturas y atmósferas controladas

Los mangos en estado inmaduro deben almacenarse a temperaturas de 13°C mientras que los mangos parcialmente maduros deberán ser almacenados a 10°C, la humedad relativa optima está entre 90.95% y los rangos de respiración a estas dos temperaturas son de 15 – 22 y 12 - 16 mgCO₂/Kg.h respectivamente. A

medida que la temperatura aumenta incrementa la respiración (Tabla 2), lo cual reduce su vida de anaquel. Un aumento de temperatura también conlleva a un aumento en el metabolismo y por lo tanto también hay una mayor producción de etileno (Tabla 3); por ejemplo, un aumento de 10°C incrementa notoriamente la producción de etileno de 0.1 – 0.5 a 0.5 – 8.0, lo que equivale a una producción dieciséis veces mayor. (Lira *et al.*, 2008)

Tabla 2. Tasa de respiración de mangos mono embrionicos a diferentes temperaturas

Temperature	10°C(50°F)	13°C(55°F)	15°C(59°F)	20°C(68°F)
vml CO ₂ /kg·hr	12-16	15-22	19-28	35-80

Tabla 3. Producción de etileno de mangos mono embrionicos a diferentes temperaturas

Temperature	10°C(50°F)	13°C(55°F)	15°C(59°F)	20°C(68°F)
ul C ₂ H ₄ /kg·hr	0.1-0.5	0.2-1.0	0.3-4.0	0.5-8.0

2.6 Fisiología de la maduración

El mango es un fruto climatérico por lo que sus características visuales y sensoriales se van modificando durante su proceso de maduración el cual otorga características agradables que percibe el consumidor como alto nivel de azúcar, baja acidez, color del fruto, firmeza adecuada y aroma agradable (Figura 10), este proceso se presenta durante el almacenamiento del fruto. Paull (1993) señaló que el metabolismo del mango dicta su tasa de respiración; ubicando a los mangos con una tasa de respiración moderada a 20°C de 70 - 150 mg CO₂/Kg. h) como mono embrionicos, con estos datos este autor estimó una vida de anaquel de 18 días en condiciones óptimas de almacenamiento (10-12°C).

La variedad de mango 'Manila' posee una actividad respiratoria muy alta si se compara con las demás variedades (242, 255 y 262 mg CO₂/Kg. h a 18, 20 y 25°C respectivamente (Saucedo-Veloz. y Lakshminarayana 1977) lo cual da como

resultado que su actividad metabólica sea 3 veces mayor y por lo tanto una menor vida de anaquel que se manifiesta en forma de ablandamiento y pérdida de calidad visual acelerada. La variedad que más se le parece al 'Manila' es 'Ataulfo' la cual también posee una mayor tasa respiratoria que las demás (196 mg CO₂/Kg. h) pero de cualquier manera la tasa respiratoria del mango 'Manila' sigue siendo 35% más elevada respecto de esa variedad, lo cual le provoca una vida de anaquel muy corta; 6 días a 20°C respecto a 11 días de las otras variedades (Lira *et al.*, 2008)

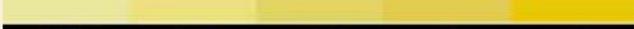
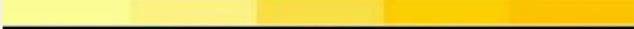
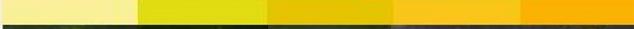
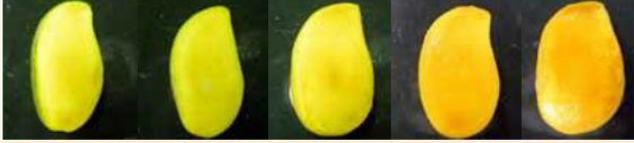
KEITT 	COLOR PROMEDIO					
	COLOR INTERNO (PULPA)					
	MADUREZ / MADURACIÓN	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
	FIRMEZA (lbs - fuerza)	12 - 15	12 - 14	5 - 8	4 - 5	2 - 3
KENT 	COLOR PROMEDIO					
	COLOR INTERNO (PULPA)					
	MADUREZ / MADURACIÓN	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
	FIRMEZA (lbs - fuerza)	19 - 22	14 - 18	11 - 13	5 - 8	2 - 4
MANILA 	COLOR PROMEDIO					
	COLOR INTERNO (PULPA)					
	MADUREZ / MADURACIÓN	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
	FIRMEZA (lbs - fuerza)	8 - 12	6 - 10	4 - 6	2 - 4	1 - 2
TOMMY ATKINS 	COLOR PROMEDIO					
	COLOR INTERNO (PULPA)					
	MADUREZ / MADURACIÓN	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
	FIRMEZA (lbs - fuerza)	18 - 20	15 - 17	10 - 13	6 - 8	3 - 6
	SÓLIDOS SOLUBLES (° Brix)	6 - 8	9 - 11	12 - 15	14 - 16	14 - 17
	SÓLIDOS SOLUBLES (° Brix)	8 - 10	9 - 11	12 - 13	12 - 14	14 - 15
	SÓLIDOS SOLUBLES (° Brix)	5 - 6	10 - 13	12 - 14	15 - 16	16 - 18
	SÓLIDOS SOLUBLES (° Brix)	7 - 9	8 - 11	9 - 11	10 - 13	12 - 15

Figura 10. Cambios durante la madurez de diferentes variedades de mango (CONASPROMANGO 2012)

2.7 Problemas en poscosecha

2.7.1 Pérdida de calidad visual

Uno de los mayores problemas en el mango 'Manila' es la susceptibilidad que este presenta a la marchitez o pérdida de la calidad visual, el mango 'Manila' posee una alta actividad metabólica y esta se asocia con una mayor pérdida de peso (Saucedo-Veloz. y Lakshminarayana, 1977).

Esta susceptibilidad al deterioro de la calidad visual del mango 'Manila' puede ser debido también a las características histológicas de este fruto; Barbosa-Martínez *et al.* 2009, hicieron una comparación histológica de las variedades 'Haden' y 'Manila' observando diferencias importantes entre ambas que pueden explicar la mayor susceptibilidad del mango 'Manila' a la pérdida de peso y al daño mecánico; la piel de mango 'Manila' es más delgada y representa una menor proporción en peso respecto del mango 'Haden', así mismo presentó menor número de capas de células epidérmicas y de fibras largas, y también menor número de capas de células hipodérmicas con paredes celulares más delgadas lo cual la hace más susceptible al manejo mecánico. Adicionalmente, su cutícula es más delgada que en el mango 'Haden', haciéndolo más susceptible a la pérdida de peso por transpiración y al ataque de patógenos. Así mismo, indicaron que las células de la pulpa son más grandes respecto del mango 'Haden', por ello muestra una firmeza menor cuando ocurren los cambios osmóticos durante la maduración. También es posible que la actividad metabólica de la piel sea más alta como lo sugieren Cua y Lizada (1990) en mango 'Carabao'.

2.7.2 Pérdida de firmeza

El mango 'Manila' tiene una menor firmeza en comparación con otras variedades como 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent' y 'Keitt'. Se han hecho pruebas de compresión del fruto integro, indicando que esta variedad es de baja firmeza, ya que requiere una fuerza de 18 a 31 N para alcanzar el 3% de deformación del

fruto teniendo que aplicar de 85-185 N para lograr el mismo resultado en las demás variedades (Mercado-Silva 2010). La baja firmeza probablemente esté asociada a una rápida pérdida de pectinas en el tejido durante el proceso de maduración. En otros estudios se ha demostrado que la actividad de las poligalacturonasas y endo 1-4 D glucanasas incrementa de manera significativa en el fruto teniendo un pico máximo a temperatura ambiente (21°C) al cuarto día de almacenamiento a 10°C (Zaharah y Singh 2011).

La baja firmeza probablemente esté asociada a una rápida pérdida de pectinas en el tejido durante el proceso de maduración como lo señalaron Lira *et al.* (2008), quienes indicaron una disminución del contenido de pectatos de calcio de 0.48 a 0.1 g en 100 g de pulpa durante la maduración del fruto, mientras que 'Haden' mostró cambios muy pequeños (0.65 a 0.45g en 100 g de pulpa).

Teniendo en cuenta que la apariencia y la firmeza suelen ser los atributos más importantes que contribuyen a la calidad del mango, y sabiendo que la progresiva pérdida de firmeza es consecuencia del proceso de maduración la cual ocurre debido a los cambios en los polisacáridos de la pared celular promovidos por acciones enzimáticas, especialmente sobre las pectinas, se pretende estudiar compuestos, como el NO, que disminuyan la actividad de las pectinasas y controlen el proceso de maduración, también se tiene que tener un mayor entendimiento de que es lo que ocurre en la pared celular del mango 'Manila' durante la maduración y que sucede si le aplica un tratamiento de CaCl₂.

2.7.1 Enfermedades del mango

2.7.1.1 Antracnosis

La antracnosis es la principal enfermedad pre y pos cosecha del mango, causando pérdidas directas de rendimiento en el campo, en las plantas de empaque, así como en la calidad del fruto y su comercialización posterior.

La antracnosis es la enfermedad más importante del mango en áreas de producción húmedas (Arauz, 2000; Dodd *et al.*, 1997; Lim y Khoo, 1985; Ploetz y Freeman, 2009 Ploetz y Prakash, 1997; Ploetz, 2003). Aunque se producen pérdidas en el campo, las pérdidas pos cosecha son las más significativas (Figura 11), por lo que la antracnosis representa grandes desafíos para quienes están involucrados en el comercio internacional de este fruto.



Figura 11 Evolución de la antracnosis durante el almacenamiento de mango.

2.7.1.2 Etiología

La antracnosis es causada por dos especies de hongos relacionados. *Colletotrichum gloeosporioides* (teleomorfo: *Glomerella cingulata*), responsable en la mayoría de los casos (Dodd *et al.*, 1997), y *C. acutatum* (teleomorfo: *G. acutata*) que juega un menor papel en algunas localidades (Ploetz y Prakash, 1997).

2.7.1.2 Epidemiología

Las condiciones húmedas y la alta humedad relativa (HR) constituyen factores primarios en la dispersión y desarrollo de la antracnosis (Figura 12). Los conidios producidos en ramas terminales, inflorescencias momificadas, brácteas florales y hojas (más importante) son fuentes significativas de inóculo (Dodd *et al.*, 1991) y se producen más abundantemente donde existe superficies mojadas, aunque también a HR de 95%. Los conidios se dispersan a través de salpicaduras de agua de lluvia. Los apresorios se melanizan, fortaleciéndose y facilitando su penetración en la cutícula a través de sus ganchos de infección. La presencia y prevalencia de apresorios melanizados han sido utilizadas para predecir la

infección por antracnosis y cuando se necesitan medidas para su control (Dodd *et al.*, 1991).

Frutos pequeños pueden desarrollar diminutas manchas oscuras y abortar si la infección ocurre en la etapa inicial de su desarrollo. Una vez que se forma el apresorio y el fruto excede los 4 - 5 cm de diámetro, cesa el desarrollo de la infección. Infecciones quiescentes renuevan su desarrollo una vez que los inhibidores fúngicos en el fruto disminuyen durante el proceso de maduración. En frutos grandes, especialmente maduros, las lesiones pueden formarse en cualquier parte, aunque son comunes manchas que irradian desde el final del tallo hacia el ápice del fruto. Las lesiones en el fruto son superficiales y se extienden a la masa (pulpa) solo después que una gran porción del fruto ha sido afectada. Sin embargo, incluso el desarrollo superficial de la enfermedad produce daños estéticos serios y el rechazo del fruto a lo largo de la cadena de comercialización.

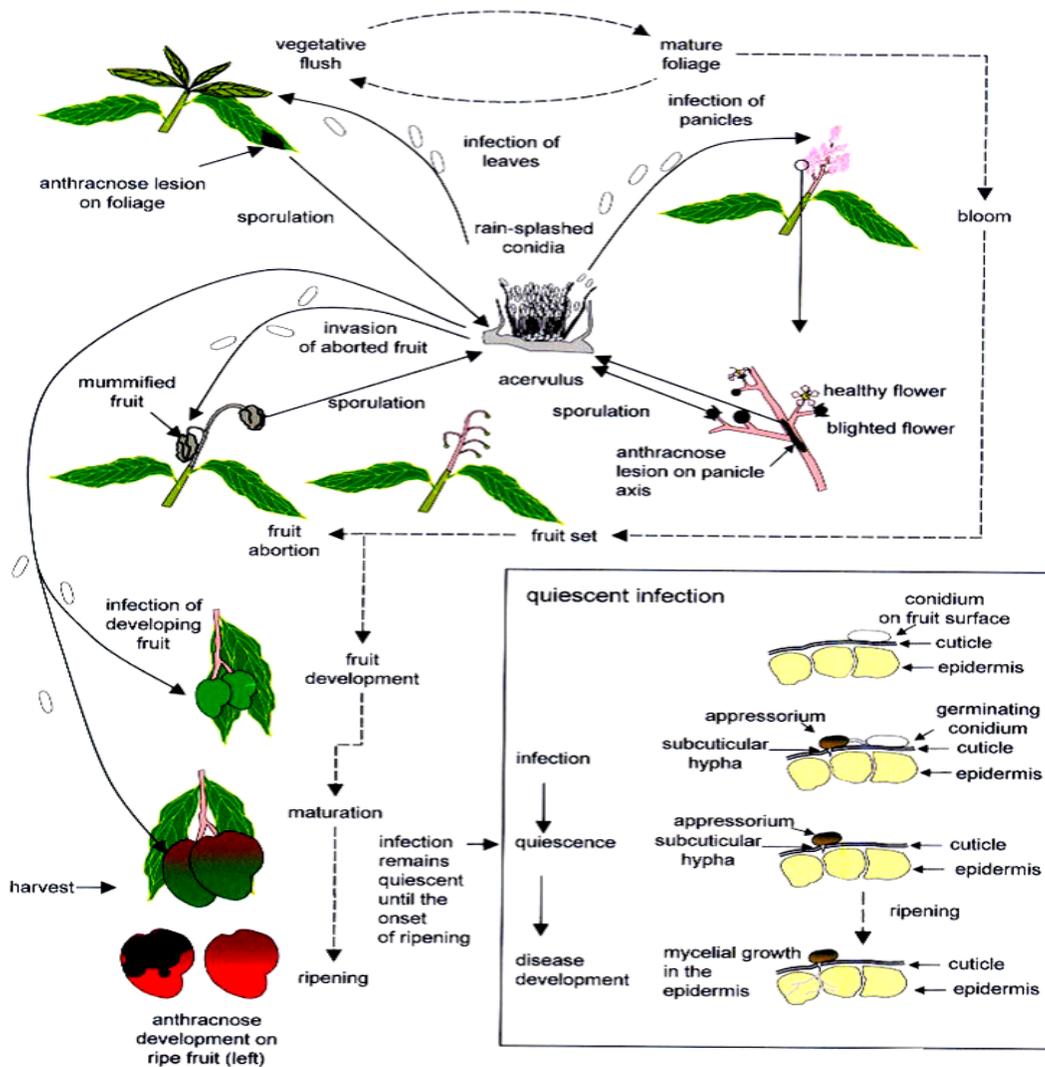


Figura 12. Factores primarios en la dispersión y desarrollo de la antracnosis. (Ploetz 2010)

2.7.2 Oidio

El Oidio del mango es una de las enfermedades de mayor difusión a nivel mundial (Figura 13a). Las flores quedan cubiertas de un polvillo blanquecino grisáceo con olor a moho, éstas no se abren y la inflorescencia cae. Las hojas acaban resecaándose, según los cultivares los síntomas se manifiestan en el envés, en el haz o en ambas caras de la hoja. Puede producirse el cuarteado de la piel de los frutos y la caída de los más pequeños. Los tratamientos para esta enfermedad son preventivos a base de la aplicación de azufres y el polisulfuro de potasio (Perera y Méndez, 2007).

2.7.3 Seca

Se trata de una enfermedad destructiva que puede causar la muerte del árbol (Figura 13b), siendo el agente causal un hongo *Ceratocystis fimbriata*, que normalmente se asocia a su vector que es un insecto, *Hypocryphalus mangiferae*. Este hongo puede acceder también a través de las raíces, por tanto en este caso no necesita este vector. Los síntomas se manifiestan en la parte aérea con un amarillamiento, marchitez y muerte de las hojas. Si se realiza un corte a la rama se observará los tejidos internos totalmente dañados. Para el control de la enfermedad se recomienda realizar podas de limpieza y la quema de las ramas marchitas y los cortes de poda tratarlos con algún fungicida.



Figura 13. Enfermedades del mango oidio (a) y seca (b).

2.8 Plagas del mango

2.8.1 Cochinilla de la nieve

Esta plaga debe su nombre a la coloración blanquecina que muestran las colonias de machos. Se trata de un insecto que causa importantes daños a las hojas y frutos del mango depreciando su comercialización.

La concentración más alta de estos insectos se produce en las hojas más viejas (Figura 14b), principalmente en las partes más sombreadas del árbol, es

decir en la zona baja y hacia el interior de la copa. En las hojas, ocasiona amarilleo y muerte de las zonas afectadas, llegando a producir la caída de hojas en ataques intensos. En los frutos origina decoloraciones de las zonas atacadas, alterando la maduración y depreciando, como se ha indicado, su valor comercial. (Figura 14a)

La aireación de los árboles contribuye a la disminución de la incidencia de la plaga y favorece la aplicación de las posibles aplicaciones fitosanitarias, por lo que se recomienda mantener los árboles bien podados y aireados. La eliminación de las ramas afectadas y su destrucción es una medida importante para evitar su propagación.

En cuanto al control biológico se ha observado parasitismo natural ejercido por una especie del género *Encarsia*, aunque no se ha valorado el potencial de este parásito sobre el control efectivo de esta plaga. (Rodríguez y Perea, 2010)



Figura 14. Daño de cochinilla en el fruto (a) y colonias de machos sobre las hojas (b)

2.8.2 Polillas de las flores

El *Prays citri*, de la familia Tineoideos, y el *Cryptoblabes gnidiella*, de la familia Pyraloideos; la primera (Figura 15a) muy específica de los cítricos, y la segunda sumamente polífaga, ya que además de atacar los cítricos lo hace también a la vid, al almendro, al melocotonero y a otras plantas cultivadas o silvestres, entre ellas el mango. La *Prays*, en su fase adulta, es una mariposa de

12 mm de longitud, de color gris ceniza con manchas oscuras diseminadas en las alas anteriores. Sus orugas tienen una longitud de 7 mm, de color terroso, cabeza y pronoto negros, con varios pelos rígidos en cada segmento.

La segunda (Figura 15b) es una mariposa algo mayor que la anterior, con alas anteriores de color gris, cruzadas por dos franjas negras transversales, y las posteriores de color blancuzco uniformes; sus orugas, de unos 8 mm, son de color verdoso con unas líneas longitudinales oscuras a ambos lados de una franja más clara. La cabeza y pronoto es de color castaño. Ambas polillas tienen unas tres generaciones anuales; sus orugas atacan a las flores, devorando pétalos y estambres, y roen los ovarios con la consiguiente destrucción de los frutos. Un tratamiento anual con Lebaycid al 4 %, en primavera, cuando empiezan a abrirse las flores ha demostrado resultados satisfactorios. (COVECA. 2011)



Figura 15. Polillas de las flores, Prays citri (a) y Cryptoblabes gnidiella (b)

2.8.3 Mosca de la fruta

Las moscas de la fruta son insectos que pertenecen al orden Díptera y a la familia Tephritidae. Algunas especies tienen una extraordinaria capacidad de adaptación al ambiente, que les permite proliferar prácticamente en cualquier tipo de clima: frío, templado, semitropical y desértico.

Los daños directos causados por las larvas en el fruto o indirectos por las limitantes en la comercialización de los productos, ocasionan pérdidas millonarias e incluso pueden provocar la desaparición de zonas frutícolas enteras.

En México se han reportado 32 especies, desde el 2012 el 50.95 % del territorio nacional se considera libre de moscas de la fruta, el 9.78 % como zona de baja prevalencia y el 39.27 % como zona bajo control fitosanitario (Figura 16). Esta plaga afecta a más de 30 especies de frutales que se cultivan en forma comercial, entre ellos el mango. (COVECA. 2011)

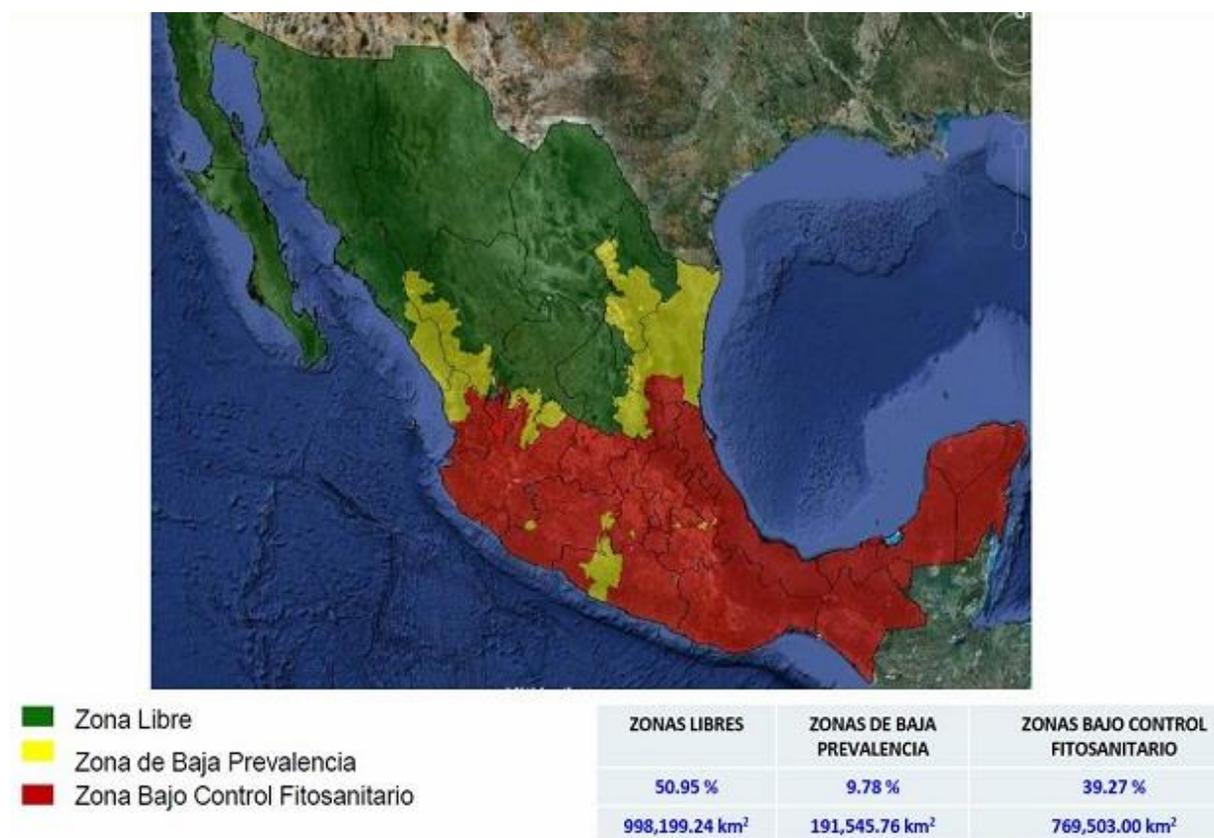


Figura 16. Zonas en México afectadas por la mosca de la fruta (SAGARPA, 2012)

2.8.3.1 Taxonomía de la mosca de la fruta

Cuando la mosca de la fruta se encuentra en su etapa adulta su tamaño es menor que la mosca doméstica (4-5 mm de longitud), presenta colores amarillo, blanco y negro (Figura 17).

Su tórax es gris con manchas negras y largos pelos. El abdomen presenta franjas amarillas y grises. Las patas son amarillentas. Las alas son irisadas, con varias manchas grisáceas, amarillas y negras. Los machos se distinguen fácilmente de las hembras por presentar en la frente una larga seta que termina en una paleta romboide de color negro, carácter que no se encuentra en el resto de las especies de tephritidos de importancia agrícola.

La hembra posee un abdomen en forma cónica terminando en un fuerte oviscapto en el que se insertan abundantes sedas sensoriales amarillas y negras.

De las 195 especies descritas a la fecha, las de mayor importancia económica son: *Anastrepha ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart) (Figura 17),

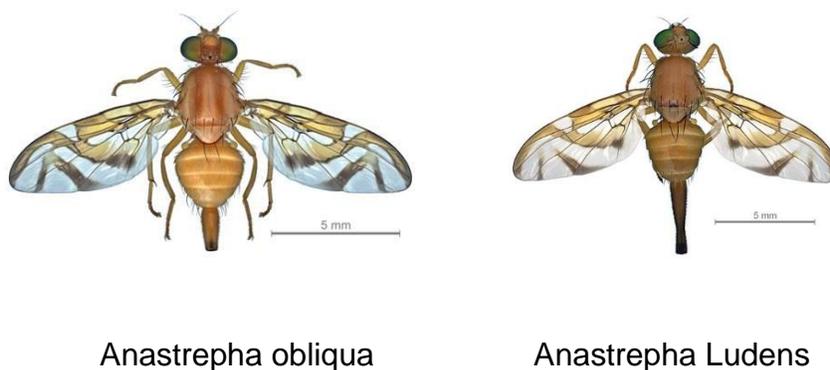


Figura 17. Moscas de la fruta (SAGARPA 2012)

2.8.3.2 Ciclo de vida

- **Huevo:** Es blanco, alargado y ligeramente curvado, que amarillea poco después de su puesta. Su tamaño medio es de 1mm x 0.2 mm. La superficie, lisa a simple vista, presenta una micro-retícula de malla hexagonal. Los huevos eclosionan entre los 2-4 días dependiendo de las condiciones climáticas en condiciones frías, pueden durar hasta 16-18 días en incubación.

- **Larva:** Es pequeña, blanquecina, ápoda y con la parte anterior situada en el extremo agudo del cuerpo, mientras la parte posterior es más ancha y más truncada (Figura 18a). Después de efectuar dos mudas, alcanza su completo desarrollo presentando un color blanco o amarillo con manchas crema,

anaranjadas o rojizas, debidas a la presencia de alimentos en su interior. Su tamaño es de 9 mm x 2 mm. Una vez emergidas, las larvas consumen la pulpa del fruto, dirigiéndose hacia el centro de éste, la vida larvaria se prolonga durante 6-11 días en condiciones favorables. Una vez cumplida esta etapa, la larva madura abandona el fruto, dirigiéndose al suelo mediante saltos característicos que provoca al encorvar su cuerpo, pudiendo eventualmente recorrer cortas distancias buscando un lugar donde pupar.



Figura 18. Larva de la mosca de la fruta (a) e insecto en su etapa adulta (b).

-Pupa: Al encontrar un lugar adecuado, la larva penetra en el suelo unos 2 a 5 cm, transformándose al estado de pupa. Concluida la última muda, la cubierta protectora adopta forma de barril con la superficie lisa y de color marrón (Figura 19a, 19b). Cuando el adulto emerge (entre 6-15 días), el pupario se abre transversalmente a modo de casquete, por uno de los extremos.

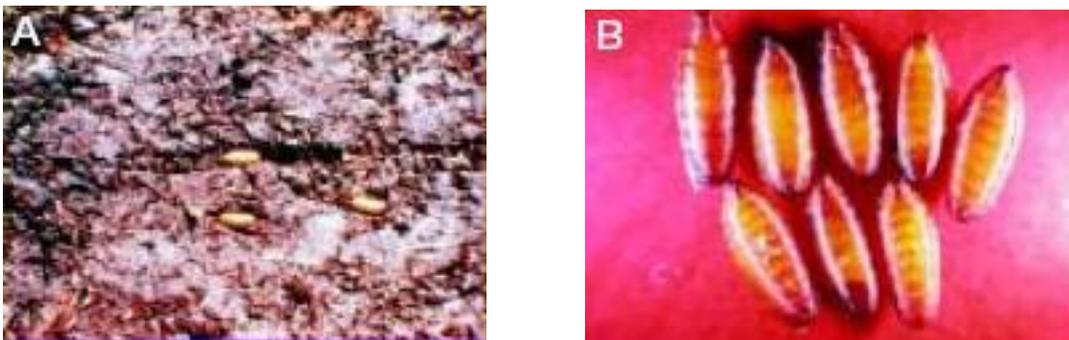


Figura 19. Etapa final del desarrollo de la larva. Pupa de la mosca de la fruta

2.9 Tratamientos cuarentenarios

Los tratamientos cuarentenarios son operaciones que se aplican a ciertas frutas y vegetales, con el objetivo de que estas no porten insectos ni enfermedades. Estos tratamientos son una medida preventiva para evitar la diseminación a otros estados o países, los productos que se deseen exportar a sitios donde no existan dichas plagas deben someterse a la norma NOM-023-FITO-1995. Estas plagas provocan grandes pérdidas indirectas tales como:

- Restricción de exportaciones
- Reducción de calidad del producto
- Costo de tratamientos cuarentenarios
- Contaminación ambiental generada (tratamientos químicos)

Los tratamientos cuarentenarios se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Tratamientos químicos
- Tratamientos no químicos
- Control biológico

2.9.1 Tratamientos químicos

2.9.1.1 Fumigantes

Un fumigante es un producto químico tóxico que llega en forma gaseosa al organismo objetivo. La toxicidad de un fumigante depende de la velocidad de respiración del organismo objetivo. Generalmente, mientras más baja es la

temperatura menor es la velocidad de respiración del organismo, por lo tanto a temperaturas más bajas se requieren de concentraciones más altas del fumigante y un mayor periodo de exposición. (SARH 1994)

Los únicos fumigantes autorizados para fines cuarentenarios son los siguientes:

- Bromuro de metilo (BM)
- Óxido de etileno (OE)
- Fosfina (PH)
- Fluoruro de sulfurilo (FS)

2.9.1.2 Aerosoles

Los aerosoles químicos no son totalmente efectivos para proteger la fruta contra la mosca del Mediterráneo. La puesta de los huevos requiere solo de unos minutos y los residuos químicos no mata a los adultos durante este tiempo.

Los aerosoles basados en líquidos proteicos atraen a los insectos, Malation 50%, Triclorfon 50% y Fention 50%, es un método recomendado para controlar a los adultos en las plantaciones vecinas. Mediante los cebos sirven para engañar a los adultos, especialmente a las hembras, de manera que al comer residuos de los aerosoles químicos provocan su muerte. Para que sea efectivo los aerosoles deben utilizarse en una combinación correcta y buenas prácticas sanitarias. (SARH 1994)

2.9.2 Tratamientos no químicos

2.9.2.1 Tratamiento hidrotérmico

El tratamiento hidrotérmico consiste en calentar la fruta mediante la inmersión en agua a 46.1°C durante 60 – 90 minutos dependiendo de la variedad y calibre de los frutos. Por la facilidad con la que se aplica y los bajos costos de

instalación este es el tratamiento cuarentenario más popular en América Latina (National Mango Board, 2010).

La desventaja de este tratamiento radica en los tiempos tan largos de exposición del fruto ya que se ha reportado que la calidad del mango como el sabor se ven afectados (Gutiérrez *et al.*, 1997) y existen variedades como 'Manila' que no tolera este tratamiento.

2.9.2.2 Irradiación

. El proceso de irradiación consiste en suministrar al producto, ya sea empacado o a granel, una cantidad de energía proveniente de una fuente ionizante durante un tiempo determinado de acuerdo a las características físicas de cada producto, de tal manera que la energía que reciba sea la suficiente para eliminar microorganismos o plagas sin que afecte su estado físico o su frescura. Se trata de un proceso en frío. Existen 3 tipos de radiación ionizante:

- Haces de electrones
- Isótopos radioactivos (rayos gamma de Cobalto-⁶⁰ o Cesio-¹³⁷)
- Rayos X

El más utilizado en alimentos es el Cobalto-⁶⁰ el cual produce radiaciones gamma y posee una vida media de 5.3 años (International Consultative Group on Food Irradiation, 1999, Morehouse y Komolprasert, 2004).

El proceso de irradiación gamma ha sido recomendado por el Grupo Consultivo Internacional para la irradiación de alimentos, integrado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la OMS y el OIEA. El mismo grupo afirma que el proceso de irradiación gamma ha sido la técnica de esterilización más estudiada y que las pruebas practicadas por laboratorios independientes, en todos los casos, han mostrado que los alimentos

irradiados no se vuelven radiactivos, ni se generan residuos químicos durante el proceso.

Mercado-Silva (2010) hace un resumen de los usos potenciales de la irradiación como técnica para la desinfección de productos hortícolas y plantea la problemática de su aplicación, así como también señala los límites a los que hay que irradiar (< 0.6 kGy) distintas variedades de mango para evitar daños por irradiación o desarrollo de tejido esponjoso. (ININ 2010)

A continuación se describe una breve historia de cómo inició la irradiación de alimentos en el mundo

- En 1954, los Estados Unidos de América iniciaron investigaciones sobre irradiación de alimentos a través de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés).
- En 1963, la FDA aprueba la irradiación de trigo, harina de trigo y papas.
- En 1983, la FDA aprueba la irradiación de especias y condimentos.
- En 1985, la FDA aprueba la irradiación de carne de cerdo y en 1990, la de carne de aves de corral para prevenir la triquinosis y la salmonela, respectivamente.
- En 1986, la FDA aprueba la irradiación de frutas y verduras.
- En 1997, la Organización Mundial de la Salud (OMS) avala nuevamente el uso de la irradiación de alimentos, en concordancia con la FDA y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- Al año 2000, más de 50 naciones, incluyendo México, han aprobado la irradiación de alimentos.

2.9.3 Control biológico

El control biológico es la represión de las plagas mediante sus enemigos naturales; es decir, mediante la acción de predadores que son parásitos de las

plagas, llamados también parasitoides, que son insectos que viven a expensas de otro insecto (hospedero) al que devoran progresivamente hasta causarle la “muerte” (COVECA 2011)

Los predadores son insectos benéficos que causan la muerte de las plagas mediante la depredación directa o mediante la parasitación de huevos, larvas, pupas y adultos disminuyendo su población en forma paulatina.

2.9.3.1 Insectos parasitoides

La avispa del barconid (*Opius* sp) (Figura 20) es un parásito utilizado para controlar las moscas de la fruta.

Estos parásitos depositan sus huevos sobre los huevos de las moscas y emergen en fase de crisálidas. Este control biológico no ha sido un método efectivo debido a la dificultad de criar a la *Opius* sp bajo condiciones artificiales.



Figura 20. Avispa del barconid (*Opius* sp)

2.9.3.2 Técnica del insecto estéril

La técnica de los insectos estériles (TIE) es el primer método de control de plagas que se vale de la genética. Es más fácil describirla como una forma de control demográfico aplicado en una zona extensa.

La TIE requiere criar enormes volúmenes de insectos de la especie elegida, en una fábrica, y esterilizar a los machos con dosis bajas de radiaciones. Esos machos estériles de la mosca luego se liberan en las zonas infestadas, donde se acoplan con las hembras silvestres. Si la cantidad de machos estériles supera con creces a los machos silvestres, la población silvestre pronto desaparecerá. La proporción de machos estériles respecto a los machos fértiles debe ser por lo menos de 10:1.

En el estado de Chiapas se encuentra la planta irradiadora Moscamed ubicada en Metapa de Domínguez, donde se esteriliza mediante cobalto-⁶⁰ las pupas de mosca de la fruta a través de exposiciones controladas de rayos gamma aproximadamente 125 Gy durante 36 a 40 horas antes de la emergencia de adultos. Al término de este proceso las pupas estériles son trasladadas al centro de empaque de adulto, donde emergerán para su posterior liberación en el campo. (Trujillo y Ruelas *et al.*, 1999)

El empleo de moscas estériles ha permitido reducir el uso de insecticidas en el control de la plaga y se ha fortalecido la protección al medio ambiente.

2.10 Control de la maduración

2.10.1 Óxido nítrico

El control de la maduración del mango 'Manila' es muy importante para controlar tanto la pérdida de firmeza y calidad visual; se sabe que el óxido nítrico inhibe la biosíntesis de etileno y la actividad de la poligalacturonasa, una de las enzimas responsables del ablandamiento en frutos (Zaharah y Singh 2011).

El óxido nítrico (NO) es un radical libre que se genera en las células de las plantas, pertenece a la familia de especies reactivas de nitrógeno (RNS) posee una química amplia que involucra a una gran variedad de formas redox interrelacionadas con reactividades químicas diferentes. El descubrimiento y la elucidación de sus funciones biológicas en la década de los 80's fue una sorpresa.

El NO fue nombrado “Molécula del año” en 1992 por la revista Science (Koshland, 1992).

Al final de los 80's, la importancia fisiológica del NO en células de animales comenzó a ser completamente entendida, y no pasó mucho antes de que la primera enzima que lo sintetiza fuera caracterizada (Bredt y Snyder 1990).

El NO se establece como una molécula de señalización en muchas especies, en plantas se sabe que regula un amplio rango de procesos. Por ejemplo, regula el cierre de estomas (Neill *et al.*, 2002), inhibe la actividad de ciertas enzimas como las pectinasas (Clarke *et al.*, 2000), reprime la floración (He *et al.* 2004) y reduce la dormancia en las semillas (Bethke, 2006)

También regula la expresión de varios genes involucrados en la síntesis y respuesta del ácido jasmónico (Orozco-Cárdenas y Ryan 2002), promueve la respuesta contra patógenos (Durner, Wendehenne y Klessig 1998). Incrementa la tolerancia al estrés abiótico, tales como sal, temperaturas extremas, UV-B y estrés por metales pesados (Siddiqui *et al.*, 2010). Cuando las plantas son sometidas a estrés por calor y frío, estas incrementan la generación de NO y prolina endógenos, que puede ayudar en el desarrollo de procesos antioxidativos en las células de las plantas (Zhao *et al.*, 2009).

El NO también regula la expresión de varios genes involucrados en la síntesis y respuesta del ácido jasmónico (Orozco-Cárdenas y Ryan 2002), respuesta contra patógenos (Durner, Erndehenne y Klessig 1998). Es una importante molécula de señalización conocida por la inhibición en la producción de etileno durante la maduración de la fruta, incluyendo el mango, lo cual la retrasa (Zaharah y Singh 2011).

La información del efecto del NO en la calidad de frutas es esporádica y limitada. Solo unos pocos experimentos han sido enfocados en este tema,

proporcionando información muy valiosa sobre el papel del NO en el retraso del ablandamiento y de la maduración. Dichos efectos están ligados con la inhibición de la despolimerización de las pectinas y otros polisacáridos con la reducción del daño por frío. Los tratamientos con NO reducen el grado de desintegración de la membrana celular provocando una menor pérdida de electrolitos que resulta en una mejor retención de los componentes celulares como los pigmentos, ácidos orgánicos, sólidos solubles y algunos compuestos antioxidantes, particularmente el ácido ascórbico, que en frutas es uno de los más preciados. Estos efectos se pueden observar tanto en frutas climatéricas como no climatéricas (Tabla 4) donde la vida de anaquel se incrementó de manera significativa en brócoli, kiwi y fresas (182,160 y 147%, respectivamente) con tratamientos de NO en gas (Leshem *et al.* 1998). En manzanas se logró un incremento del 170% de vida de anaquel y en ciruelas se incrementó el 200% utilizando nitroprusiato de sodio (NPS) (Pristijono *et al.*, 1998)

Tabla 4. Aplicación de NO para extender la vida de anaquel.
(Manjunatha *et al* 2010)

Fruta/Hortaliza	Tratamiento	Extensión vida anaquel (%)
Brócoli	NO, gas	182
Pepino	NO, gas	67
Kiwi	NO, gas	160
Champiñón	NO, gas	73
Fresa	NO, gas	147
Ciruela	NPS	200
Manzana	DETANO	170
Lechuga	DETANO	70

En la Figura 21 se muestra un esquema de la producción de etileno, así como los diferentes mecanismos por medio de los cuales, el NO inhibe la producción de este. En Arabidopsis existen 5 receptores de membrana (ETR1, ETR2, ERS1, ERS2 y EIN4), a los cuales puede unirse el etileno, provocando la inactivación de los mismos y al mismo tiempo se inactiva la proteína CTR1 (que se hallaba inhibiendo a la proteína transmembrana EIN 2) por lo que la proteína EIN 2 se

activa, funcionando como un canal de iones, lo que se traduce en una posterior activación del factor de transcripción EIN 3, el receptor así activado inicia una cascada de señalización hacia otras proteínas efectoras (cascada de las MAP cinasas, con destino final a nivel del DNA) la interacción recíproca de NO y peróxido de hidrógeno se presume que afecta a la MAP cinasa, pero hasta el momento esto no ha sido bien establecido (Manjunatha *et al.*, 2012).

Otro de los mecanismos por el cual el óxido nítrico afecta la biosíntesis de etileno es por la inhibición de la síntesis de la S-Adenosil metionina (SAM) por medio de la S-nitrosilación de la metionina adenosil transferasa (MAT) esto impide la formación de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y por lo tanto de etileno (Lindermayr *et al.*, 2006). El NO también inhibe la producción de etileno durante la maduración, debido a la formación de un complejo binario ACCO – NO el cual es quelado por la ACC produciendo un complejo ternario ACC-ACCO-NO muy estable, de esta manera la ACCO no puede oxidar a la ACC por lo cual se inhibe la producción de etileno. (Manjunatha *et al.*, 2010)

Zhu *et al.*, (2006) reportaron un incremento de ACC en duraznos tratados con NO comparado con el control, asimismo observaron una mayor transformación de ACC a MACC que es una reacción irreversible, esto provocó un menor contenido de ACC disponible para ser oxidado, afectando la producción de etileno. Este comportamiento también fue reportado por Meng-Chen *et al.*, 2007, en frutos de durazno que fueron tratados con etileno/óxido nítrico, donde se encontró que la actividad de la ACCS y ACCO fue ligeramente mayor que en los frutos tratados con NO; estos resultados sugieren que el óxido nítrico redujo la síntesis de etileno causada por la aplicación de etileno exógeno mediante la reducción de Cu^{+2} , que es un cofactor en el receptor de etileno ETR1 a Cu^{+} de esta manera se regula la producción de etileno, esto concuerda con Rodríguez *et al.* (1999) quienes reportaron que el ión Cu es un cofactor para el receptor ETR1 en Arabidopsis.

Zaharah y Singh (2011), reportaron que la aplicación de NO suprime la biosíntesis de etileno a través de la inhibición de la actividad de ACCS y ACCO, llevando a una reducción del contenido de ACC en la pulpa del mango, que subsecuentemente reduce la actividad de las enzimas de ablandamiento como la exo-endo-PG y la EGasa durante la maduración en almacenamiento.

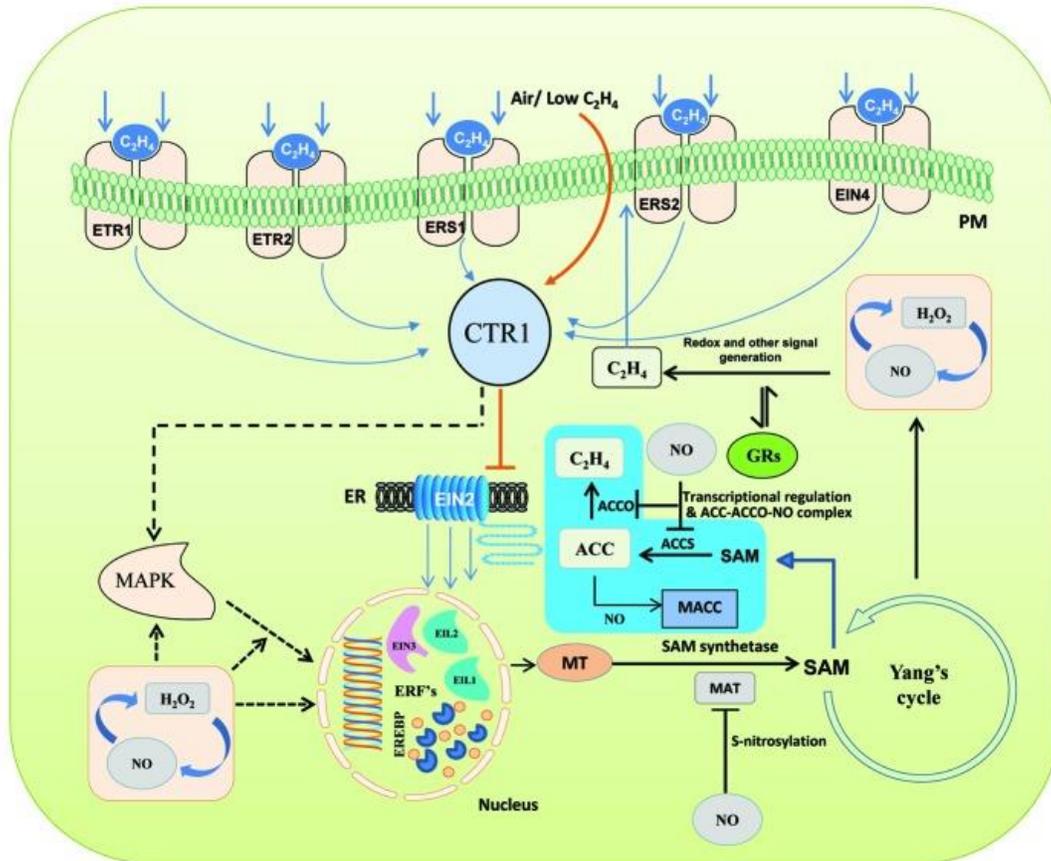


Figura 21. Inhibición de la biosíntesis de etileno por óxido nítrico (Manjunatha y col 2012)

2.10.2 Control de maduración a través de empaques plásticos.

Los empaques microperforados están diseñados para permitir el paso de CO_2 , O_2 , N_2 entre otros, con el fin de balancear la concentración de gases dentro del empaque y evitar que se lleve a cabo la respiración anaerobia pero manteniendo una humedad relativa alta dentro del mismo.

En estudios recientes de Vázquez-Celestino (2012), se ha visto que el uso de bolsas microperforadas, que permiten el intercambio de gases, reducen la pérdida de humedad y trabajan en sinergia con el 1-MCP alargando la calidad visual y la vida de anaquel hasta 18 días del mango 'Manila'. La comparación de tratamientos a los cuales se les aplicó 1-MCP con y sin bolsa demostró que el uso de un inhibidor de la biosíntesis de etileno no es suficiente para cumplir las demandas del consumidor.

Ramin y Khosbakhhat. (2008), reportaron un incremento en la firmeza y una menor pérdida de peso en frutos de lima almacenados con empaques microperforados

2.10.3 Encerado

El mango es un fruto climatérico y tienen una vida en anaquel muy corta. La comercialización de esta fruta se lleva a cabo en un período muy corto, pues es un producto altamente perecedero y susceptible al deterioro causado por desórdenes fisiológicos y patológicos en la poscosecha (Cáceres et al., 2003).

La solución idónea para preservar la calidad global (organoléptica, comercial, microbiológica y nutritiva) de estos productos hortofrutícolas y satisfacer las crecientes exigencias de los mercados internacionales, consiste en mejorar los tratamientos poscosecha. En este sentido, la aplicación de recubrimientos comestibles es una alternativa para mantener la calidad de los frutos ya que mejora su apariencia y prolonga la vida comercial por reducción de la humedad y de la pérdida de peso (Báez *et al.*, 2001; Cáceres *et al.*, 2003).

Algunos frutos son encerados para disminuir la deshidratación y de esta manera mejorar su vida poscosecha, reemplazando las ceras naturales que se perdieron en los lavados así como para sellar pequeñas heridas que pudieran haberse producido durante el manipuleo. Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución

formadora del recubrimiento. También se utiliza como soporte para la aplicación de algunos fungicidas o muchas veces simplemente para mejorar su apariencia incrementando el brillo. Las formadoras del recubrimiento pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (Quintero *et al.*, 2010).

Existen distintos tipos y formulaciones de ceras para ser aplicadas por aspersión, inmersión, goteo, espuma u otras formas. Para una correcta aplicación es necesaria la distribución uniforme de la cera mediante cepillos blandos, rodillos de fieltro o alguna otra manera para asegurar la cobertura total del fruto con un espesor constante. Un exceso de cera puede bloquear el intercambio gaseoso del fruto con el ambiente provocando asfixia y/o acumulación de gases dando lugar a un ennegrecimiento de los tejidos internos así como al desarrollo de malos olores o sabores. Es muy importante que la cera a ser utilizada sea aprobada para consumo humano.

Hoa *et al.*, (2002) probaron 5 tipos de ceras en mango cv. 'Cat Hoa Loc' (Figura 22) una variedad poliembrionica después los almacenaron a temperatura ambiente (27-31°C) y observaron que todas las ceras disminuyeron la pérdida de peso, pero solo una de ellas (Xedabio) incremento la vida de anaquel por 3 días y mantuvo una mayor firmeza.



Figura 22. Mango cv. 'Cat Hoa Loc'

Por otra parte Pérez *et al.* (2005) aplicaron cera a mango cv. 'Tommy Atkins' donde observaron que los frutos tratados presentaron una menor pérdida de peso comparados con el control (4.5 y 5.4 %) así como mayor firmeza (4.3 kgF y 3.4 kgF) respectivamente.

2.11 Pared celular

La pared celular de las plantas es una estructura compleja involucrada en la determinación del tamaño y forma celular, crecimiento y desarrollo, comunicación intracelular y la interacción con el medio. La pared primaria está compuesta principalmente por polisacáridos (celulosa, hemicelulosa y pectinas), enzimas y proteínas estructurales. Las pectinas son un grupo muy heterogéneo de polímeros que incluye homogalacturanos y ramnogalacturanos I y II (Cartaya *et al.* 2009)

Está ampliamente aceptado que las pectinas son polimerizadas en la parte cis del aparato de golgi, metilesterificadas en la parte media y sustituida con cadenas laterales en la parte trans del aparato de Golgi (Goldberg, *et al.*1996)

Las pectinas son secretadas hacia la pared como formas altamente metilesterificadas. Subsecuentemente, pueden ser modificadas por las pectinasas como la pectinmetilesterasa (PMEs), que cataliza la demetilesterificación de homogalacturanos liberando pectinas acidificadas y metanol. (Figura 23)

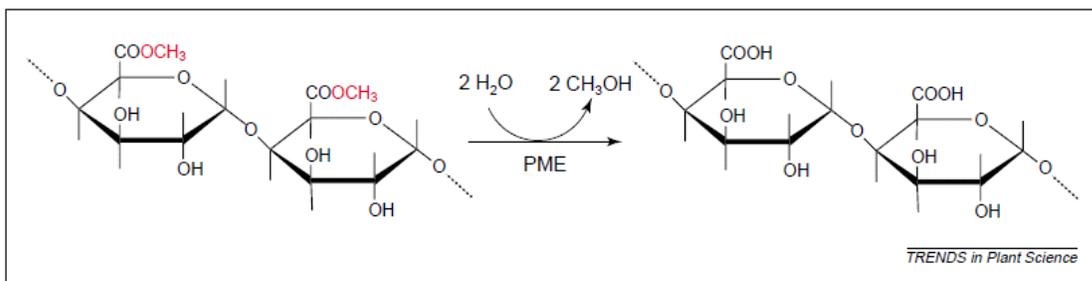


Figura 23. Modo de acción de PME (Micheli, F. 2001)

2.12 Pectin metil esterasa (PME)

La pectin metil esterasa cataliza la de-metilación del grupo carboxilo en la posición C-6 de los residuos de ácido galacturónico de las pectinas de alta masa molecular. Esta de-metilación cambia el pH y la carga de la pared celular, permitiendo la agregación de los poliuronidos a través de puentes de Ca^{2+} y tornándolos más susceptibles a la degradación por poligalacturonasas (Brummell y Harpster, 2001).

Díaz-Sobac et al. (1997), reportaron una disminución significativa de la actividad de la PE en frutos de mango 'Manila' encerados, también reportaron que no hubo relación entre la actividad de esta enzima con el ablandamiento del fruto. Lira et al. (2008) reportaron que la actividad de esta enzima decrece durante el tiempo de almacenamiento y no detectaron variación durante el almacenamiento del mango 'Manila'

2.13 Poligalacturonasa

La poligalacturona se encuentra involucrada en el desensamblaje de las pectinas de la pared celular que caracteriza distintos procesos del desarrollo de las plantas. La actividad poligalacturonasa fue asociada a procesos tales como la abscisión de órganos (Bonghi *et al.*, 1992), dehiscencia de vainas y anteras (Meakin y Roberts, 1991) y especialmente con la maduración de los frutos (Hadfield *et al.*, 1998; Brummell y Harpster, 2001; Asif y Nath, 2005).

Catalizan la hidrólisis de los enlaces α -(1-4) que mantienen unidos a los residuos de ácido galacturónico. Estas enzimas pueden ser de acción exo o endo. Las exo-poligalacturonasas remueven unidades simples de ácido galacturónico a partir del extremo no reductor del ácido poligalacturónico. En cambio, las endo-poligalacturonasas rompen dicho polímero en posiciones internas al azar (Brummell y Harpster, 2001). Se ha determinado que las PGs muestran una mayor afinidad por la forma de-esterificada de las pectinas, por lo tanto se postula que

estas últimas serían primeramente de-metiladas de modo de convertirse en un sustrato adecuado para la acción de las PGs (Brummell y Harpster, 2001).

De acuerdo a los antecedentes anteriores, el presente trabajo se enfocó al estudio del uso de un inhibidor de la síntesis de etileno, el NO, y el uso de recubrimientos plásticos y cereos para alargar la vida de anaquel del mango 'Manila' y mejorar sus expectativas en el comercio internacional

III. JUSTIFICACIÓN

El mango Manila ocupa el segundo lugar de la producción de mangos en México, es un fruto que supera en calidad sensorial a otras variedades producidas en el país como 'Ataulfo', 'Haden', 'Tommy Atkins', 'Kent', pero posee un metabolismo tres veces más acelerado, lo cual reduce su vida de anaquel a 14 días en condiciones de refrigeración; así mismo también posee una piel más delgada y metabólicamente muy activa que la hace muy susceptible al manejo mecánico y a la pérdida de calidad visual por lo que esta variedad solo participa marginalmente en el mercado de exportación. Por ello es necesario investigar la aplicación de nuevas técnicas que permitan alcanzar una vida de anaquel de 21 días y mejorar sus propiedades físicas necesarias para incrementar su participación en el mercado de exportación.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del regulador de la maduración y de controladores de la transpiración como medios para alargar la vida de anaquel de mango (*Mangifera indica* L.) cv. 'Manila'.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la concentración y tiempo de exposición al óxido nítrico en el proceso de maduración de mango 'Manila'.
- Evaluar el efecto combinado de la aplicación de óxido nítrico y empaques microperforados en la maduración y calidad de frutos de mango 'Manila irradiados.
- Evaluar el efecto de la aplicación del óxido nítrico y recubrimientos céreos en la calidad y la vida de anaquel del mango 'Manila'.

V. METODOLOGÍA

El desarrollo del presente trabajo incluyó estudiar el efecto de un inhibidor de la síntesis de etileno (óxido nítrico); en conjunto con el uso de películas plásticas y recubrimientos céreos para retrasar la pérdida de peso y mantener la firmeza de frutos de mango 'Manila' almacenados en refrigeración.

La disponibilidad de materiales no coincidió en el tiempo; por ello la experimentación se realizó en dos fases experimentales:

5.1 Experimento 1

En esta etapa se estudió el efecto de la aplicación de óxido nítrico en combinación con el uso de empaques plásticos microperforados y temperatura de almacenamiento en la conservación de frutos de mango 'Manila' sometidos a irradiación.

5.2 Experimento 2

En este experimento se estudió el efecto de la aplicación del óxido nítrico en combinación con la aplicación de un recubrimiento céreo y temperatura de almacenamiento en la conservación de frutos de mango 'Manila'.

5.3 Materiales

5.3.1 Material biológico

Los frutos de mango 'Manila' de ambos tratamientos procedieron de huertos de la zona de producción de mango del Estado de Guerrero.

5.3.1.1 Experimento 1

Durante el mes de agosto de la temporada 2012, se cosecharon frutos de mango cv. 'Manila' en madurez fisiológica ($\frac{3}{4}$) procedentes de un huerto certificado para exportación, El Llano, el cual está ubicado en la comunidad de San Luis de la Loma, del Municipio de Tecpan de Galeana, en el Estado de Guerrero. El estado de madurez de los frutos se identificó mediante los criterios convencionales de cosecha utilizados por los productores que incluyen el llenado de los hombros de los frutos, el color de la piel, así como la apariencia de las lenticelas. Los frutos cosechados, fueron colocados en cajas de plástico y llevados a un empaque para ser enfriados con agua corriente, posteriormente se transfirieron a cajas de exportación de 10 lb, se enfriaron en una cámara a 13 °C por seis horas y finalmente se transportaron a la planta de irradiación BENEION en Matehuala San Luís Potosí.

5.3.1.2 Experimento 2

Se utilizaron frutos de mango cv. 'Manila' de la misma zona de producción del Estado de Guerrero, los cuales se transportaron a la Central de Abastos de Querétaro; una vez en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Pre y Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la UAQ, se seleccionaron mediante los mismos criterios de clasificación utilizados para los frutos del Experimento 1.

5.4 Estrategia general

5.4.1 Experimento 1

La estrategia experimental que se siguió para la realización del primer experimento se muestra en la Figura 24. Se eligió una empacadora de mangos calidad exportación cv 'Manila' en cuyo huerto se cosecharon mangos en madurez fisiológica o $\frac{3}{4}$; estos fueron seleccionados por calidad (ausencia de defectos) y clasificados por tamaño seleccionándose solamente frutos de calibre 16 los cuales

fueron empacados en cajas de exportación de 10 lb. Después los frutos se transportaron a la planta irradiadora industrial ubicada en Matehuala, SLP para ser irradiados con 0.3 – 0.6 kGy y posteriormente transportados al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la UAQ.

En este laboratorio, los frutos fueron desempacados e identificados para posteriormente aplicarles los diferentes tratamientos considerados en el estudio, después de aplicados los tratamientos; los frutos fueron colocados dentro de empaques microperforados y nuevamente empacados en las cajas de exportación.

Las cajas de fruta se almacenaron a 13 y 20°C. Cada cuatro días se tomaron muestras de frutos para ser analizadas las variables respuesta. Los factores de estudio fueron la aplicación, o no, del inhibidor de la síntesis de etileno, el óxido nítrico; la aplicación o no, del tratamiento por irradiación; la aplicación o no, del empaque microperforado y el almacenamiento a dos temperaturas (13 y 20°C).

Los muestreos se realizaron cada 4 días, tres réplicas de tres frutos por tratamiento se analizaron de su calidad visual, daño por antracnosis, pérdida de peso, color interno-externo, firmeza, sólidos solubles totales y acidez titulable. En cada muestreo se tomaron muestras de frutos mantenidos a 13°C y se transfirieron a 20°C los cuales fueron analizados después de cuatro días adicionales para simular un manejo comercial.

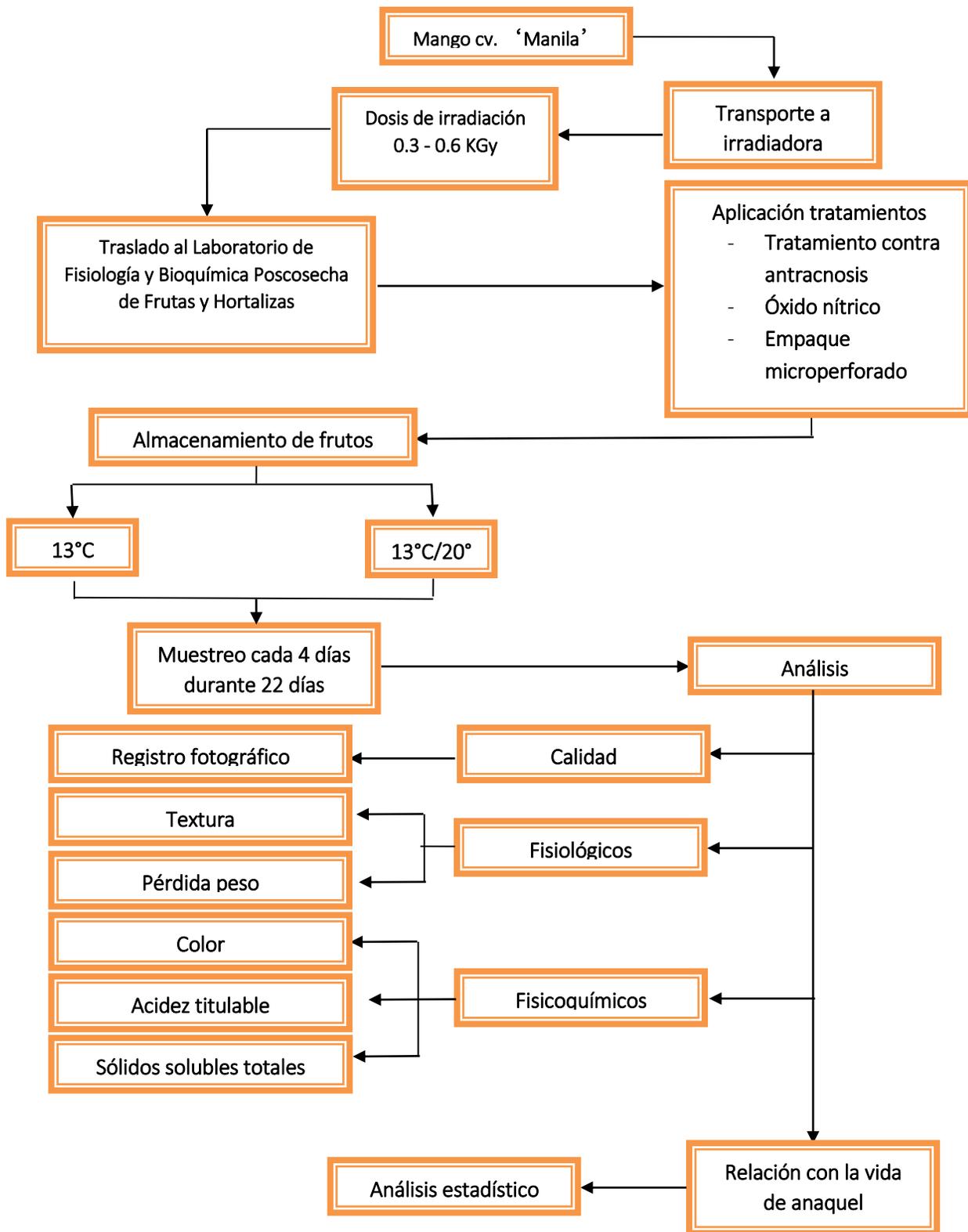


Figura 24. Estrategia general seguida durante el experimento 1.

5.4.2 Experimento 2

La estrategia general seguida en este experimento se muestra en la Figura 25. Después de seleccionados los frutos por calidad y tamaño (calibre 16) en la Central de Abastos de Querétaro, estos se transportaron al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas en la UAQ en donde se aplicaron los diferentes tratamientos considerados. Los Factores de estudio fueron la aplicación o no de la cera, aplicación o no del inhibidor de la síntesis de etileno, óxido nítrico, y temperatura de almacenamiento con sus respectivas combinaciones. Después de aplicados los tratamientos, los frutos fueron empacados en las cajas de exportación. Posteriormente las cajas se almacenaron a las distintas temperaturas de conservación. En cada muestreo se tomaron muestras de frutos mantenidos a 13°C y se transfirieron a 20 °C los cuales fueron analizados después de cuatro días adicionales simulando un manejo comercial. Los muestreos se realizaron cada 4 días, tres réplicas de tres frutos por tratamiento fueron analizadas en su calidad visual, daño por antracnosis, pérdida de peso, color interno y externo, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y actividad enzimática.

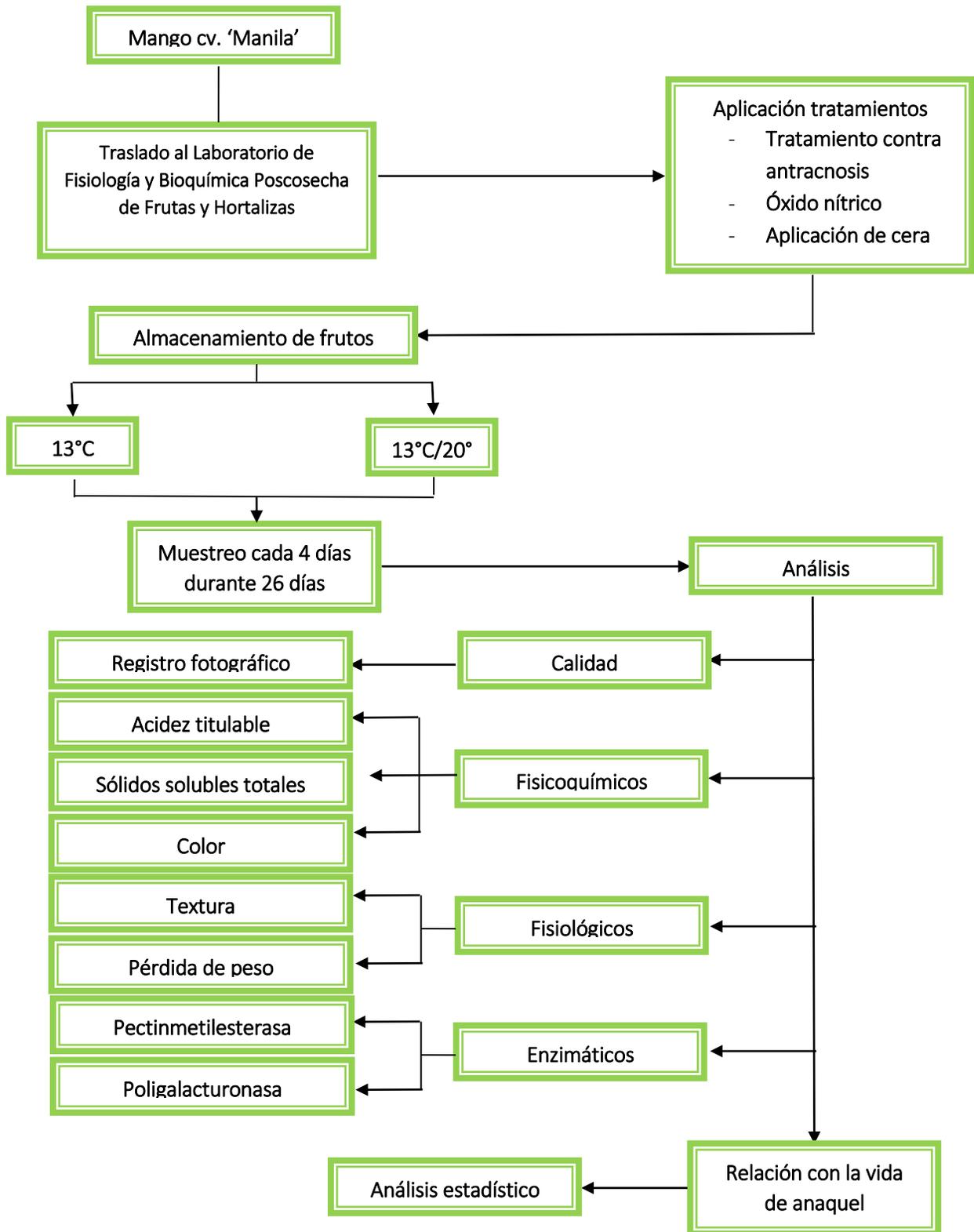


Figura 25. Estrategia general seguida durante el experimento 2.

5.5 Diseño experimental

5.5.1 Experimento 1

Se llevó a cabo un diseño factorial de parcelas divididas de cuatro factores a dos niveles 2x2x2x2 (Tabla 5). Siendo los factores de estudio: Irradiación, óxido nítrico, temperatura de almacenamiento y empaque plástico microperforado, todos con dos niveles (con y sin la aplicación del factor). Las variables de respuesta fueron: firmeza, calidad visual, color interno y externo, acidez titulable y sólidos solubles totales. La matriz experimental se constituyó en 16 tratamientos, la unidad experimental fueron 3 mangos con 3 réplicas (9 mangos por tratamiento) dando un total de 144 mangos analizados en cada muestreo. En el día 0 se tomaron 9 mangos para realizar los análisis indicados; posteriormente se realizaron 5 muestreos a los 6, 10, 14, 18 y 22 días de almacenamiento. El total de frutos analizados fue de 729 equivalentes a 54 cajas de exportación de 10 lb.

Tabla 5. Diseño experimental aplicado en Experimento 1

CI	CNO	CB	13
CI	CNO	CB	T
CI	CNO	SB	13
CI	CNO	SB	T
CI	SNO	CB	13
CI	SNO	CB	T
CI	SNO	SB	13
CI	SNO	SB	T
SI	CNO	CB	13
SI	CNO	CB	T
SI	CNO	SB	13
SI	CNO	SB	T
SI	SNO	CB	13
SI	SNO	CB	T
SI	SNO	SB	13
SI	SNO	SB	T

	IRRADIADOS (CI)
	NO IRRADIADOS (SI)
	CON EMPAQUE MP (CB)
	SIN EMPAQUE MP (SB)

	CON ÓXIDO NÍTRICO (CNO)
	SIN ÓXIDO NÍTRICO (SNO)
	ALMACENAMIENTO 13°C (13)
	TRANSEFERENCIA A 20°C (T)

5.5.2 Experimento 2

Se llevó a cabo un diseño factorial con tres factores: aplicación de cera, aplicación de óxido nítrico y temperatura de almacenamiento, con dos niveles cada uno (con y sin la aplicación del factor), como se muestra en Tabla 6,

La matriz experimental generada fue de ocho tratamientos (Tabla 6). La unidad experimental fueron 3 mangos con 3 réplicas dando un total de 9 mangos analizados por cada tratamiento y por fecha de muestreo. Se tomaron 9 frutos en el día 0 y se realizaron un total de 6 muestreos ubicados en los días 6, 10, 14, 18, 22 y 26 de almacenamiento dando un total de 72 mangos por cada muestreo.

Tabla 6. Diseño experimental aplicado en el Experimento 2



Los datos obtenidos de ambos experimentos fueron expresados como la media \pm el error estándar. La evaluación estadística de los datos se determinó mediante el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, y cuando hubo diferencias estadísticas significativas se realizó una comparación de medias aplicando la prueba Tukey con α 0.05. Los resultados se analizaron con el paquete estadístico JMP 5.0.1.

5.6 Métodos aplicados

5.6.1 Tratamiento de irradiación.

El experimento 1 incluyó la aplicación de un tratamiento fitosanitario de irradiación en el que se aplicó una dosis dentro de un rango de 0.3 – 0.6 kGy. Para realizar este tratamiento se separó la mitad de los frutos cosechados (27 cajas de 10 lb) las cuales fueron colocadas al centro de una tarima comercial de 120 X 120 cm, la estabilización de las cajas se logró mediante cajas de plástico que rodeaban las cajas de mango (Figura 26). La tarima así formada se colocó en los transportadores automáticos del sistema de irradiación que constaba de una fuente de irradiación gamma de Co^{60} . Con la potencia de irradiación de la fuente y la velocidad de los transportadores de tarimas, se calculó el tiempo necesario para que la dosis recibida por las cajas fuera de 0.3 a 0.6 kGy. Esta dosis debía ser alcanzada exponiendo cuatro veces cada lado de la tarima a la fuente de irradiación durante aproximadamente 6 minutos. Las instalaciones de irradiación utilizadas fueron facilitadas por la Compañía Benebion[®] ubicada en Matehuala, San Luis Potosí. La dosis recibida por cada caja se registró mediante la colocación de dosímetros de alanina, ubicados en las cajas centrales de la tarima (Figura 26), el cálculo del tiempo de exposición se definió para el sitio menos expuesto a la fuente de irradiación y en ese punto la dosis no debería ser menor de 0.3 kGy. Además de los dosímetros ubicados en las cajas, también se colocaron otros cuatro dosímetros en los exteriores de la tarima para cuantificar la dosis máxima recibida la cual no debía superar 0.6 kGy (Mercado-Silva, 2010).

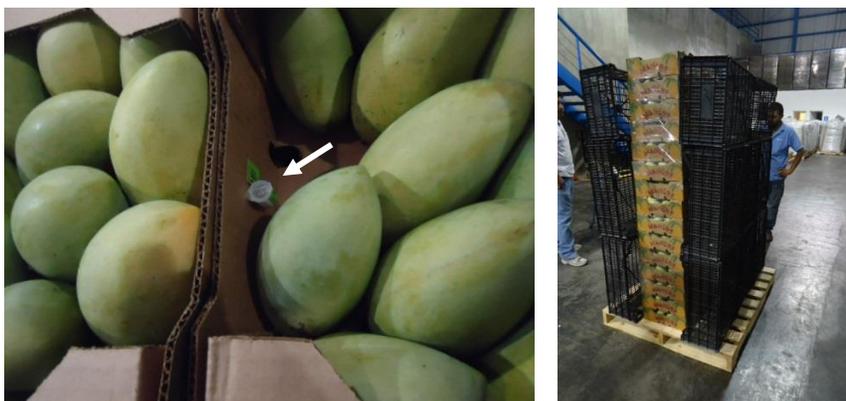


Figura 26. Posición de dosímetros durante el tratamiento de irradiación

5.6.2 Establecimiento de condiciones de uso del inhibidor de la síntesis de etileno, óxido nítrico (NO).

Aunque solo hay un reporte del uso del óxido nítrico en mango 'Kensington' (Zaharah y Singh, 2011), las condiciones de uso para mango 'Manila' no habían sido determinadas; por ello fue necesario realizar experimentos previos para establecer las condiciones adecuadas de uso óptimo de este compuesto. El compuesto generador de NO fue el nitroprusiato de sodio (NPS) disuelto en agua; por ello el NO generado por el compuesto debería entrar a los frutos y la capacidad para penetrar al fruto estaría directamente relacionada con la concentración del compuesto, el tiempo de exposición y la presión del sistema.

5.6.2.1 Establecimiento de la concentración, tiempo de exposición y presión del sistema.

Para establecer estas condiciones se partió de los datos proporcionados por Cheng *et al.* (2009) y alrededor de ellos se estableció un procedimiento experimental para fijar las mejores condiciones de uso para el mango 'Manila'. La Tabla 7 señala las condiciones evaluadas para identificar las más adecuadas para este fruto. Lotes de frutos de mango fueron sumergidos a diferentes concentraciones de NPS (1, 2, 3 y 5 mM) bajo diferentes condiciones de presión de vacío a (10, 15 y 20 inHg equivalentes a 34, 50 y 68 KPa respectivamente)

durante 3 y 5 minutos. Todos los tratamientos se llevaron a cabo a temperatura ambiente (21 ± 1 °C).

Tabla 7. Condiciones experimentales de concentración de NPS, presión de vacío y tiempo de exposición para establecer la mejor condición de uso del NPS.

Concentración NPS (mM)	Presión de vacío (in Hg)	Tiempo (min)
1	10	3
1	15	3
1	20	3
1	10	5
1	15	5
1	20	5
2	10	3
2	15	3
2	20	3
2	10	5
2	15	5
2	20	5
3	10	3
3	15	3
3	20	3
3	10	5
3	15	5
3	20	5
5	10	3
5	15	3
5	20	3
5	10	5
5	15	5
5	20	5

Los frutos después de tratados, fueron escurridos y secados al aire y almacenados a 20 °C durante 6 días evaluándose la calidad visual de los frutos; aquel tratamiento con la mejor calidad visual (ausencia de daños externos) fue elegido para los siguientes experimentos.

5.6.2.2 Establecimiento de tiempo de exposición del NPS a la luz para incrementar liberación de NO.

Frank *et al.* (1976) y Arnold *et al.* (1984) indicaron que la liberación de NO a partir d NPS es un proceso dependiente de la intensidad de luz así como del tiempo de exposición a la misma y señalan la siguiente expresión que permite cuantificar la degradación del NPS y por tanto la generación de NO:

$$\% \text{ NPS degradado} = (E - 20.4) / 0.8$$

Donde:

E = Absortividad molar calculada mediante la expresión

$$E = A / b c$$

Donde A = Absorbancia de la solución a 394 nm

b = tamaño de la celda (1 cm)

c = Concentración molar de la solución (M)

La absortividad es la cantidad de luz absorbida por una disolución y se define como una unidad de absorbancia por unidad de concentración por unidad de longitud de la celda que atraviesa un rayo de luz a una determinada longitud de onda.

La absortividad molar del NPS a 394 nm es de 20.4, y se considera que un incremento de 0.8 unidades de absorbancia indica la pérdida del 1% de NPS.

En base a estas indicaciones; se prepararon dos soluciones independientes de NPS con una concentración conocida (se eligió aquella concentración que mostró los mejores resultados del inciso anterior, 1mM); estas se expusieron durante 3 y 6 horas bajo iluminación de laboratorio (20 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) después de dichos tiempos, las soluciones fueron utilizadas para sumergir frutos

de mango que se sometieron a la mejor condición de presión de vacío y tiempo obtenidos en la sección anterior.

5.6.2.3. Cuantificación de óxido nítrico

La concentración de NO por el NPS se midió de manera indirecta mediante la cuantificación de nitritos generados utilizando la reacción de Griess (Giraldo *et al.*, (2003), la cual se basa en la formación de un colorante azo púrpura-rojizo, producido a valores de pH entre 2.0 y 2.5, por acoplamiento de sulfanilamida diazotizada con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina. Se preparó una curva patrón con las siguientes concentraciones de NaNO₂: 10, 20, 40, 60, 80 y 100 µg/L, posteriormente, se añadió 0.8 mL del reactivo A (ácido sulfanílico al 1% en ácido fosfórico al 5%) y 15 min después 0.8 mL del reactivo B (N-1 naftiletilenediamina al 0.1% en agua destilada); los tubos se dejaron en reposo 20 min para luego medir su absorbancia a 546 nm.

5.6.3 Aplicación del inhibidor de la síntesis de etileno, NO.

5.6.3.1 Experimento 1

La mitad de los mangos irradiados y no irradiados se sometieron a un tratamiento con NPS, un donador de óxido nítrico. Primero se preparó una solución de NPS a 1 mM la cual se consideró la mejor concentración en experimentos preliminares ya que esta no provocó daños en la piel. Se colocaron 4 recipientes de 19 litros, cada uno con 27 frutos sumergidos en 7 litros de la solución donadora, en una cámara de vacío a 10 inHg durante 3 minutos, el proceso se repitió para cada replica (Figura 27). La solución donadora se preparó individualmente para cada ocasión asegurando que la concentración fuera la misma para cada tratamiento, de la misma manera pero con agua destilada se llevó a cabo el tratamiento control.



Figura 27. Aplicación del nitroprusiato de sodio experimento 1.

5.6.3.2 Experimento 2

La mitad de todos los frutos se sometieron a un tratamiento con NPS, el cual fue expuesto a la luz $20 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ durante 3 horas. Se colocaron 4 recipientes de 19 litros con 27 frutos, sumergidos en 7 litros de la solución donadora de NO, en una cámara de vacío a 10 inHg durante 3 minutos, el proceso se repitió para cada replica y se llevó de la misma manera para los tratamientos control con agua destilada en lugar de la solución donadora.

5.6.4 Tratamiento general para evitar el desarrollo de antracnosis en los frutos

5.6.4.1 Experimento 1

Para evitar el desarrollo del hongo causante de la alternaria, *Colletotrichum gloesporoides*, se aplicó un tratamiento hidrotérmico previamente establecido en el laboratorio. Cinco cajas de plástico conteniendo frutos de mango se colocaron dentro de una tina de acero inoxidable con chaqueta térmica para vapor de 1000 litros, de capacidad la cual contenía agua a $53 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 28). Los frutos se mantuvieron en esa condición durante 6 minutos; la temperatura del baño de agua se mantuvo constante durante el tratamiento. Al finalizar el tiempo establecido, los frutos se llevaron a otra tina que contenía agua a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ donde permanecieron durante 10 minutos, este enfriamiento se realizó con el objeto de que el fruto retornara a su temperatura inicial y su metabolismo no se incrementara.



Figura 28. Tratamiento hidrotérmico contra antracnosis y enfriado de los frutos.

5.6.4.2 Experimento 2

Para los frutos destinados a la aplicación de NO y cera, se aplicó el mismo tratamiento térmico de control de antracnosis. Los frutos se colocaron en una marmita de 70 litros, que previamente estaba cargada con agua a 53°C donde se trataron de acuerdo al procedimiento previamente descrito.

5.6.5 Empaque en bolsas microperforadas

Con el objeto de disminuir la pérdida de humedad de los frutos se utilizaron bolsas microperforadas de la marca PrimePro® las cuales tenían un espesor de 48 micras, y una densidad de microperforaciones de 40,401 perforaciones por m². De acuerdo con el fabricante, el plástico de estas películas, tienen un índice de transmisión de oxígeno de 51,00 cc/m²/24 h, un índice de transmisión de dióxido de carbono de 21,979 cc/m²/24 horas y un índice de transmisión de vapor de agua de 11.4 g/m²/24 horas. La colocación de los empaques microperforados, se realizó en 3 cajas de exportación por tratamiento, 1 para cada replica, en ellas se colocaron 18 mangos y la bolsa fue atada con un cincho de plástico (Figura 29)



Figura 29. Vista de tratamientos con y sin bolsa microperforada.

5.6.6 Tratamiento con cera

Se aplicó la cera de la marca 'Charol Mango' que aunque se ha utilizado para otras variedades de mango, en mango 'Manila' no se ha empleado. El tratamiento de encerado consistió en recubrir la superficie de los frutos con esta cera utilizando una esponja suave procurando cubrir la totalidad del fruto desde la zona pedúncular hasta la distal. Después del tratamiento los frutos se dejaron secar a temperatura ambiente (Figura 30).



Figura 30. Aplicación manual de cera y secado a temperatura ambiente de frutos de mango 'Manila' encerados

5.7 Métodos empleados

5.7.1 Propiedades físicas

5.7.1.1 Pérdida fisiológica de peso

Al inicio del periodo de almacenamiento de cada uno de los tratamientos aplicados, todos los frutos fueron identificados y pesados en una balanza digital (Ohaus Scout Pro 400 g x 0.01 g). Al momento de tomar las muestras durante los muestreos, se verificó la identificación de cada fruto y nuevamente se pesó y se registró el peso final; la diferencia entre el peso inicial y final fue el peso perdido y esta diferencia se comparó con el peso inicial y el resultado se expresó como % de pérdida de peso respecto del peso inicial del fruto.

5.7.1.2 Firmeza

La firmeza de las frutos se midió 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 mm s^{-1} hasta alcanzar una deformación del 3 % respecto del diámetro ecuatorial máximo del fruto; el equipo registró la fuerza máxima en newtons y la deformación en milímetros alcanzada por la muestra. Dado que la orientación de la muestra en el texturómetro pudo cambiar los resultados; los frutos a analizar se colocaron siempre en la misma posición; cada fruto se colocó horizontalmente sobre una placa plana de aluminio con el extremo pedúncular orientado hacia el analizador y el pico del fruto girado a la derecha del analizador.

5.7.1.3 Calidad visual

La calidad visual de la muestra se registró por medio de fotografías del fruto íntegro y de la pulpa, haciendo un corte vertical y sin llegar el hueso, de cada uno de los frutos analizados durante todos los muestreos realizados. El conjunto de fotografías fue organizado por muestreo y por tratamiento para analizar de manera subjetiva el estado de calidad de los frutos.

5.7.1.4 Color

Se midió el color externo e interno de la zona ecuatorial del fruto y de la zona más cercana a la semilla respectivamente (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°. Con estos valores se calculó el índice de matiz o valor Hue y la cromaticidad o valor C*.

5.7.2 Métodos químicos utilizados

5.7.2.1 Acidez titulable

La medición de la acidez titulable se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (1998); a 5 g de tejido fresco se les adicionó 20 mL de agua destilada, posteriormente se homogenizó en un homogenizador ULTRA-TURRAX T25 durante 10 s a 13500 rpm, el homogeneizado se filtró y del filtrado se tomó una alícuota de 5 mL que fueron titulados 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:

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

5.7.3 Métodos para medir actividad enzimática

En los respectivos muestreos, la pulpa de los frutos fue congelada con Nitrógeno líquido y conservadas a -75 °C hasta su análisis.

5.7.3.1 Actividad de Pectin Metil Esterasa (PME)

5.7.3.1.1 Procedimiento de extracción

Se homogenizaron 5 g de pulpa congelada a los que se les añadió 25ml de solución amortiguadora Tris-HCl 0.25M, con 0.3M de NaCl a pH 8.0; y se homogeneizó en Ultraturrax T25 a 16,000 rpm durante 10 segundos, el homogenizado se mantuvo en agitación durante 2h a temperatura ambiente y posteriormente se centrifugó a 4°C durante 25 min a 16000g (Rodríguez-Felix *et al.*, 2011), el sobrenadante se consideró como el extracto crudo.

5.7.3.1.2 Determinación de la actividad de PME

La actividad de la PME se determinó midiendo la velocidad de desmetilación o de formación de grupos carboxilo de la pectina por valoración con NaOH según el método descrito por Rouse y Atkins (1955). Se utilizó una solución de pectina cítrica comercial al 1 % (p/v) en NaCl 0.1M a pH 7 como sustrato de la enzima, utilizando 20ml de la solución de pectina. El pH se ajustó a 7.0 con NaOH 0.025 N o con HCl 0.02 N antes de la adición de 2.5ml del extracto enzimático. La mezcla se valoró con NaOH 0.025 N hasta alcanzar un pH de 7 representando la cantidad de NaOH necesario para neutralizar los grupos carboxilos liberados y mantener el pH. La temperatura del análisis fue controlada en un baño de agua con circulación a 30 °C. La solución de pectina y el NaOH se mantuvieron a la temperatura mencionada durante al menos 10min antes de la adición del extracto enzimático. Los resultados se expresaron como unidades de actividad de PME. Una unidad de actividad se definió como la cantidad de enzima capaz de catalizar el consumo de 1 μ equivalente de éster hidrolizado por minuto y por ml del extracto.

5.7.3.2. Actividad de Poligalacturonasa (PG)

5.7.3.2.1 Extracción de la enzima

La extracción se realizó según el método descrito por Buesher y Furmansky (1978) con algunas modificaciones, la enzima se extrajo homogenizando 5 g de pulpa congelada en una solución NaCl 0.5M y polivinilpirrolidona al 1% en un homogenizador Ultraturrax T25 durante 15 segundos. El homogeneizado se centrifugó a 12000g por 15 min a 2°C después de esto el sobrenadante se filtró a través de cuatro capas de manta de cielo.

5.7.3.2.2 Determinación de la actividad PG

A 0.1mL del extracto enzimático se le añadió 0.4ml de NaCl 0.15 M la mezcla se incubo a 30°C durante 10 min, después de esto se inició la reacción agregando 0.5ml de ácido poligalacturónico al 1% en acetato de sodio 0.1M a pH 4.5 y se incubo a 37°C durante 30 min. Para medir los grupos reductores se añadieron 2ml de un tampón de boratos y 0.3 ml de una solución de 2-Cianocetamida al 1% e inmediatamente se colocó en agua hirviendo durante 10 minutos para detener la reacción, después se dejó enfriar y se midió la absorbancia a 276nm. Para cada muestra se realizó un blanco al cual se le agregaron los mismos compuestos e inmediatamente se incubo en agua hirviendo durante 10 minutos.

5.7.4 Cuantificación de proteína en el extracto crudo

Para estimar la actividad específica de las enzimas se cuantificó la proteína en el extracto crudo por el método de Bradford (1976). Para esto se preparó una solución estándar de seroalbúmina bovina a una concentración de 2 mg/mL, a partir de esta solución, se preparó una curva de calibración de 0 a 100 µg, ajustando el volumen a 100 µL con agua destilada. Para el blanco, se utilizó únicamente agua destilada. En la placa, se colocó la curva de calibración así como la muestra a analizar y se adicionaron 200 µL 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 DISCUSIONES

6.1 EXPERIMENTO 1

6.1.1 Identificación de las condiciones óptimas de aplicación de NPS

De acuerdo al procedimiento experimental propuesto, se probaron diferentes concentraciones de NPS (donador de NO) a diferentes presiones de vacío y tiempos. La Figura 31 muestra que concentraciones mayores de 1 mM de NPS causaron lesiones en la superficie de los frutos. La Figura 32 muestra el daño ocasionado por concentraciones de 3 y 5 mM independientemente del tiempo de la aplicación de vacío a 15 inHg; las lesiones parecían daños por necrosis de la epidermis.

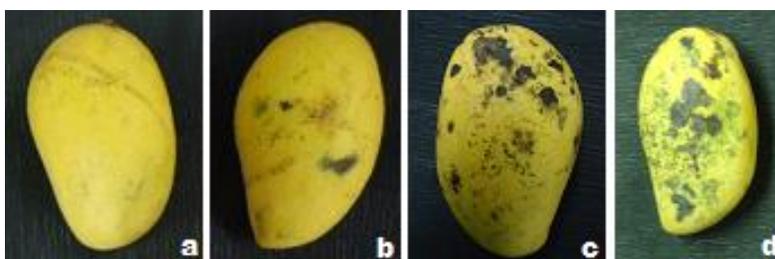


Figura 31. Daños causados por la aplicación de NPS a concentraciones de 1, 2, 3 y 5 mM (a, b, c y d respectivamente) a 10 inHg. durante 5 minutos.

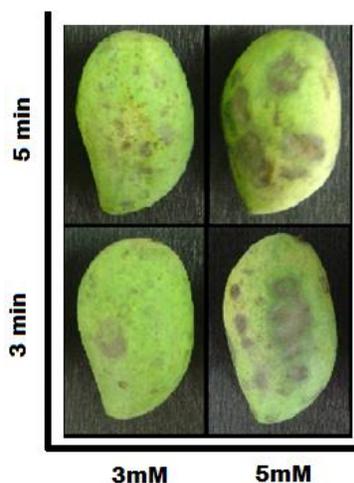


Figura 32. Daños causados por la aplicación de NPS a concentraciones de 3 y 5 mM durante 3 y 5 min a 15 inHg.

La Figura 33 muestra la condición de los frutos de mango tratados con NPS a 1 mM después de seis días de almacenamiento a 13 °C en comparación

con frutos control, evidenciándose tener un efecto sobre la pérdida de calidad visual y la firmeza en frutos durante 18 días en los estudios preliminares



Figura 33. Apariencia visual de frutos de mango 'Manila' control (abajo) y tratados con NPS 1mM (arriba)

Qiao y Fan (2008), reportaron que el óxido nítrico se comporta como un oxidante potente o un antioxidante efectivo dependiendo en gran medida de la concentración y localización en las células de las plantas. También se ha demostrado que este tiene la capacidad de dañar membranas, proteínas y ácidos nucleicos en las células de plantas (Yamasaki, 2000). Bajas concentraciones de NO eliminan al anión superóxido (O_2^-) y radicales lipídicos, además activa enzimas antioxidantes en especial la SOD. Por el contrario, altos niveles de NO incrementa la producción de superóxido en mitocondria inhibiendo la cadena de electrones por medio del citocromo C oxidasa lo que puede estar asociado con la muerte del tejido

Warm y Laties (1982) indican que las especies reactivas de oxígeno (ROS) están implicadas en la senescencia de los frutos. La senescencia es un fenómeno oxidativo acompañado por un incremento elevado de ROS, particularmente de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y O_2^- . En estudios recientes se ha observado que durante la senescencia de durazno existe un incremento en el contenido de H_2O_2 (Qin *et al.* 2009). Sin embargo, bajas concentraciones de ROS provocadas por bajas concentraciones de oxígeno (2 – 5 %) retardan efectivamente la senescencia durante el almacenamiento, mientras que en frutos tratados con de H_2O_2 aumentan la senescencia (Tian *et al.* 2004)

Es posible que concentraciones de 2, 3 y 5 mM de NPS generaron concentraciones altas de NO las cuales pudieron provocar un estrés oxidativo o incremento en ROS a niveles superiores a la capacidad del fruto para resistir dicho estrés mientras que a 1 mM se comportó como un antioxidante.

6.1.2 Dosimetría de irradiación

De acuerdo al protocolo de irradiación propuesto en la metodología, se planteó aplicar una dosis en el rango de 0.3 – 0.6 kGy la cual está por debajo de lo recomendado por Mercado-Silva (2010) para evitar daños por irradiación a los frutos, y dentro del rango recomendado por USDA-APHIS que señala que la dosis mínima para esterilizar a la mosca de la fruta no debe de ser menor de 0.15 kGy y que la carga total de frutos no debe superar un máximo de 1 kGy.

La Tabla 8 muestra las dosis absorbidas en las distintas posiciones de las cajas de frutos ubicadas en la tarima que se sometió a la fuente de irradiación. Los dosímetros colocados en las posiciones centrales de la tarima (C6195 – C6209) recibieron las menores dosis (0.3046 – 0.3369), mientras que aquellos dosímetros colocados en el exterior de las cajas (C6210 – C6213) recibieron las dosis mayores (0.3641 - 0.4713 kGy).

Tabla 8. Intervalos de dosis recibida por frutos de mango durante el proceso de irradiación

Dosímetro De alanina	Dosis (kGy)	Dosímetro De alanina	Dosis (kGy)
C6195	0.3218	C6205	0.3239
C6196	0.3126	C6206	0.3211
C6197	0.309	C6207	0.3105
C6198	0.3046	C6208	0.3196
C6199	0.3133	C6209	0.3296
C6200	0.3164	C6210	0.4713
C6201	0.3187	C6211	0.3858
C6202	0.3319	C6212	0.4382
C6203	0.3322	C6213	0.3641
C6204	0.3369	C6213	0.3641

Mercado-Silva (2010) recomendó que la dosis máxima para esta variedad no fuese mayor a 0.6 kGy ya que si se excede esta dosis se presenta un desorden fisiológico llamado tejido esponjoso. Las dosis aplicadas a los frutos en este estudio permitieron señalar que el tratamiento fue el adecuado para esterilizar a la mosca de la fruta según lo que establece USDA-APHIS y que no sobrepasó la dosis máxima evitando la generación de tejido esponjoso.

6.1.3 Efectos de la aplicación NO en la calidad poscosecha de los frutos

6.1.3.1 Cambios en la calidad visual externa

La figura 34 muestra el aspecto visual externo de los frutos de mango a 13°C durante 22 días de almacenamiento; cada fruto representa al conjunto de frutos analizados durante cada muestreo. El color es un parámetro de calidad que afecta la aceptación por el consumidor así como la percepción de dulzor y sabor. En el caso del mango el color de la epidermis juega un papel importante en la percepción de la calidad del fruto. Durante el almacenamiento a bajas temperaturas los frutos retardaron el cambio de color de verde a amarillo, lo cual indica que la actividad metabólica se vio disminuida por efecto de las bajas temperaturas por lo que se produjo una menor cantidad de etileno responsable de la degradación de clorofila y la síntesis de carotenoides; esto ha sido reportado por Hidalgo *et al.*, (1997) quienes almacenaron mango 'Manila' a diferentes temperaturas (6, 12 y 16°C) y observaron que los frutos almacenados a menor temperatura permanecieron más verdes y al transferirlos a 25°C observaron que aquellos frutos almacenados a 6, 12 y 16°C desarrollaron un cambio en la coloración de verde a amarillo.

La comparación visual del tratamiento control (SI/SNO/SB) con el tratamiento de todos los factores (CI/CNO/CB); permite observar un retraso en el cambio de color en este último, lo cual puede sugerir una menor síntesis de carotenoides o un retraso en la degradación de la clorofila provocados por la aplicación de los tratamientos estudiados. Mercado-Silva (2010) trabajando con

esta misma variedad sometida a irradiación gamma en condiciones similares a las del grupo control señaló que la irradiación a dosis por arriba de 0.6 kGy retrasaba el cambio de color; en este estudio se observa un menor cambio de color cuando los frutos se les aplicó NO y dosis de irradiación por debajo de 0.5 kGy. De acuerdo con esto, es posible que en estos tratamientos la inhibición de la síntesis de etileno por el NO genere una menor degradación de la clorofila. También Uthairatanakij *et al.* (2005), observaron que al tratar frutos de mango de la variedad 'Nam-Dok-Mai' con dosis de 0.3 a 0.6 kGy, los cambios en los valores de color 'a' y 'b' de la piel fueron menores en comparación con los frutos control señalando con esto un retraso en la maduración.

La antracnosis representa la enfermedad más importante para el mango causando hasta el 50% en pérdidas poscosecha (Páez-Redondo, 2003). Durante la transferencia a 20°C (Figura 35) se observó que los frutos no tratados con irradiación presentaron una mayor incidencia y severidad de ataque por antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en comparación con los frutos que recibieron irradiación. Esto ha sido reportado por Johnson *et al.*, 1990, quienes observaron una disminución en la incidencia y área dañada en frutos de mango 'Kensington Pride' tratados con irradiación a 0.3 kGy después de 15 días de almacenamiento a 20°C. Estos autores también observaron un efecto sinérgico del tratamiento por irradiación en combinación con una aplicación de benomil en caliente; en este estudio se aplicó un tratamiento de agua caliente (53 °C por 6 min) antes del tratamiento de irradiación lo cual también podría haber generado ese efecto aditivo de control contra el patógeno. Por otro lado Cia *et al.*, 2007 reportaron que papayas tratadas con 0.75 – 1.0 kGy redujeron la incidencia y severidad de la enfermedad.

Como ya se ha anotado previamente, los frutos fueron sometidos a un tratamiento en agua caliente contra la antracnosis a 53°C durante 6 minutos; Vázquez-Celestino (2012) también aplicó este tratamiento reportando baja incidencia de este patógeno durante su experimento, sin embargo este tratamiento

no fue efectivo al repetirlo con mangos del mismo estado de Guerrero, pero procedentes de diferente huerta; además de la diferente localidad, estos frutos se cosecharon a finales de temporada (agosto 2012), fechas en las cuales hubo una mayor incidencia de lluvias lo que favorecen el desarrollo de esta enfermedad.

El efecto de la irradiación sobre el desarrollo del color se puede observar mejor en los frutos transferidos a 20°C; para el día 14 los frutos irradiados mostraron un retraso en el proceso de la degradación de clorofila permaneciendo verdes, mientras que los no tratados ya presentaban síntesis de carotenoides. Este cambio de color se debe a la degradación de la clorofila asociada al desmantelamiento de las membranas tilacoidales de los cloroplastos y a la síntesis de pigmentos amarillo-naranja. Esto concuerda con lo reportado por Boag *et al.*, 1990, quienes. Indicaron una notable inhibición del desarrollo de color en mangos irradiados cv. 'Kensington Pride' a dosis de 0,2 kGy; nuestros datos coinciden con lo reportado por esos autores aunque la inhibición no fue tan marcada como lo indica ese reporte.

Un parámetro de calidad visual muy importante es la marchitez o pérdida de la calidad visual, la cual se presentó en todos los frutos que no fueron almacenados con empaques microperforados, mediante un análisis de pérdida de peso se identificó que la marchitez comienza cuando el fruto pierde más del 6% de humedad. A partir del día 18 todos los frutos transferidos a 20°C (Figura 34), que no fueron almacenados con empaque microperforado, presentaron una baja calidad visual, presentando problemas de marchitez que influyen de manera considerable en su aceptación y firmeza.

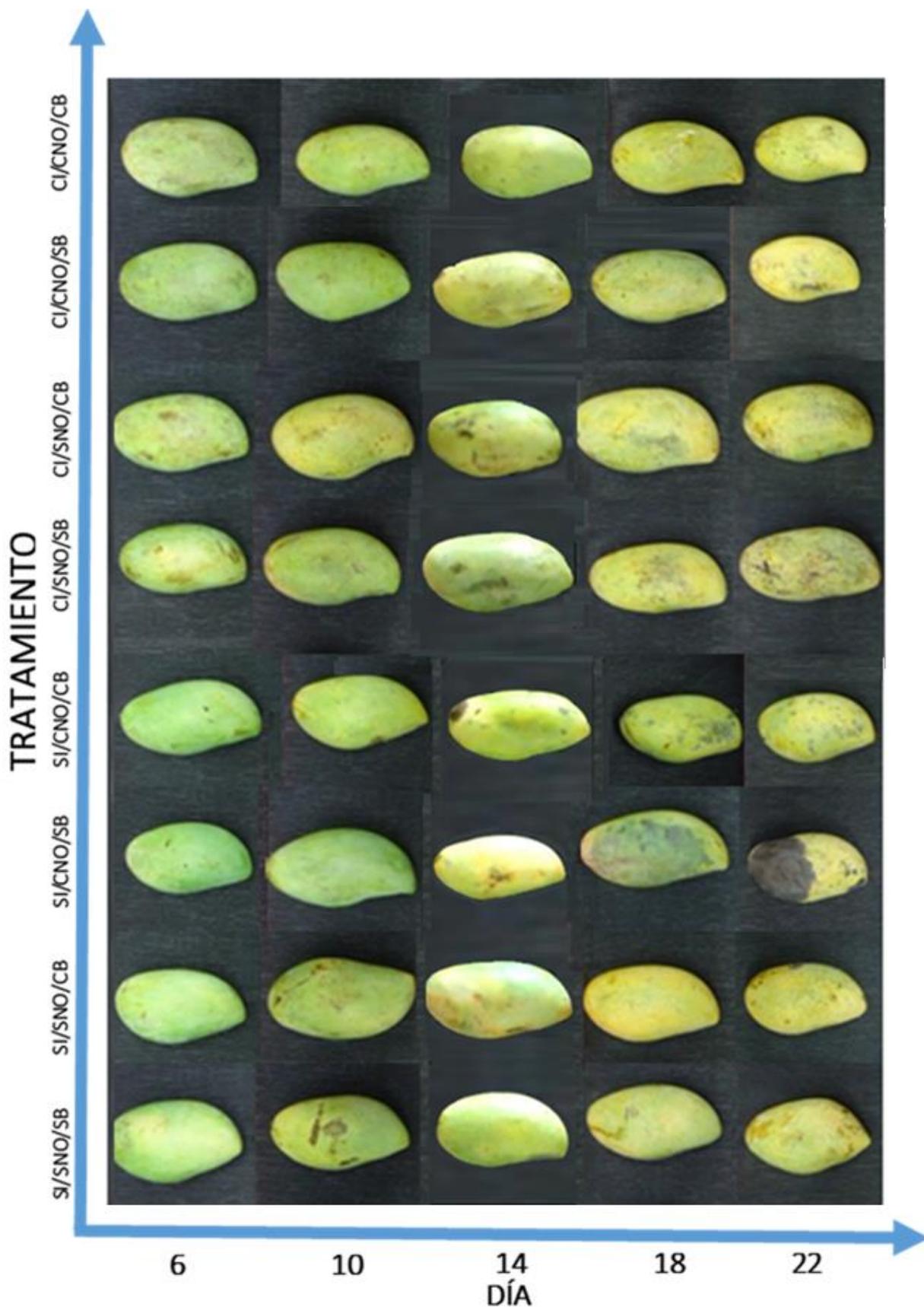


Figura 34. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SI/CI: sin/con irradiación, SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SB/CB: sin/con empaque microperforado)

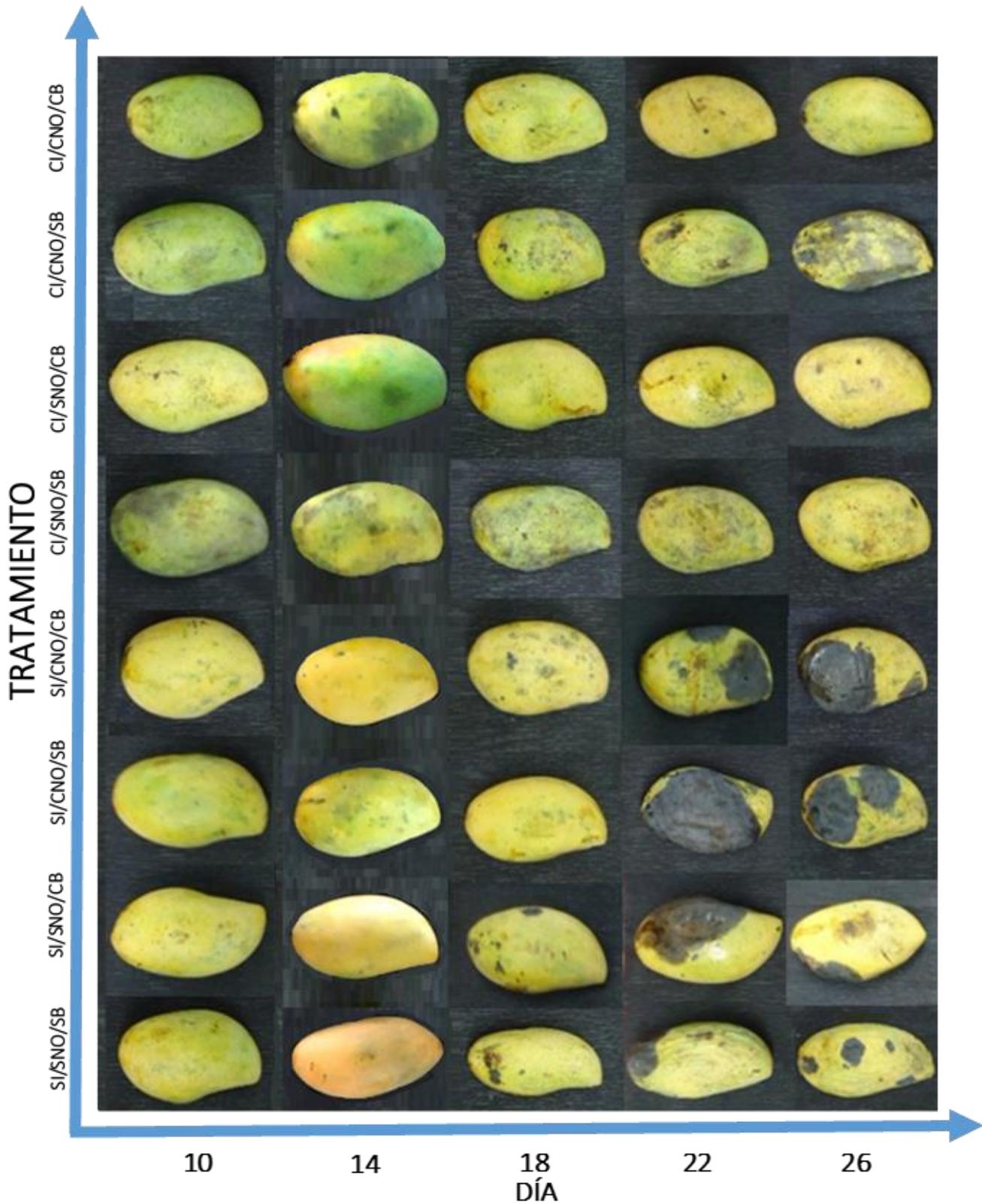


Figura 35. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13 a 20°C (SI/CI: sin/con irradiación, SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SB/CB: con/sin empaque microperforado)

La Figura 36 muestra el porcentaje de incidencia de antracnosis. Se puede observar que a partir del día 10 comenzó a evidenciarse el desarrollo del hongo esto se debe a que durante la maduración, los frutos atraviesan diferentes procesos fisiológicos como la activación de la biosíntesis de etileno, cambios en la cutícula y la pérdida de la pared celular, estos cambios están acompañados por la pérdida de compuestos en la piel como los compuestos fenólicos que tienen actividad antifúngica y antibacteriana. Bilies *et al.*, 1990, reportaron que al aplicar etileno a pepino las lesiones provocadas por *C. lagenarium* fueron mayores comparadas con los tratamientos a los que se les aplicó tiosulfato de plata para bloquear la acción del etileno donde se retrasaron y redujeron las lesiones. En el día 18 se observó la mayor diferencia entre los frutos irradiados y el control, el 25% de los frutos irradiados mostraron incidencia de esta enfermedad comparado con el 68% de los no irradiados, al final del experimento menos del 30% del control permaneció sin signos del ataque por el hongo en comparación con el 57% de los frutos irradiados que permanecieron libres de daño

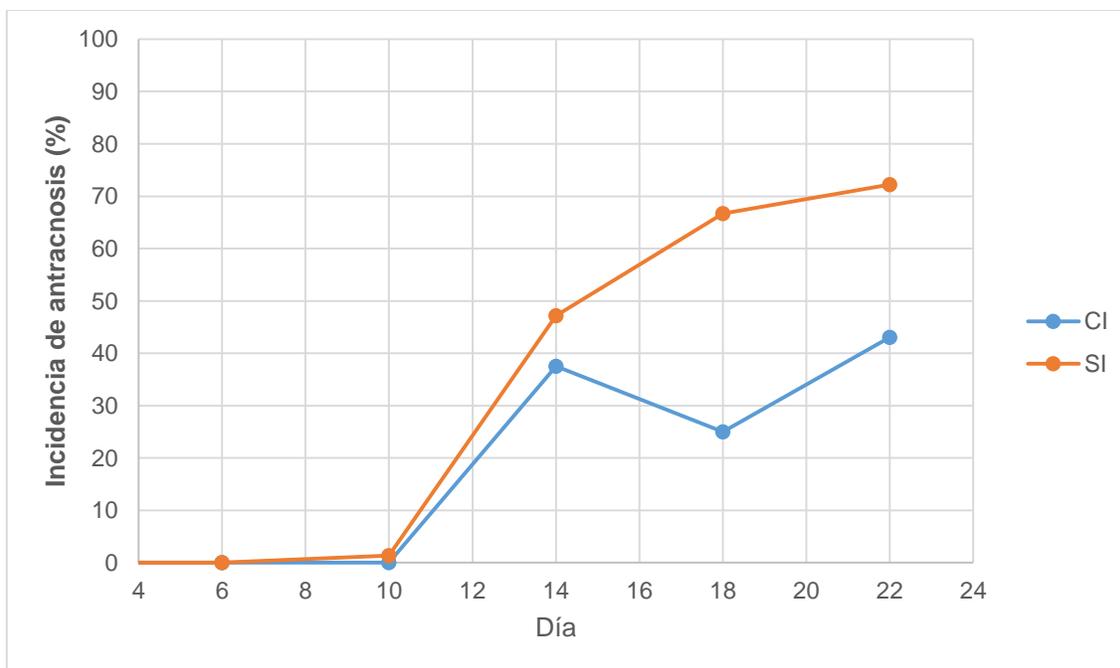


Figura 36. Incidencia de antracnosis en frutos de mango cv. 'Manila' durante 22 días de almacenamiento y transferencias de 13 a 20°C (SI/CI: sin irradiación/con irradiación)

6.1.3.2 Cambios en la calidad visual interna

La figura 37 muestra el aspecto visual interno de frutos almacenados a 13 °C. Todos los frutos iniciaron su proceso de maduración normal a partir del primer día de almacenamiento, desarrollando una coloración amarilla en la pulpa la cual fue aumentando al paso del tiempo. No obstante, visualmente no se apreciaron cambios importantes asociados a los tratamientos aplicados. La Figura 38 muestra los cambios de calidad interna de los frutos sometidos a los diferentes tratamientos almacenados a 13 °C y transferidos a 20 °C durante 4 días. Después de 18 días de almacenamiento a 13 °C y transferidos a 20 °C, los frutos tratados con irradiación y NO mostraron un claro retraso en el proceso de maduración respecto de los frutos que no fueron irradiados y no tratados con NO. Así mismo, los tratamientos con irradiación pero no tratados con NO mostraron un cambio de color mayor respecto de los frutos tratados con NO. Esta observación parece mostrar que tanto la irradiación como la aplicación del NO retrasaron el proceso de maduración. Zahara y Singh (2011), también reportaron un retraso en la maduración de mango cv. 'Kensington Pride' mediante la aplicación de NO; estos investigadores asociaron este efecto a una menor síntesis de etileno y una menor actividad de la ACC oxidasa provocada por el efecto del NO en la síntesis de etileno; de igual manera Rudell *et al.*, (2006) también describieron un efecto de retraso de cambios de color en rebanadas de manzana tratadas con NO; otros reportes también señalaron un retraso en el cambio de color, de la síntesis de etileno y el ablandamiento en frutos de plátano tratados con NO (Cheng *et al.*, 2009).

Además de las observaciones anteriores, las bajas temperaturas también ayudaron a retrasar la maduración del fruto. Esto concuerda con lo reportado con Hidalgo *et al.* (1997) quienes describieron que la síntesis de carotenoides fue favorecida por las altas temperaturas e inhibida durante el almacenamiento a bajas temperaturas.

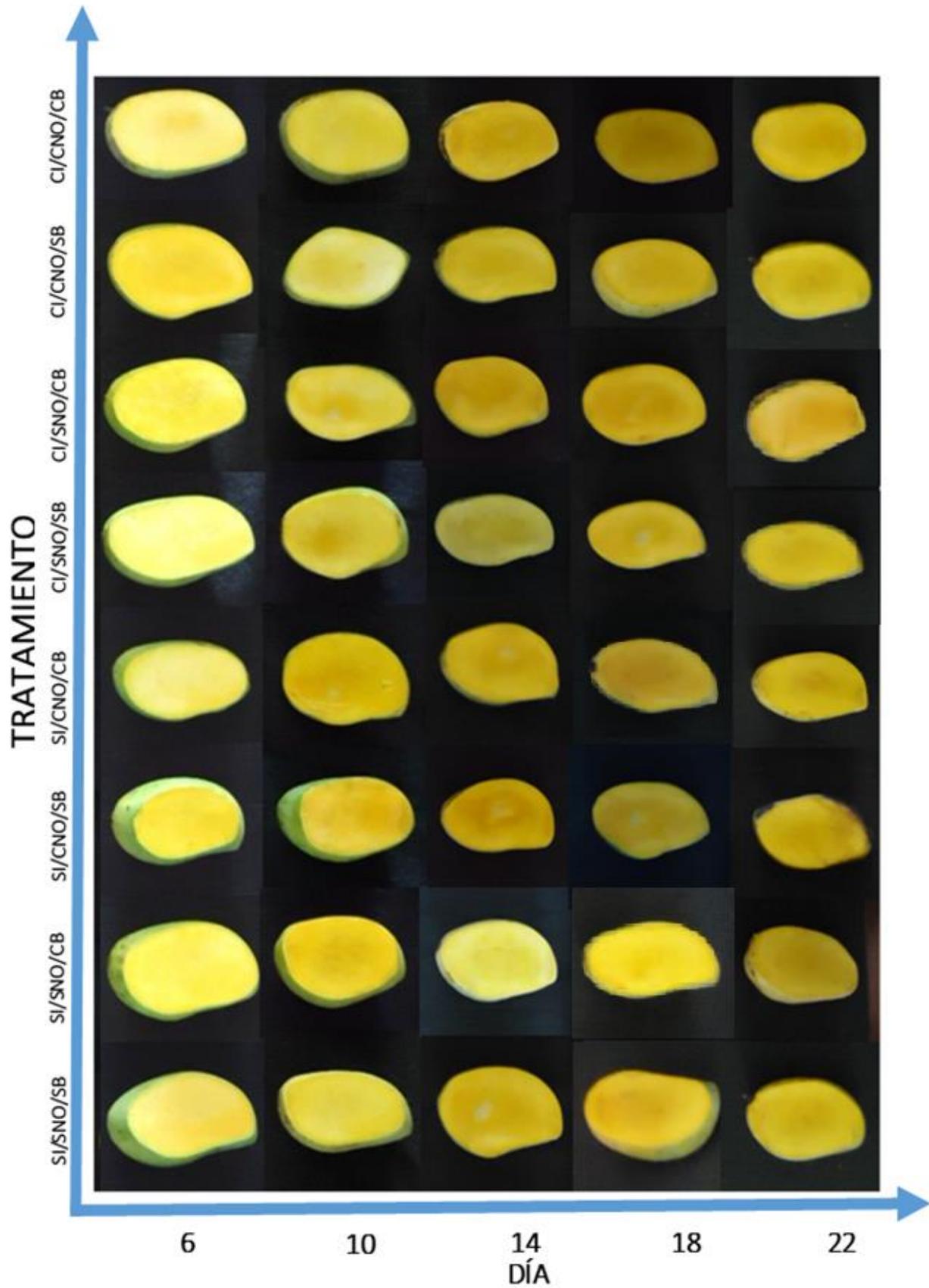


Figura 37. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' almacenados a 13°C (SI/CI: sin/con irradiación, SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SB/CB: con/sin empaque microperforado)

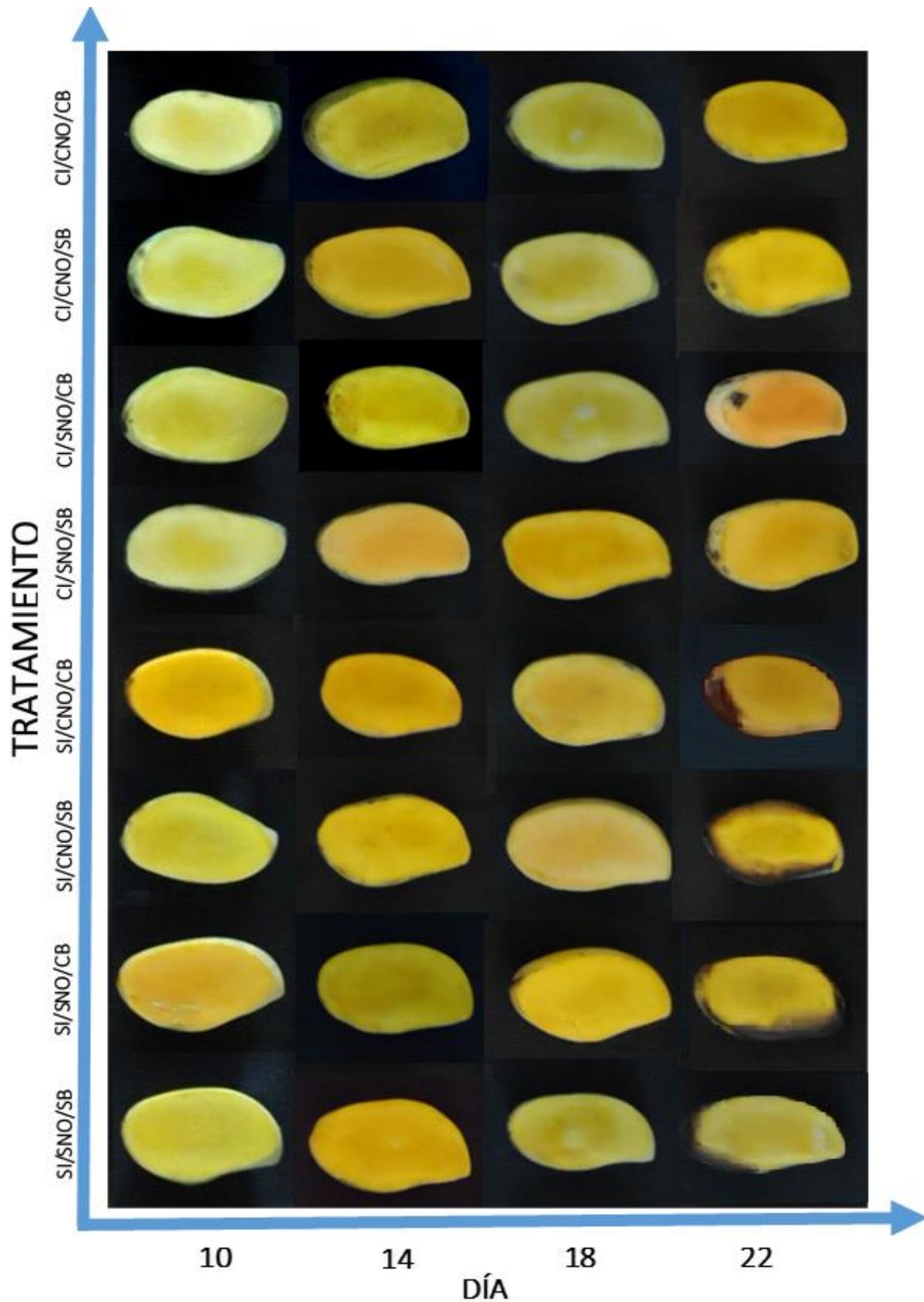


Figura 38. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' almacenados a distintos periodos de tiempo a 13 °C y transferidos a 20°C (SI/CI: sin/con irradiación, SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SB/CB: sin/con empaque microperforado)

6.1.4 Análisis físicos

6.1.4.1 Pérdida de peso

En la Tabla 9 se muestra los resultados de los efectos principales de los factores estudiados y las interacciones que afectaron de manera significativa la pérdida de peso. La temperatura, el tiempo de almacenamiento y los tratamientos presentaron un efecto significativo; de la misma manera las interacciones temperatura*fecha, temperatura*tratamiento y fecha*tratamiento mostraron significancia estadística; mientras que la interacción triple no fue significativa.

Tabla 9. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la actividad de PG en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	620,3043	<,0001
Días	3	308,8659	<,0001
Temperatura*Días	3	6,1431	0,0004
Tratamiento	7	251,7686	<,0001
Temperatura*Tratamiento	7	13,7263	<,0001
Días*Tratamiento	21	7,6951	<,0001
Temperatura*Días*Tratamiento	21	0,9944	0,4687

Mediante una comparación de medias se comprobó que la temperatura de almacenamiento juega un papel importante en la pérdida de peso ya que las muestras que fueron transferidas de 13 a 20°C mostraron valores de pérdida de peso significativamente mayores (9.94%) respecto las que fueron almacenadas a 13°C (6.77%). De manera lógica se presentó una diferencia en el tiempo de almacenamiento, en el día 10 mostraron una pérdida de peso significativamente

menores (5.71%) respecto de las muestras analizadas en el día 14 (7.40%), en el día 18 (9.18%) y en el día 22 (11.14%).

En la Tabla 10 se puede observar que los tratamientos de NO e irradiación no afectaron de manera significativa la pérdida de peso. Mediante la comparación de medias se pueden observar dos grandes grupos, aquellos que perdieron del 10 al 11% y los que perdieron del 5 al 6% y se puede observar que el tratamiento en común es el empaque microperforado, esto indica que empacar los frutos con bolsas microperforadas ayuda a disminuir la pérdida acelerada de humedad.

Tabla 10. Pérdida global de peso provocada por los tratamientos durante todo el almacenamiento.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
CN/CI/SB	11,20 a
SN/SI/SB	11,15 a
CN/SI/SB	11,09 a
SN/CI/SB	10,48 b
CN/CI/CB	6,04 c
SN/CI/CB	5,85 c
SN/SI/CB	5,69 cd
CN/SI/CB	5,36 d

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La pérdida de peso es uno de los problemas que más afecta a la variedad 'Manila', ya que esta se ve reflejada directamente sobre la marchitez afectando la calidad visual. La comparación estadística entre los distintos tratamientos mostró diferencias altamente significativas entre ellos, entre ambas temperaturas y la interacción tratamiento*temperatura. Los frutos de mango empacados con películas microperforadas mostraron la menor pérdida de peso (5.0 a 5.7 %) en comparación de aquellos que no fueron empacados en esa película (9.3 a 10.5 %); de igual forma las muestras transferidas de 13 a 20 °C mostraron las mayores

pérdidas de peso (9.7 %) respecto de las que estuvieron almacenadas a 13 °C (5.7 %).

La Tabla 11 muestra la comparación de medias entre todos los tratamientos; aquellos frutos que no fueron protegidos con bolsas microperforadas y que fueron transferidos de 13 a 20 °C mostraron las más altas tasas de pérdida de peso (12.1 a 13.5 %) mientras que aquellos frutos conservados con bolsas microperforadas y almacenados a 13 °C mostraron los menores valores (2.9 a 6.1 %). Este comportamiento se debe a que el empaque funciona como una barrera contra el vapor de agua permitiendo la entrada de oxígeno y salida de CO₂ pero manteniendo la humedad relativa alta dentro del mismo. Rodov *et al.*,(1997), comparó empaques microperforados y no perforados en mango 'Tommy Atkins' y observó un incremento en la concentración de CO₂ en aquellos frutos almacenados en empaques plásticos no perforados lo que provocó una maduración heterogénea y la fermentación anaerobia de los frutos.

El análisis estadístico también mostró que los factores más importantes que afectaron la pérdida de peso fue la temperatura y el empaque en las bolsas microperforadas; las Figuras 39 y 40 muestran de manera comparativa la pérdida de peso durante el almacenamiento a 13 °C y sus transferencias a 20 °C respectivamente.

Tabla 11. Pérdida global de peso de frutos de mango almacenados a 13 °C y sus transferencias a 20 °C

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
CNO/CI/SB/T	13,49 a
SNO/SI/SB/T	12,79 a
SNO/CI/SB/T	12,49 a
CNO/SI/SB/T	12,09 a
SNO/SI/SB/13	7,78 b
CNO/CI/SB/13	7,60 b
CNO/CI/CB/T	7,32 b
SNO/CI/SB/13	6,89 b
SNO/CI/CB/T	6,80 b
CNO/SI/SB/13	6,55 b
SNO/SI/CB/T	6,31 bc
CNO/SI/CB/T	6,06 bcd
SNO/CI/CB/13	4,24 cd
CNO/CI/CB/13	4,21 cd
SNO/SI/CB/13	4,17 cd
CNO/SI/CB/13	3,95 d

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

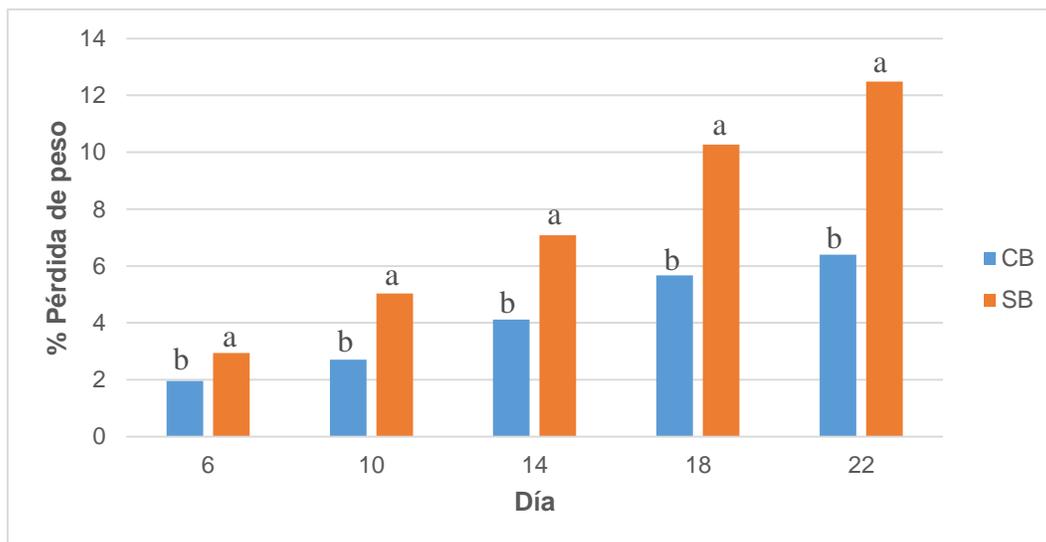


Figura 39. Pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SB/CB: sin/con empaque microperforado). Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

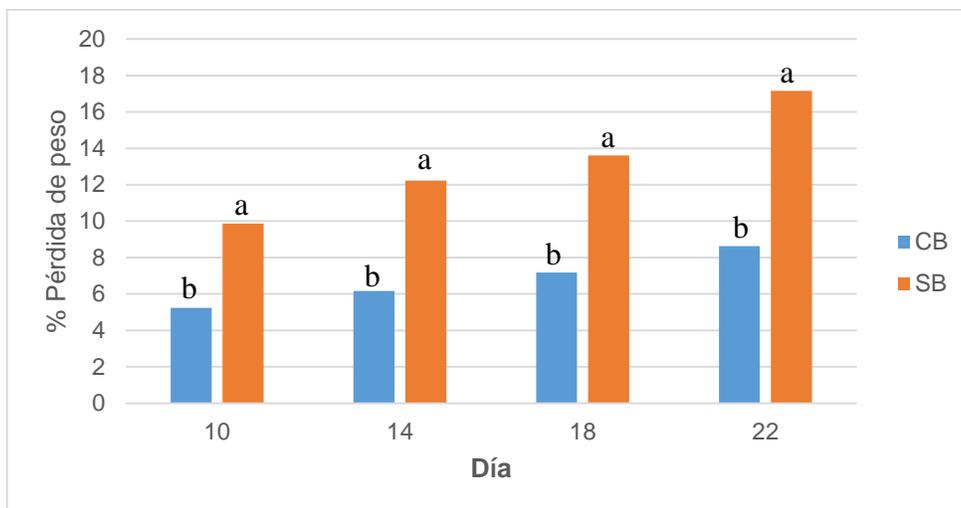


Figura 40. Pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento en transferencia de 13 a 20°C (SB/CB: sin/con empaque microperforado). Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Las altas diferencias de pérdida de peso encontradas en el día 22 de almacenamiento por el uso de empaque microperforado, independientemente de los otros tratamientos aplicados, se muestra la Figura 41; los frutos que fueron almacenados con empaque microperforado perdieron entre el 5 – 10 % mientras que el los tratamientos que no utilizaron este empaque perdieron entre el 10 – 20%. Estos datos coinciden con los reportados por Vázquez-Celestino (2012) aunque sus rangos de variación (6-9% 10-17%) fueron más estrechos que los encontrados en este experimento.

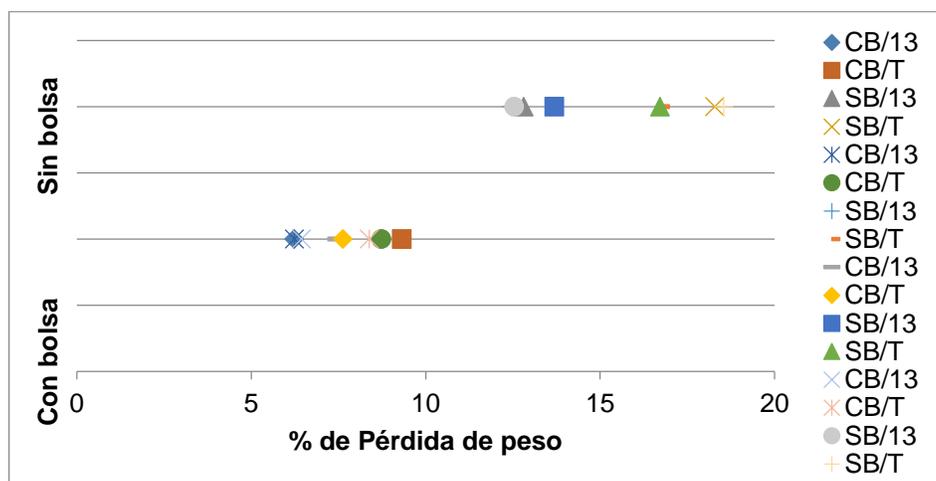


Figura 41. Promedio de la pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' al día 22 (SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C)

La pérdida de peso influye directamente sobre la calidad visual y la firmeza del fruto. Nunes *et al.*, 2007, estudiaron los cambios fisiológicos de dos variedades de mango 'Tommy Atkins' y 'Palmer' a diferentes condiciones de almacenamiento e indicaron que ambas variedades mostraron signos de marchitez a diferentes porcentajes de pérdida de peso; el mango 'Tommy Atkins' no mostró marchitez con pérdidas de peso de 7.5% mientras que la variedad 'Palmer' con pérdidas de 6.5% ya se encontraba en el máximo aceptable para su venta.



Figura 42. Comparación de frutos de mango 'Manila' almacenados sin empaque microperforado (a) y con empaque microperforado (b) durante su transferencia en el día 26.

Como ya se indicó, un parámetro de calidad visual muy importante es la marchitez o pérdida de la calidad visual, la cual se presentó en todos los frutos que no fueron almacenados con empaques, mediante un análisis de pérdida de peso se identificó que la marchitez comienza cuando el fruto pierde más del 6% de

humedad. En la Figura 42 se puede observar una comparación entre frutos a los cuales no se les aplicó irradiación ni NO y fueron transferidos de 13 a 20°C con la única diferencia del uso de empaques microperforados. Los frutos que no fueron almacenados con empaque microperforado (Figura 42a) presentaron una baja calidad visual a partir del día 18, presentando problemas de marchitez que influyen de manera considerable en su aceptación y firmeza, en comparación con los frutos que se almacenaron con el uso de estos empaques (Figura 42b) que no presentaron problemas de marchitez y presentaron una mejor firmeza.

6.1.4.2 Cambios en valores de color

La determinación del color se realizó en frutos enteros (piel) como en la pulpa. En la Tabla 12 se muestran los cambios en los valores de b^* y Hue de la piel, que fueron los parámetros que mostraron mayores diferencias. El valor de b^* (cambio de color de azul a amarillo) mostró valores más altos en los tratamientos que no fueron irradiados (32.31 – 37.96) indicando que la síntesis de carotenoides en la piel no fue afectada, sin embargo los frutos que fueron sometidos al proceso de irradiación, presentaron valores menores de b^* (28.01 – 31.96) demostrando, como ya se había discutido anteriormente, que la irradiación (0.3 – 0.4 kGy) retrasa la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides (Figura 43).

La Tabla 12 también muestra que los valores de Hue cercanos a 120 representan el color verde y los cercanos a 60 el color amarillo, los datos indican que los frutos almacenados a 13°C muestran una piel más verde con valores cercanos a 120 (91.89 – 98.55) que los transferidos de 13 a 20°C (85.22 – 89.96), esto se debe a la disminución de la actividad metabólica a bajas temperaturas. En esta misma comparación estadística se observa que las interacciones entre los tratamientos con NO y empaque microperforado no influyeron sobre los valores de b^* y Hue.

Tabla 12. Cambios de color externos en b* y matiz (Hue).

Tratamiento	b*	Tratamiento	Hue
SNO/SI/CB/T	37,96 a	CNO/SI/SB/13	98,55 a
SNO/SI/SB/T	36,24 ab	SNO/SI/SB/13	94,98 ab
SNO/SI/CB/13	34,38 abc	CNO/SI/CB/13	94,96 ab
CNO/SI/CB/T	34,18 abcd	CNO/CI/SB/13	94,86 abc
SNO/SI/SB/13	34,09 abcd	SNO/SI/CB/13	94,35 abc
CNO/CI/CB/T	32,67 bcde	CNO/CI/CB/13	94,16 abcd
CNO/SI/SB/T	32,54 bcdef	SNO/CI/SB/13	92,80 bcd
CNO/SI/CB/13	32,31 bcdef	SNO/CI/CB/13	91,89 bcde
SNO/CI/CB/T	31,96 bcdef	SNO/CI/SB/T	89,96 bcde
SNO/CI/CB/13	30,42 cdef	CNO/CI/CB/T	89,46 cde
CNO/CI/CB/13	29,90 def	CNO/CI/SB/T	87,98 de
SNO/CI/SB/T	28,99 ef	SNO/CI/CB/T	86,59 e
CNO/CI/SB/13	28,80 ef	CNO/SI/CB/T	86,26 e
CNO/SI/SB/13	28,69 ef	CNO/SI/SB/T	85,83 e
CNO/CI/SB/T	28,11 ef	SNO/SI/SB/T	85,29 e
SNO/CI/SB/13	28,01 f	SNO/SI/CB/T	85,22 e

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



Figura 43. Frutos de mango 'Manila' almacenados a 13°C durante 22 días, irradiados (a) y no irradiados (b)

Prasanna *et al.*, (2007) señalo que los cambios de color durante la maduración ocurren por la degradación de la clorofila y la síntesis y acumulación de diferentes tipos de antocianinas en las vacuolas y carotenoides. Johnson *et al.*, 1990, reportaron un retraso en la degradación de la clorofila en frutos de mango

'Kensington Pride' irradiados a diferentes dosis. Mercado-Silva, 2010 menciona que la irradiación gamma provoca un menor desarrollo de color en la piel de mango 'Manila'. Reyes y Cisneros-Zevallos, 2007 observaron que la irradiación provocó una disminución de un derivado de la violaxantina en frutos de mango 'Tommy Atkins' irradiados de 1 a 3.1 kGy y sugirió que la irradiación provoca la inhibición de la síntesis de la mayoría de los carotenoides individuales lo que resulta en una coloración más verde de la piel.

Los cambios de color de la pulpa fueron más marcados sin embargo no se observó un efecto de los tratamientos de NO, empaque microperforado ni irradiación. La Tabla 13 muestra los valores de a^* (cambio de verde a rojo) y Hue de la pulpa, color interno. Se puede observar que los tratamientos almacenados a 13°C mostraron los valores menores de a^* (6.30 – 8.01) mientras que los frutos transferidos a 20°C mostraron valores más altos (9.86 – 12.04). De la misma forma, los valores de Hue de los frutos transferidos de 13 a 20 °C fueron diferentes significativamente, estos frutos presentaron valores que tienden más hacia el amarillo (78.43 – 79.84) que los frutos almacenados a 13°C.

Este mismo comportamiento fue reportado por Vázquez-Celestino, 2012 en mango 'Manila' quien observó que los tratamientos con 1-MCP, empaque microperforado e irradiación no tuvieron un efecto significativo en los valores de a^* y Hue en la pulpa pero sí en la piel del fruto; de la misma manera la temperatura de almacenamiento fue el factor más influyente sobre los cambios de color internos obteniendo valores más altos en a^* para los frutos transferidos de 13 a 20°C así como valores más bajos de Hue en frutos transferidos de igual manera. Uthairatanakij *et al.*, 2005 reportaron que la irradiación no provoca mayores cambios en la coloración de la pulpa en mangos 'Nam-Dok-Mai' irradiados a 1 kGy.

Tabla 13. Cambios de color internos en a* y matiz (Hue) internos.

Tratamiento	a*	Tratamiento	Hue
SNO/SI/CB/T	12,04 a	SNO/CI/SB/13	83,30 a
CNO/SI/CB/T	11,64 ab	CNO/CI/SB/13	83,14 a
SNO/SI/SB/T	11,20 ab	CNO/CI/CB/13	82,90 a
CNO/CI/CB/T	11,15 ab	CNO/SI/SB/13	82,69 a
SNO/CI/CB/T	10,86 ab	SNO/SI/SB/13	82,44 a
CNO/SI/SB/T	10,71 ab	SNO/CI/CB/13	82,35 a
SNO/CI/SB/T	10,11 ab	CNO/SI/CB/13	82,29 a
CNO/CI/SB/T	9,86 bc	SNO/SI/CB/13	82,09 a
SNO/SI/CB/13	8,01 cd	SNO/CI/SB/T	79,84 b
SNO/SI/SB/13	7,96 d	CNO/CI/SB/T	79,82 b
CNO/SI/CB/13	7,75 d	CNO/SI/SB/T	79,55 b
SNO/CI/CB/13	7,63 d	SNO/SI/SB/T	79,42 b
CNO/SI/SB/13	7,25 d	SNO/CI/CB/T	78,99 b
CNO/CI/CB/13	6,76 d	SNO/SI/CB/T	78,76 b
CNO/CI/SB/13	6,52 d	CNO/CI/CB/T	78,70 b
SNO/CI/SB/13	6,30 d	CNO/SI/CB/T	78,43 b

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

6.1.4.3 Firmeza

En la Tabla 14 se muestra la evaluación de los efectos principales de los factores estudiados y las interacciones que afectaron de manera significativa la firmeza. La temperatura, la fecha del muestreo y los tratamientos tuvieron un efecto significativo. De la misma manera, las interacciones temperatura*fecha, temperatura*tratamiento y temperatura*fecha*tratamiento mostraron significancia estadística; mientras que la interacción fecha*tratamiento no fue significativa.

Tabla 14. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la firmeza en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	272,6806	<,0001
Días	3	84,2416	<,0001
Temperatura*Días	3	28,5050	<,0001
Tratamiento	7	19,6835	<,0001
Temperatura*Tratamiento	7	2,5789	0,0129
Días*Tratamiento	21	1,3790	0,1222
Temperatura*Días*Tratamiento	21	2,0072	0,0053

La temperatura de almacenamiento fue un factor muy influyente sobre la firmeza, mediante una comparación de medias se comprobó que los frutos almacenados a 13°C fueron significativamente más altos que los que fueron transferidos de 13 a 20°C (12,3 y 8N respectivamente). Como era de esperarse, la fecha de muestreo resulto significativa ya que el mango al ser un fruto climatérico se espera que pierda firmeza como consecuencia del proceso de maduración; en el día 10 mostraron un promedio de 13.2N, el día 14 los frutos fueron significativamente menos firmes mostrando 10.6N, para el día 18 y 22 la firmeza se mantuvo igual estadísticamente con valores de 8.7 y 8.1 N respectivamente, esto nos indica que para el día 18 los frutos ya habían alcanzado su madurez de consumo.

Los tratamientos también mostraron ser significativos. En un análisis de medias se observa que el NO no tuvo un efecto significativo sobre la firmeza, por otra parte el tratamiento que más influyo sobre la firmeza fue el uso de empaque microperforado; los frutos almacenados con empaques mostraron significativamente mayor firmeza que los que fueron almacenados sin el uso de estos (10.8 – 12 y 8.3 – 9.8 respectivamente), como ya se discutió antes los empaques microperforados mantuvieron una mayor humedad relativa (Tabla 15).

Tabla 15. Cambios en firmeza provocados por los tratamientos.

Tratamiento	Firmeza (N)
CN/SI/CB	12,07 a
SN/SI/CB	11,64 a
CN/CI/CB	11,63 a
SN/CI/CB	10,88 ab
CN/SI/SB	9,84 bc
SN/SI/SB	8,75 c
SN/CI/SB	8,48 c
CN/CI/SB	8,33 c

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

A pesar de que el uso de los empaques microperforados ayuda a mantener la firmeza durante más tiempo, la interacción temperatura*tratamiento muestra que la temperatura de almacenamiento es un factor aún más importante para mantener la firmeza, los frutos almacenados a 13°C mostraron los valores más altos de firmeza independientemente del uso del empaque microperforado, esto es lógico ya que las altas temperaturas incrementan el metabolismo del fruto lo que provoca un incremento en la actividad de las pectinasas involucradas en la degradación de la pared celular.

En la Figura 44 se muestra los cambios en los valores de la firmeza (N) durante el almacenamiento. El mango es un fruto climatérico por lo tanto se espera que la firmeza disminuya mientras transcurre su maduración en el almacenamiento, en el día 6 se observó una gran dispersión de los datos (20 – 37 N) la cual se redujo a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, también se puede apreciar que al transferir los frutos 4 días a 20°C estos alcanzan su maduración completa sin importar el momento de la transferencia.

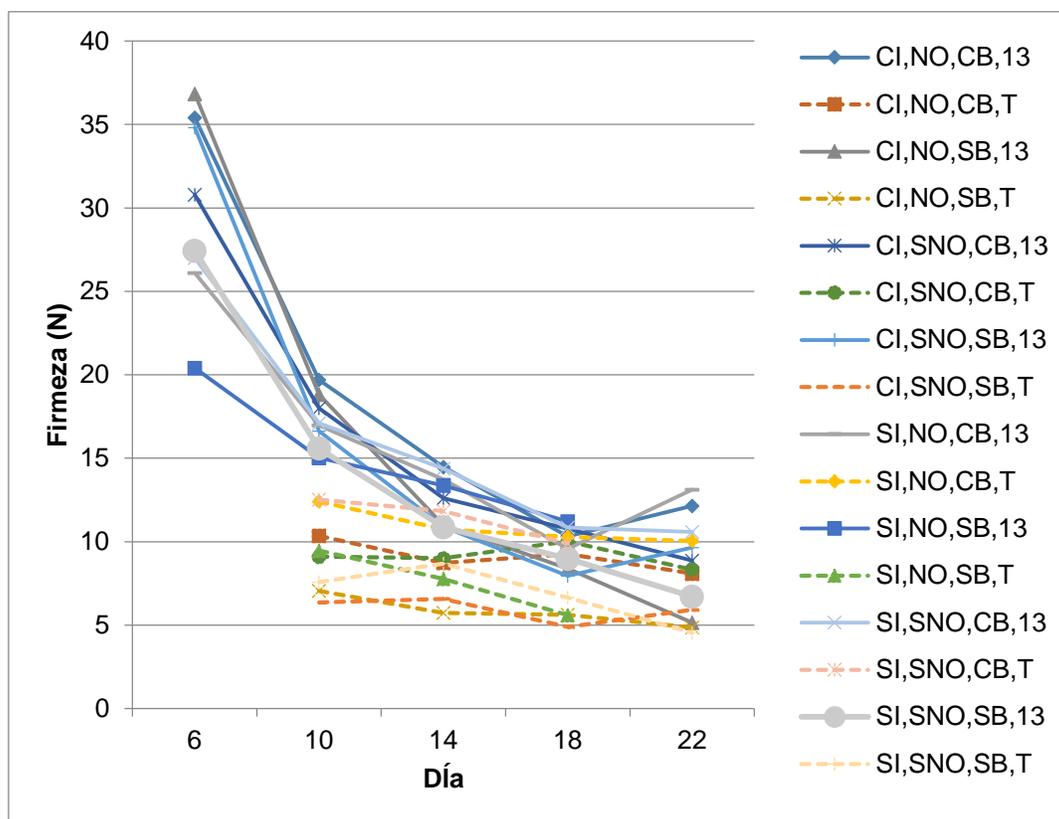


Figura 44. Firmeza (N) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferidos de 13 a 20 °C (SNO/CNO: sin/con óxido nítrico; SI/CI: sin/con irradiación; SB/CB: sin/con empaque microperforado; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

Los frutos almacenados con empaques microperforados durante su almacenamiento a 13°C no mostraron diferencias significativas en los valores de firmeza. Sin embargo los tratamientos almacenados con empaque microperforado durante la transferencia fueron significativamente más firmes (Tabla 16), esto podría indicar que se produjo menos etileno durante su transferencia a 20°C y por lo tanto hubo una menor actividad de las pectinasas, enzimas responsables de la degradación de la pared celular. Nakano *et al.* (2003) al estudiar la expresión de genes relacionados a la biosíntesis de etileno en diferentes tejidos de frutos de persimón (*Diospyros kaki* Thunb.), de manera interesante, observaron que el almacenamiento a alta humedad relativa (95%) retrasó la biosíntesis de etileno en el cáliz de la fruta mientras que una baja humedad relativa (50%) modula la síntesis de esta fitohormona en ese tejido.

Tabla16. Cambios en firmeza provocados por el empaque microperforado y la temperatura.

Tratamiento	Firmeza (N)
CB/13	16,68 a
SB/13	15,32 a
CB/T	9,90 b
SB/T	6,53 c

SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Por otra parte los frutos que fueron irradiados permanecieron más firmes que el control durante los primeros 10 días de almacenamiento a 13°C (Figura 45), la irradiación pudo haber tenido un efecto sobre la actividad de las pectinasas en mango ya que D'innocenzo y Lajalo (2001) reportaron que la irradiación altera la síntesis de enzimas que inducen la degradación de la pared celular y por lo tanto, se conserva la firmeza de los frutos irradiados. También Mahto y Das (2013) reportaron una mayor firmeza en frutos de mango 'Dushehri' y 'Fazli' irradiados a dosis de 0.3 – 1 kGy comparados con el control.

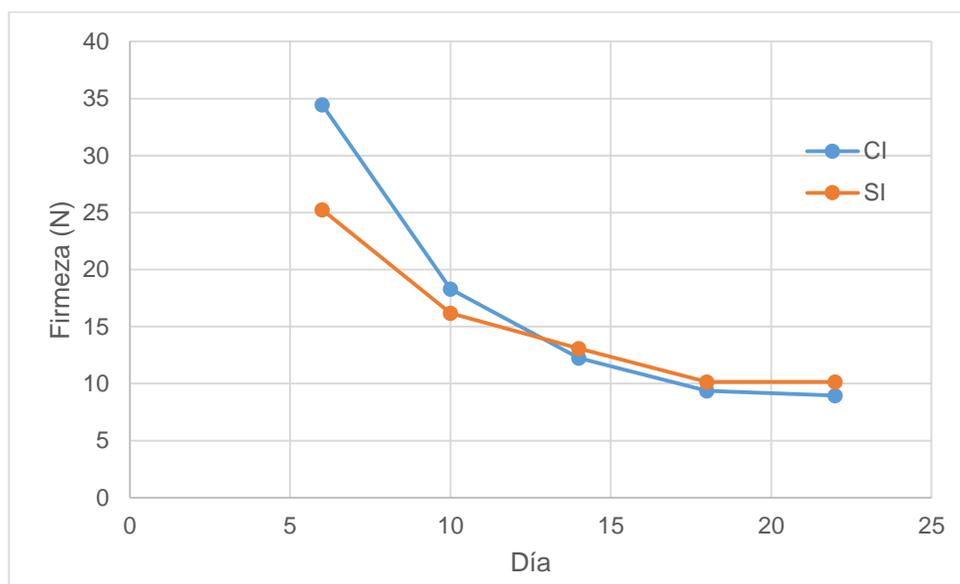


Figura 45. Medias de firmeza (N) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C (SI/I: sin/con irradiación, 13: almacenados a13 °C).

Eman *et al.* (2013), estudiaron el efecto del NO en frutos de mango 'Keitt' sumergieron los frutos en 3 concentraciones diferentes de NPS (0.5, 1.0 y 2.0 mM) durante 10 minutos y encontraron diferencias significativas comparadas con el control que fue sumergido en agua (17 lb.inch⁻² comparado con 7 lb.inch⁻² durante 20 días de almacenamiento a 10°C para los frutos que fueron tratados con 1mM de NPS. Los autores no mencionan si sometieron el NPS a algún tratamiento como a la exposición de luz antes de utilizarlo para el experimento como se usó en esta investigación.

6.1.5 Análisis Químicos

6.1.5.1 Sólidos solubles totales

En la Tabla 17 se muestra la evaluación de los efectos principales de los factores estudiados y las interacciones que afectaron de manera significativa los sólidos solubles totales (SST). La temperatura, fecha del muestreo y tratamientos tuvieron un efecto altamente significativo en el desarrollo de los SST, así como las interacciones temperatura*fecha y fecha*tratamiento, no así la interacción temperatura*tratamiento ni la interacción triple.

Tabla 17. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre los sólidos solubles totales en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	66,9071	<,0001
Días	3	56,8555	<,0001
Temperatura*Días	3	11,4122	<,0001
Tratamiento	7	3,3044	0,0019
Temperatura*Tratamiento	7	0,8021	0,5858
Días*Tratamiento	21	3,4714	<,0001
Temperatura*Días*Tratamiento	21	1,4157	0,1046

Mediante una comparación de medias se puede observar que las muestras almacenadas a 13°C mostraron menor contenido de SST en comparación con las que fueron transferidas de 13 a 20°C (21.3 – 20.1 respectivamente) esto se debe a que las altas temperaturas provocan un incremento en la actividad metabólica favoreciendo la maduración del fruto durante la cual aumenta la actividad de la α -amilasa y β -amilasa responsables de la hidrólisis del almidón y conversión de este en glucosa o maltosa. De manera lógica las muestras analizadas el día 10 mostraron significativamente menor contenido de °Brix (19.1) respecto a las analizadas el día 14 (20.6°Brix), en el día 18 (21°Brix) y en el día 22 (22°Brix). En la Tabla 18 se muestra el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de los SST. El NO no presentó un efecto significativo sobre el desarrollo de los SST, esto probablemente se debió a que no hubo las suficientes moléculas de NO para provocar un retraso en la maduración del fruto. Los tratamientos irradiados mostraron una menor concentración de los SST, esto concuerda con Mercado-Silva (2010) quien observó valores menores de SST en frutos de mango ‘Manila’ irradiado a 0.6kGy y transferidos de 10 a 20°C comparados con el control (13 y 19°Bx respectivamente).

Tabla 18. Cambios en solidos solubles totales provocados por los tratamientos.

Tratamiento	SST
SN/SI/SB	21,31 a
CN/SI/SB	21,10 ab
CN/SI/CB	21,04 ab
CN/CI/SB	20,86 ab
SN/SI/CB	20,51 ab
SN/CI/SB	20,48 ab
CN/CI/CB	20,40 b
SN/CI/CB	20,25 b

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado, 13/T: almacenado 13°C/transferido de 13 a 20°C. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

El análisis estadístico indicó que los tratamientos de empaques microperforados, irradiación y NO no tuvieron un efecto significativo sobre los SST (Tabla 18).

La Figura 46 muestra el comportamiento de los SST por los diferentes tratamientos durante el almacenamiento a 13°C y la transferencia a 20°C. Los frutos almacenados a 13°C mostraron valores entre 14 - 15 °Bx al día 6 hasta alcanzar 23 °Bx para el día 22. Esto no concuerda con CONASPROMANGO (2012) ni con Lagunes *et al.* (2007) quienes reportaron que los SST incrementan hasta 19°Brix, valores similares a los reportados por Vázquez-Celestino 2012 en frutos de mango 'Manila'.

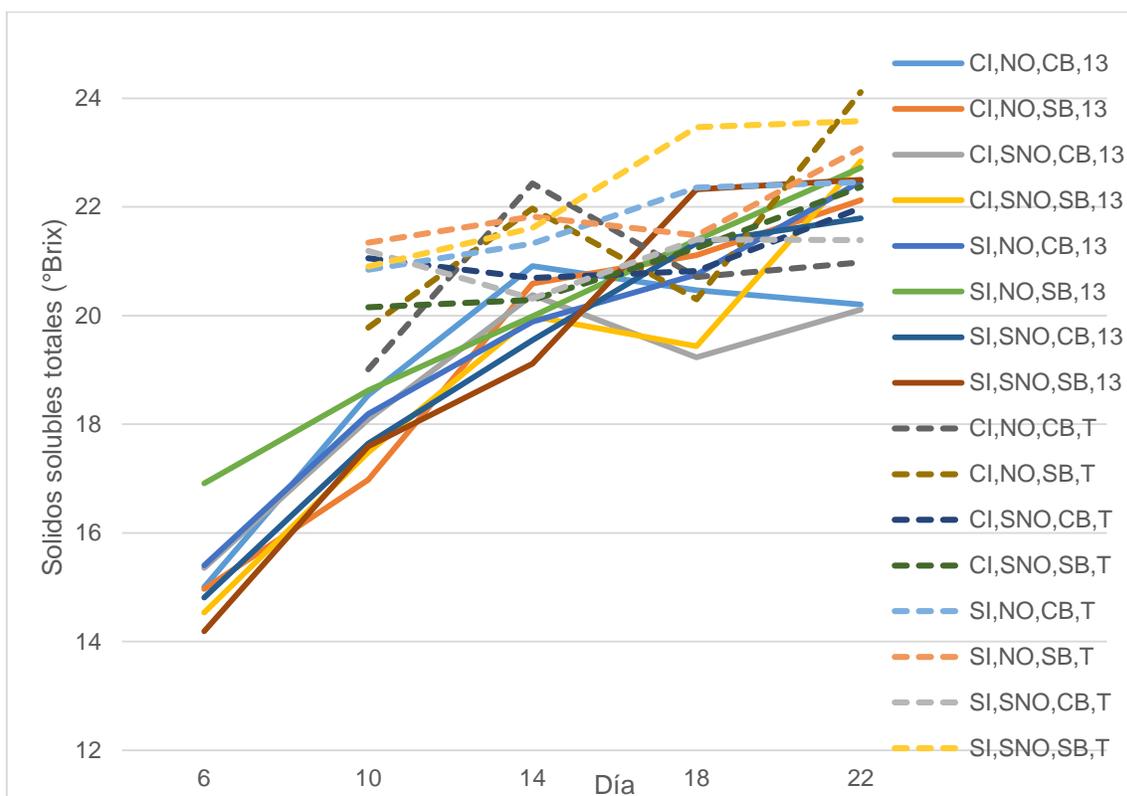


Figura 46. Solidos solubles totales (°Brix) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (SNO/CNO: sin/con óxido nítrico; SI/I: sin/con irradiación; SB/CB: sin/con empaque microperforado; T/13: almacenados con transferencias de 13 a 20 °C/ 13 °C).

Como se muestra en la Figura 46, los tratamientos a los cuales se les aplicó irradiación mostraron un menor desarrollo de los SST en los últimos días de almacenamiento. Esto concuerda con Mercado-Silva (2010) quien observó valores menores de SST en frutos de mango 'Manila' irradiados a 1k Gy y almacenados a 10 °C. El incremento en los SST nos indica que los empaques microperforados no provocaron anaerobiosis dentro del empaque y demostraron que estos

funcionaron como una barrera únicamente para el vapor de agua y no para el O₂ ni el CO₂. Se ha reportado que el número de perforaciones y el material de los empaques microperforados afectan el contenido de los SST (Chiabrando Giacalone, 2008); sin embargo en este experimento no sucedió así.

El contenido de almidón decrece durante el almacenamiento debido a la conversión de este en azúcares simples. La hidrólisis del almidón está asociada con la actividad de la amilasa que exhibe las propiedades tanto de α -amilasa y β -amilasa (Lizada, 1993). En los frutos climatéricos los SST aumentan conforme se reducen los ácidos orgánicos y se alcanza la madurez de consumo. Este valor se utiliza generalmente para darnos una idea del estado de madurez del fruto o si este ya alcanzó su madurez fisiológica; en el caso de los frutos de mango 'Manila' se considera que cuando se alcanza 8 °Bx este ha alcanzado su madurez fisiológica y seguirá con su proceso de maduración normal durante su almacenamiento, si se cosecha antes de su madurez fisiológica el fruto no alcanzará una maduración completa (Osuna et al., 2011). Durante este experimento se alcanzaron en promedio 22 °Bx siendo una de las variedades más dulces. Hidalgo *et al.* (1997), señalaron que los principales azúcares de esta variedad son fructosa y glucosa.

Durante la transferencia todos los frutos alcanzaron el máximo de °Bx sin importar en que día fueran transferidos de la misma forma que se comportó la firmeza durante este experimento, mediante estos dos parámetros se puede corroborar que esta variedad alcanza su madurez completa al ser transferida a 20°C durante 4 días.

6.1.5.2 Acidez titulable

La evaluación de los efectos principales de los factores estudiados y sus interacciones se muestra en la Tabla 19. Tanto la temperatura, la fecha de muestreo y los tratamientos tuvieron un efecto altamente significativo en la acidez

titulable; de igual manera las interacciones fecha de muestreo*temperatura y temperatura*tratamiento mostraron significancia estadística; mientras que las interacciones fecha*tratamiento y temperatura*fecha*tratamiento no fueron significativas.

Tabla 19. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la acidez titulable en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	406.0905	<.0001
Días	3	84.7230	<.0001
Tratamiento	7	11.7128	<.0001
Días*Tratamiento	21	1.4494	0.0902
Temperatura*Tratamiento	7	2.0473	0.0478
Días*Temperatura	3	18.0430	<.0001
Temperatura*Días*Tratamiento	21	0.9588	0.5143

La comparación de medias de los diferentes factores significativos indicó que las muestras que estuvieron almacenadas a 13 °C mostraron valores mayores de acidez significativamente mayores (0.71 %) respecto de las muestras que fueron transferidas de 13 a 20 °C (0.44%). En cuanto a la fecha de muestreo, de manera lógica las muestras analizadas en el día 10 mostraron una acidez significativamente mayor (0.72 %) respecto de las analizadas en el día 14 (0.63%), en el día 18 (0.54%) y en el día 22 (0.41%). Por su parte los tratamientos CN/SI/SB y SN/SI/SB mostraron los valores más altos e iguales entre sí (0.67 y 0.65 % respectivamente) y significativamente diferentes a los demás tratamientos; los tratamientos que mostraron los valores más bajos fueron SN/CI/CB y CN/CI/CB (0.49%) pareciendo indicar que el no irradiar y no empacar en bolsa microperforada induce una menor pérdida de acidez mientras que irradiar y empacar en bolsas microperforadas induce una mayor pérdida de acidez.

Por su parte la interacción día*temperatura indicó, de manera lógica, que las muestras almacenadas a 13 °C mostraron los mayores valores de acidez aunque estos valores fueron diferentes entre los diferentes días de muestreo (0.89, 0.79, 0.64 y 0.47% para los días 10, 14, 18 y 22 días respectivamente) mientras que las muestras transferidas de 13 a 20 °C mostraron valores significativamente menores a las muestras de 13 °C pero iguales entre sí para los días 14 y 18 (0.46, 0.44%) y diferentes para los días 10 y 22 (0.55 y 0.36% respectivamente). Los resultados de los efectos de la temperatura y fecha de muestreo son lógicos ya que a más baja temperatura se espera que el metabolismo sea más lento y por lo tanto los valores sean mayores, mientras que en las transferencias a 20 °C se espera que el metabolismo se restablezca y por ello se reduzca la acidez.

Los efectos de los tratamientos se encuentran confundidos y al parecer tanto el empaque como la irradiación parecen tener un efecto importante en el comportamiento de los frutos durante el almacenamiento. De igual forma parece que el tratamiento con NO no tuvo un efecto significativo en los cambios de este parámetro (Tabla 20). Estos resultados no concuerdan con Eman *et al.*, 2013, que reportaron que el tratamiento con NPS 1mM provocó un retraso en la pérdida del ácido cítrico en frutos de mango 'Keitt'

Tabla20. Cambios en acidez titulable provocados por los tratamientos

Tratamiento	Acidez titulable (% Ac. Cítrico)
CN/SI/SB	0,6787 a
SN/SI/SB	0,6499 ab
CN/SI/CB	0,5964 abc
SN/CI/SB	0,5899 bc
CN/CI/SB	0,5745 c
SN/SI/CB	0,5550 cd
SN/CI/CB	0,4913 d
CN/CI/CB	0,4899 d

SNO/CNO: sin/con óxido nítrico, SI/CI: sin/con irradiación, SB/CB: sin/con empaque microperforado. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes (p < 0.05).

En la Figura 47 se muestra el comportamiento de la acidez titulable; se observa que el porcentaje de ácido cítrico disminuye conforme avanza el tiempo, esto es debido a que durante la maduración de los frutos climatéricos la acidez titulable decrece conforme se alcanza la madurez de consumo esto ha sido reportado por Wongmetha y Ke (2012) para frutos de mango cv. Jinghwang. Esta disminución puede ser debido a la reducción de los ácidos orgánicos debido a su consumo en el ciclo de Krebs o la conversión a azúcares durante el metabolismo respiratorio (Alves *et al.*, 2004). Los frutos que fueron transferidos de 13 a 20°C mostraron los menores valores de ácido cítrico, esto debido a que el proceso de maduración se retrasa por las bajas temperaturas.

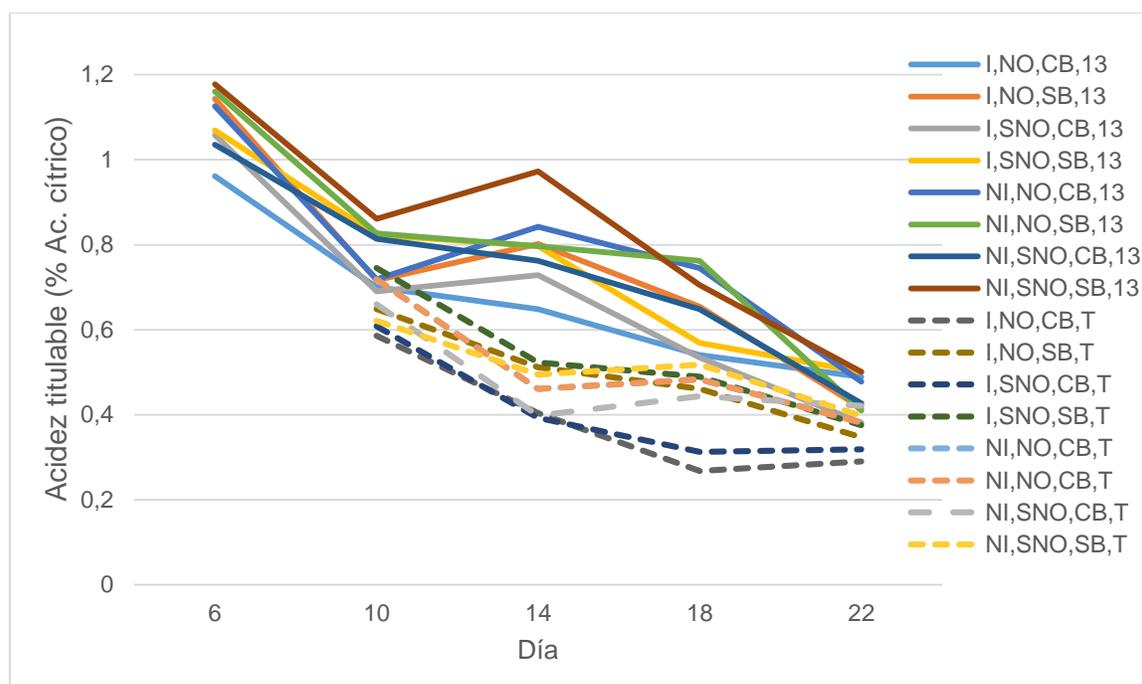


Figura 47. Acidez titulable (% Ácido cítrico) en mangos 'Manila', almacenados a 13 °C y transferencias de 13 °C a 20 °C (SNO/CNO: sin/con óxido nítrico; SI/I: sin/con irradiación; SB/CB: sin/con empaque microperforado; T/13: almacenados con transferencias de 13 °C a 20 °C/ 13 °C).

El bajo efecto del NO en la conservación de los frutos de mango 'Manila' no comparte las observaciones hechas en otras variedades de mango o con otros frutos aun cuando las concentraciones y tiempos de aplicación se encontraban dentro de las condiciones utilizadas en este estudio. Cheng *et al.*, (2009) aplicaron

durante 3 min soluciones de NPS a 5 mM infiltrada al vacío observando una menor producción de etileno, retención de firmeza y menor degradación del almidón, no obstante la muestra a tratar fue en rebanadas. Mientras que Eman *et al.* (2013) al tratar frutos de mango 'Keitt' por 10 min con soluciones de NPS de 0.5, 1 y 2 mM observaron una menor degradación de azúcares, color y acidez, retención de firmeza y menor incidencia de pudriciones. Meng-chen *et al.* (2007) al aplicar durante 3 h NO gaseoso a $10 \mu\text{L L}^{-1}$ en duraznos observaron una menor producción de etileno, causados por una disminución de la actividad de ACC sintasa y ACC oxidasa. Resultados similares a los anteriores autores describen Sing *et al.*, (2009) en ciruelas tratadas durante 2 h con 5, 10 y $20 \mu\text{L L}^{-1}$ de NO gaseoso y por Zhu *et al.*, (2006) en duraznos tratados con concentraciones similares de NO en el aire durante 2 h. Todos los efectos descritos parecen no haber ocurrido en el mango 'Manila'

6.2 Experimento 2

En función de los pocos efectos encontrados en el experimento 1, se hipotetizó si las soluciones de NPS utilizadas generaron el NO en las condiciones experimentales empleadas. Esta propuesta surgió de los reportes de Arnold *et al.*, (1984) quienes indicaron que las soluciones de NPS no eran estables y que el compuesto generaba NO como producto de su fotodegradación. Por ello se pensó que posiblemente el NO generado no fue suficiente para provocar los efectos esperados.

Por ello se estudió la cinética de degradación del NPS durante su exposición a la luz del laboratorio para determinar en qué tiempo era más apropiado aplicar la solución a los frutos de mango.

6.2.1 Identificación de la concentración óptima de óxido nítrico

Se prepararon soluciones de NPS 1 mM que fueron sometidas a la luz del laboratorio ($20\mu\text{W.cm}^{-2}$) durante 6 h, se tomó una muestra en el tiempo 0, 3 y 6h

de esa solución para determinar la formación de nitritos como una medición indirecta de la cantidad de NO. La Tabla 21 muestra la cantidad de nitritos generados y el % de degradación del NPS. La máxima degradación del NPS se alcanzó después de 4.5 h y se mantuvo constante hasta las 6 h. lo cual concuerda con Arnold *et al.*, 1986, quienes observaron que la degradación del NPS a la misma intensidad de luz ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) se detuvo a las 6 horas. También se puede observar que la exposición a la luz ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) provocó un incremento en el contenido de nitritos lo que se relaciona con un incremento en la cantidad de moléculas de NO. La exposición durante 3 horas mostró valores de 0.0121 mg/mL en comparación con 6 horas que liberó una mayor cantidad de NO (0.0218 mg/mL).

Tabla21. Degradación del NPS bajo la luz de laboratorio ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) durante 6 horas.

Tiempo (h)	% Degradado de NPS	Nitritos (mg/mL)
0	0	0,0072
0,5	0	-
1	2,125	-
1,5	5,125	-
2	7,375	-
2,5	8,125	-
3	13,875	0,0121
3,5	16,5	-
4	18,75	-
4,5	21,125	-
5	21	-
5,5	21,125	-
6	21,5	0,0218

La comparación mediante esta prueba permitió demostrar que al exponer una solución de NPS 1mM a una intensidad lumínica de $20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ durante 6 horas se incrementa la cantidad de moléculas de NO y que la solución expuesta durante 3 horas posee un 68% más de NO que la utilizada en el primer experimento, ya que esta fue utilizada en los primeros 5 minutos de su preparación.

Con los datos anteriores se realizó un ensayo preliminar con frutos de mango 'Manila' a los cuales se les aplicó la solución de NPS después de haber sido expuesta a la luz durante 3 y 6 h. La Figura 48 muestra los frutos expuestos a la solución de NPS 1mM durante esos tiempos; los frutos sometidos a la solución de NPS iluminada por 3 horas no presentaron daños superficiales. Mientras que los frutos expuestos a la solución de NPS iluminada durante 6 horas presentaron ligeros daños que podrían aumentar durante la maduración.

Por lo anterior se decidió utilizar, en el siguiente experimento, la solución de NPS 1 mM expuesta a la luz durante 3 horas aplicada con vacío.



Figura 48. Frutos de mango 'Manila' infiltrados al vacío (10 inHg por 3 min) con una solución 1mM de NPS expuesta la luz durante 3 (a) y 6 horas (b) durante 2 días a 13°C

Dado que el control de la marchitez en estos frutos es un aspecto importante a tener en cuenta; se decidió utilizar una cera recomendada para su uso en frutos de mango. Por ello en este experimento se usó de la cera en combinación con el tratamiento de NPS aplicado de acuerdo al inciso anterior.

6.2.2 Cambios en la Calidad poscosecha de los frutos.

6.2.2.1 Cambios en la calidad visual externa

La figura 49 muestra el aspecto visual externo de los frutos de mango a 13°C después de 22 días de almacenamiento, cada fruto representa al conjunto de frutos analizados durante cada muestreo. La aplicación de cera mostró una mejor apariencia de los frutos mientras que aquellos que fueron tratados con NO en combinación con la cera mostraron un retraso en la degradación de la clorofila y un menor desarrollo de carotenoides. Estos efectos estarían asociados a que las ceras evitan la transpiración del fruto y disminuyen el intercambio de gases y por ello pueden también disminuir el metabolismo del fruto. Los frutos encerados mostraron mayor brillo y mayor calidad visual; no obstante, también el NO pudo tener un efecto en retrasar el proceso de maduración. Este efecto se muestra en los frutos transferidos de 13 a 20°C (Figura 50) en donde los frutos del tratamiento SC/SN (sin cera/sin óxido nítrico) almacenados 14 días a 13°C y transferidos 4 días a 20°C (día 18) muestran una menor calidad, con inicios de marchitez y ataque por alternaria (*Colletotrichum gloeosporioides*) mientras que los tratados con ceras o con NO o combinados muestran una mejor condición visual.

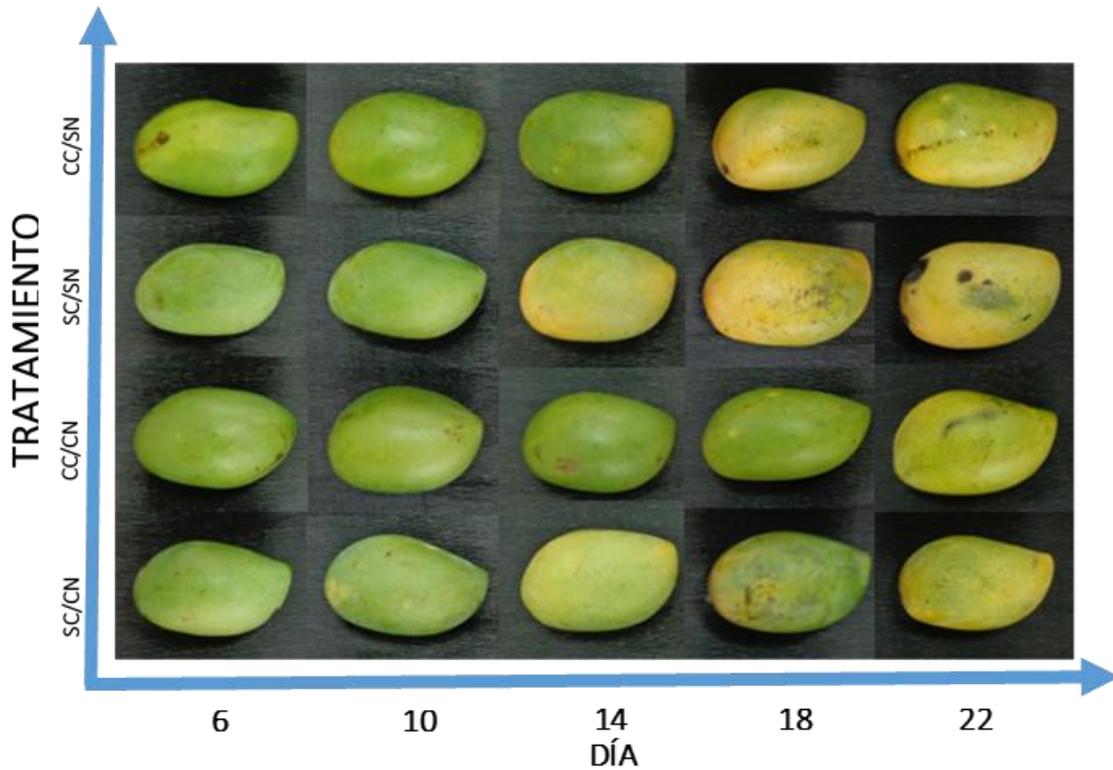


Figura 49. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico)

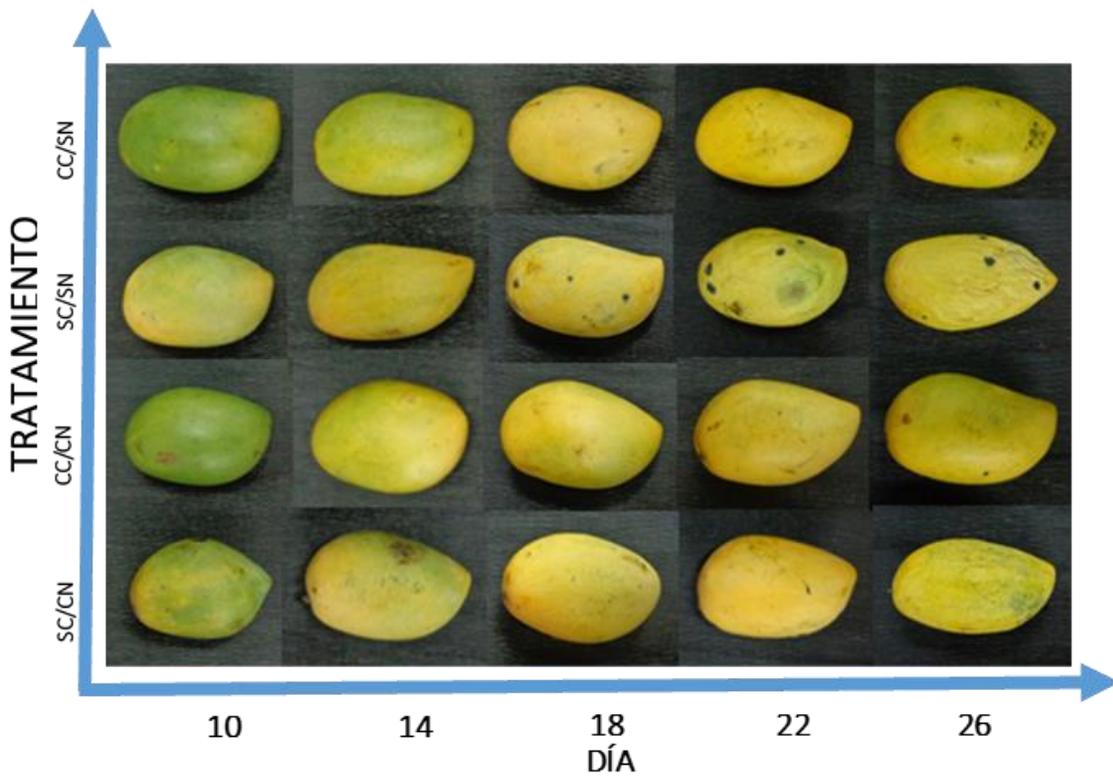


Figura 50. Cambios en la calidad visual externa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico)

Para el día 26 los tratamientos a los que se les aplicó cera (CC/SN y CC/CN) mostraron parámetros de calidad visual y firmeza aceptables para su consumo como se muestra en la Figura 51, cabe destacar que la vida de anaquel alcanzada en el laboratorio en condiciones óptimas de almacenamiento (13°C) y sin la aplicación de ningún tratamiento ha sido de 14 días. Mediante el uso de estos recubrimientos céreos y el NO se lograron 22 días de almacenamiento más 4 días a 20°C. Diversos autores como Hoa *et al.*, (2002) y Moalemiyan *et al.*, (2012) también reportaron un incremento en la vida de anaquel de diferentes variedades de mango atribuyendo este efecto principalmente a una disminución en el metabolismo y en la permeabilidad de la cutícula.



Figura 51. Comparación de calidad visual de frutos de mango cv. 'Manila' tratados con cera (arriba) y sin cera (abajo) almacenados durante 22 días a 13°C y transferidos 4 días a 20 °C

6.2.2.2 Cambios en la calidad visual interna

La maduración de la pulpa se vio afectada principalmente por la temperatura de almacenamiento, la maduración fue más lenta en los frutos almacenados a 13°C y transferidos a 20°C. En la Figura 52 se muestra el aspecto interno de los frutos almacenados a 13°C, la aplicación de cera tuvo un efecto significativo sobre la maduración de la pulpa ya que para el día 18 el tratamiento CC/SN (con cera, sin óxido nítrico) mostro menor síntesis de carotenoides que el control (SC/SN).

La aplicación de NO probablemente provoco una menor síntesis de etileno (SC/CN) comparado con el control (SC/SN); de igual forma redujo la síntesis de carotenoides. El tratamiento CC/CN (con cera, con óxido nítrico) fue el mejor para retrasar el proceso de maduración del fruto; los frutos de este tratamiento mostraron un retraso en el proceso de maduración comparado con los demás, estos frutos presentaron una coloración blanca en la pulpa hasta el día 10 después de la cosecha, mientras que en los demás tratamientos esta coloración solamente se presentó en los primeros 6 días.

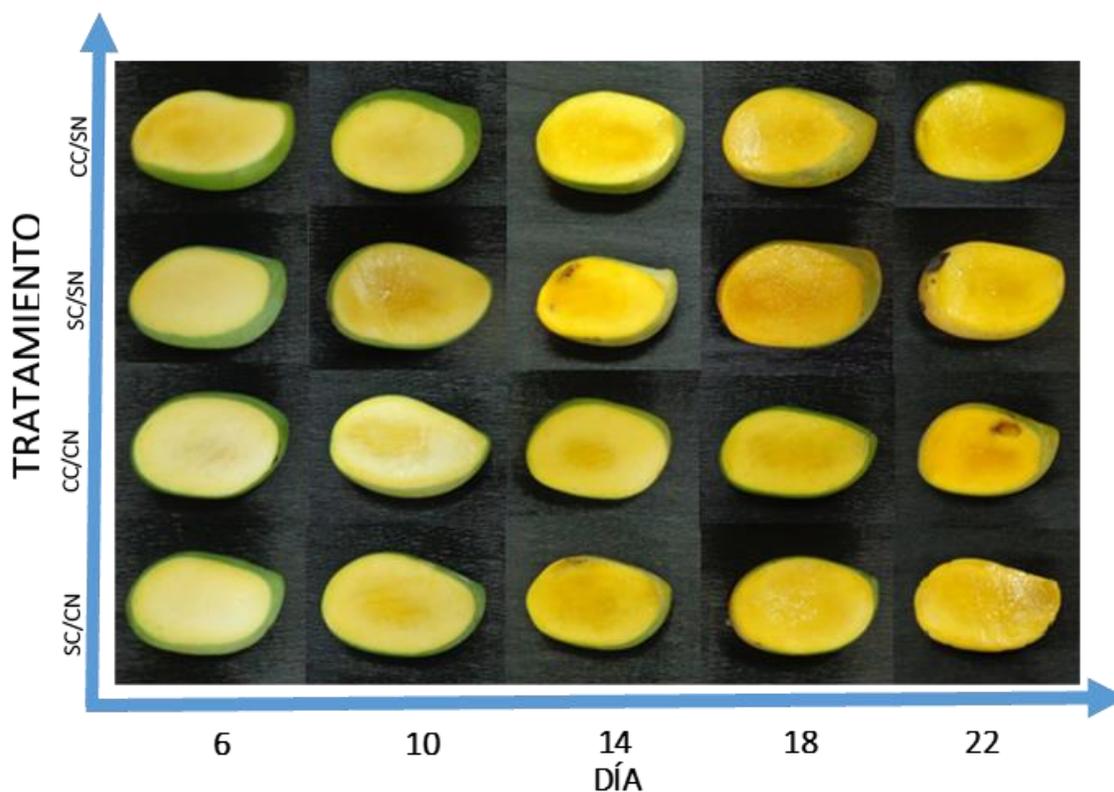


Figura 52. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico)

La síntesis de carotenoides en este tratamiento durante su almacenamiento se presentó de manera notoria hasta el día 18 en comparación

con los demás tratamientos que presentaron esta coloración desde el día 14, esto nos indica que hubo un retraso en la maduración estimada en 4 días.

La Figura 53 muestra la apariencia de los frutos transferidos de 13 a 20°C durante 4 días. La calidad visual de la pulpa no se vio afectada por los diferentes tratamiento; mediante esta comparación podemos observar que el proceso de maduración de la pulpa no se ve afectado por los tratamientos de cera y NO lo que representa una ventaja en el uso de los mismos.

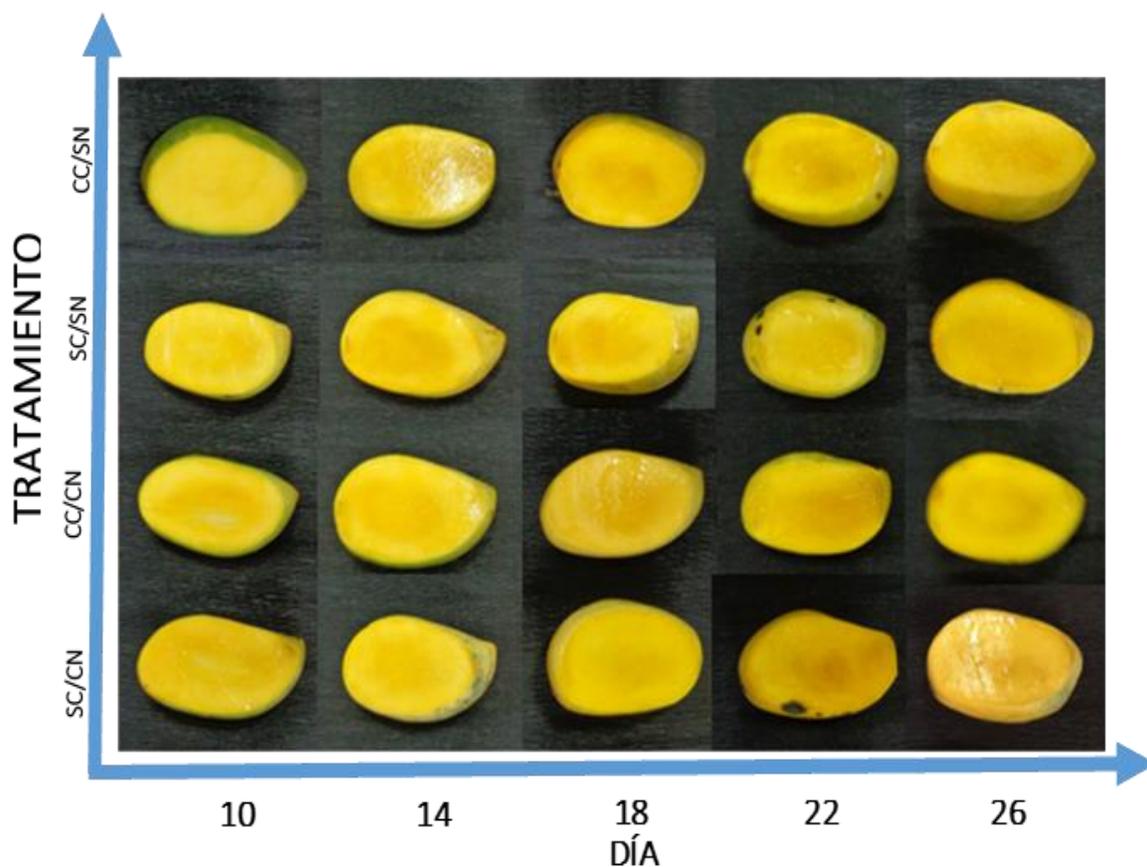


Figura 53. Cambios en la calidad visual interna de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico)

6.2.3 Análisis físicos

6.2.3.1 Pérdida de peso

En la Tabla 22 se muestra los resultados de los efectos principales así como las interacciones de los factores estudiados. La temperatura, la fecha de muestreo, el tratamiento así como la interacción temperatura*tratamiento y fecha de muestreo*tratamiento tuvieron un efecto altamente significativo en la pérdida de peso, no así la interacción temperatura*fecha y la interacción triple.

Tabla 22. Valores de probabilidad de los efectos principales de los factores estudiados en la pérdida de peso de frutos de mango Manila encerados, tratados con NO y almacenados a 13 °C y transferidos a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	154.1624	<.0001
Día	3	135.6274	<.0001
Temperatura*Día	3	2.277	0.0817
Trat.	3	347.7443	<.0001
Temperatura*Trat.	3	11.6343	<.0001
Día*Trat.	9	11.2628	<.0001
Temperatura*Día*Trat.	9	0.8077	0.6098

La comparación de medias de los diferentes factores significativos indicó que las muestras almacenadas a 13 °C y transferidas a 20 °C perdieron significativamente más peso (8.5%) respecto de las muestras almacenadas a 13 °C (5.9%) y, de manera lógica, las muestras almacenadas durante 22 días perdieron significativamente más peso (10.2%) que las de 18 (7.9%), las de 14 (6.1%) y las de 10 (4.6 %). Los tratamientos sin cera (SC/CN y SC/SN) mostraron mayores pérdidas de peso (10.5 y 10.6%) respecto de los tratamientos con ceras (CC/SN y CC/CN) que mostraron valores más bajos (3.8 %) esto representó un 60% menos de pérdida de peso.

A objeto de mostrar de manera más precisa el efecto de los tratamientos sobre la pérdida de peso durante su almacenamiento a las diferentes temperaturas, la Tabla 23 muestra la comparación de medias de todos los tratamientos en las distintas fechas de muestreo y temperatura de almacenamiento:

Tabla 23. Pérdida de peso con y sin el uso de ceras durante el almacenamiento y transferencia de 13 a 20°C.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)
22/SC/CN	15.00 a
22/SC/SN	14.79 a
18/SC/CN	11.85 b
18SC/SN	11.20 b
14/SC/CN	9.10 c
14/SC/SN	8.84 cd
10/SC/SN	6.95 de
10/SC/CN	6.31 ef
22/CC/CN	5.43 efg
22/CC/SN	5.42 efg
18/CC/SN	4.54 fgh
18CC/CN	4.00 ghi
14/CC/SN	3.40 hi
14/CC/CN	3.23 hi
10/CC/CN	2.80 hi
10/CC/SN	2.44 i

SC/CC: sin/con cera, SN/CN; con/sin óxido nítrico, 13/T; almacenados durante 10 a 22 días.. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Los datos anteriores permiten señalar con claridad que los frutos sin cera perdieron más peso que aquellos que fueron encerados. Por ejemplo, a los 22 días de almacenamiento los frutos sin cera y tratados o no con NO perdieron 14.8 a 15 % respecto de la pérdida de peso mostrada por los frutos encerados y tratados o no con NO (5.4%). Este comportamiento, significativamente diferente, se repitió para los demás días de muestreo lo cual permite señalar que la cera

tuvo un efecto determinante en el control de la pérdida de peso y marchitez del fruto.

La Figura 54 muestra los cambios de la pérdida de peso en todos los tratamientos y temperaturas durante el almacenamiento de los frutos. Se observa como ya se ha establecido, que además del encerado la temperatura tiene un efecto claramente determinante; las muestras que estuvieron a 13 °C mostraron menores pérdidas de peso respecto de las que se transfirieron a 20 °C.

También se ha reportado que la cutícula juega un papel importante en el control de la pérdida de peso (Salisbury y Ross 1992 citado por Pérez *et al.*, 2006) y debido al deterioro que sufre durante el proceso de maduración es importante el uso de los recubrimientos céreos. Estos resultados concuerdan con Zambrano *et al.*, 1995 quienes recubrieron frutos de mango de dos diferentes variedades 'Palmer' y 'Keitt' con ceras comerciales y observaron una menor pérdida de peso durante 18 días de almacenamiento.

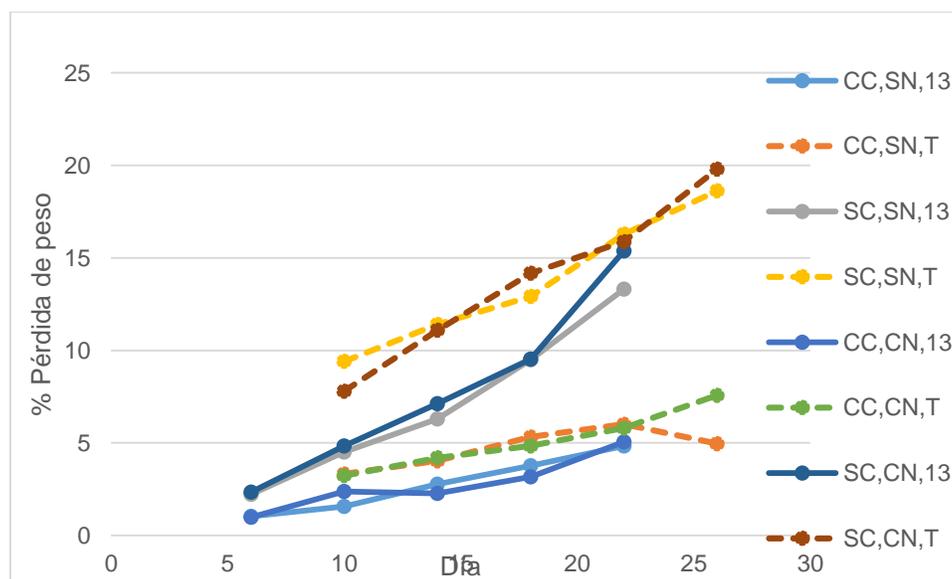


Figura 54. Cambios en la pérdida de peso de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

No obstante, de que en la calidad visual pareció mostrar que la aplicación de NO retrasó la maduración del fruto esto no fue un factor significativo en la pérdida de peso ya que se puede observar que los tratamientos con la aplicación de NO se comportan de la misma manera que los tratamientos a los cuales no se les aplicó dicho tratamiento.

6.2.3.2 Cambios en valores de color

Las Tablas 24 y 25 muestran la evaluación de los efectos principales así como de las interacciones de los valores de color a^* y matiz (hue) del color externo de los frutos.

Tabla 24. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el valor de color a^* externo en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	139.7058	<.0001
Día	3	28.3390	<.0001
Temperatura*Día	3	0.2569	0.8563
Trat.	3	4.2905	0.0061
Temperatura*Trat.	3	2.7022	0.0474
Día*Trat.	9	0.8066	0.6108
Temperatura*Día*Trat.	9	0.9757	0.4622

Tabla 25. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el matiz del color externo en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	160.3565	<.0001
Día	3	35.0253	<.0001
Temperatura*Día	3	1.2925	0.2789
Trat.	3	3.5181	0.0165
Temperatura*Trat.	3	3.3244	0.0212
Día*Trat.	9	1.0111	0.4334
Temperatura*Día*Trat.	9	0.8416	0.5789

En ambos parámetros de color los factores temperatura, fecha de muestreo y tratamiento mostraron efectos altamente significativos así como la interacción temperatura*tratamiento mostró efectos significativos.

Los valores de a^* fueron significativamente menores en las muestras almacenadas a 13 °C (-4.0) que las muestras transferidas de 13 a 20 °C (0.93) y de igual forma el matiz de estas muestras fue significativamente mayor para los frutos almacenados a 13 °C (98.8) respecto de los frutos transferidos de 13 a 20 °C (88.9).

De forma lógica los valores de a^* cambiaron significativamente al pasar de negativos (en el día 10) a positivos a medida que avanzó la maduración de los frutos (de -5.13 a 0.47) mientras que el matiz disminuyó en ese mismo periodo de 99.8 a 90. Respecto de los tratamientos se observó con claridad que los frutos sin encerar cambiaron más profundamente su valor de a^* (-1.2) y su valor de matiz (92.7) respecto de los que estuvieron encerados (valores de a^* -2.2 a -3.4 y valores de matiz de 95 a 94) sin observarse efectos de la aplicación del NO.

La Tabla 26 muestra la comparación de medias de ambos valores de color externo en frutos de mango ‘Manila’ sometidos a los diferentes tratamientos y almacenados a 13 °C y transferidos a 20 °C.

Tabla 26 Cambios de color externo en a* y matiz de frutos de mango Manila sometidos a diferentes tratamientos y almacenados a 13 °C y transferidos de 13 a 20 °C

Tratamiento/Temp	Valor de a*	Tratamiento/Temp	Valor matiz (Hue)
SC/CN/T	2.3 a	CC/CN/13	100.6 a
SC/SN/T	2.2 a	SC/CN/13	99.3 a
CC/SN/T	-0.4 a	SC/SN/13	98.1 a
CC/CN/T	-0.5 a	CC/SN/13	97.1 a
CC/SN/13	-4.0 b	CC/CN/T	91.1 b
SC/SN/13	-4.5 b	CC/SN/T	91.0 b
SC/CN/13	-4.9 b	SC/SN/T	87.1 b
CC/CN/13	-6.3 b	SC/CN/T	86.6 b

SC/CC: sin/con cera, SN/CN; con/sin óxido nítrico, 13/T; almacenados durante 10 a 22 días.. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

En la Figura 55 se muestra el comportamiento del valor a* durante su almacenamiento a 13°C y su transferencia a 20°C durante 4 días. No se observaron diferencias significativas en a* durante el almacenamiento.

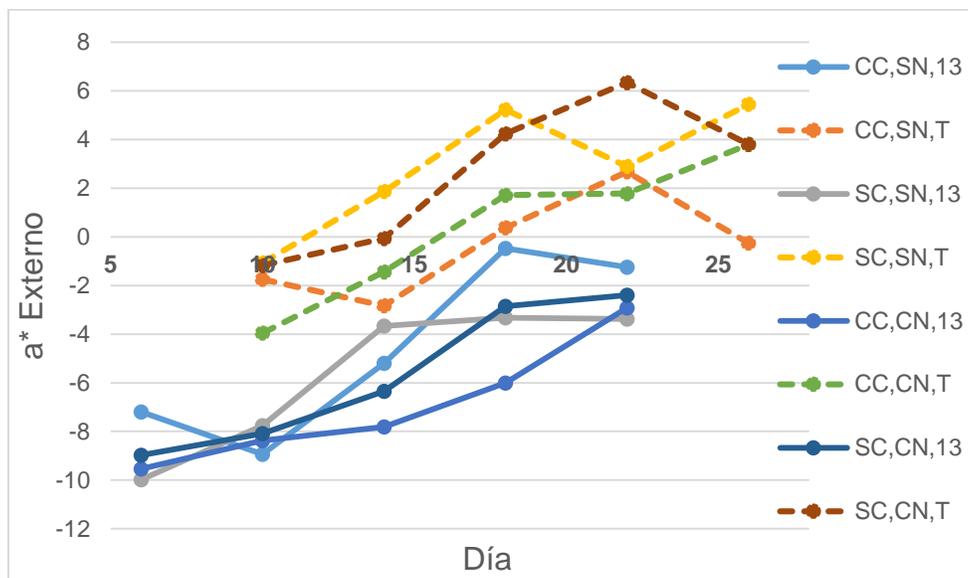


Figura 55. Cambios valores de a^* externos de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

En la Figura 56 se muestran los valores de Hue que representa el cambio de color de los diferentes tratamientos, se observa que los frutos almacenados a bajas temperaturas poseen valores más altos lo que nos indica un color más verde (los valores cercanos a 120 representan el color verde y los cercanos a 60 el color amarillo).

Durante el almacenamiento no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, fue durante la transferencia que se pudo observar una diferencia en Hue entre los tratamientos a los que se les aplicó cera (CC/SN/T, CC/CN/T) y a los que no les fue aplicado este tratamiento (SC/SN/T, SC/CN/T). La diferencia más clara se observó en el día 18 en donde los frutos encerados mostraron valores de 88 – 89 comparado con los no encerados que muestran valores de 81 – 82 estos datos indican que la cera aplicada a los frutos de mango 'Manila' retrasa su maduración durante su transferencia, al transferir los frutos a una temperatura mayor estos aumentan su tasa de respiración, acelerando su metabolismo.

La cera controla de manera eficiente el intercambio de gases durante la transferencia alargando la vida de anaquel durante la simulación de mercadeo.

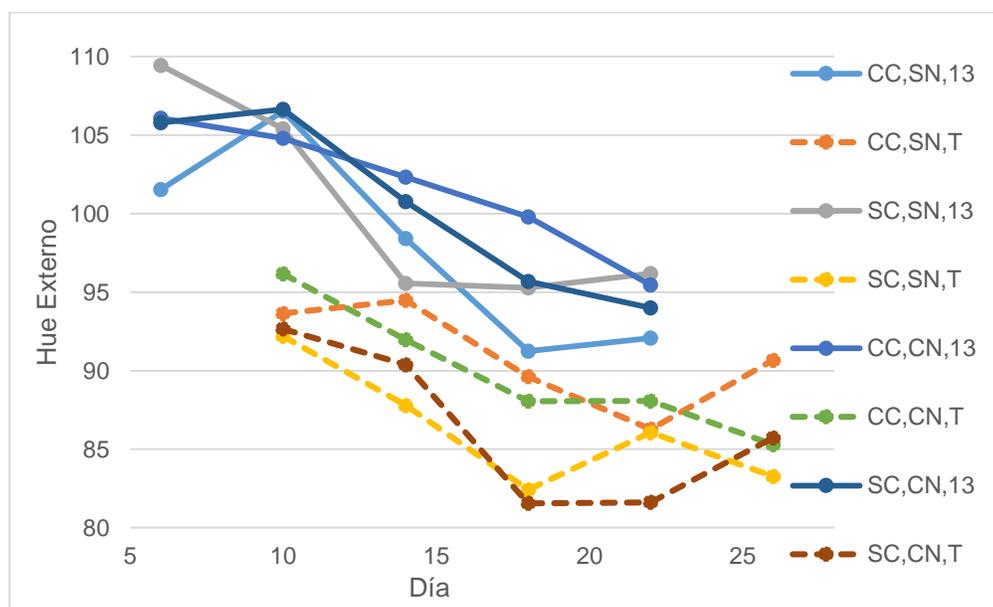


Figura 56. Cambios valores de Hue externos de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

Los cambios de color interno se vieron afectados de la misma manera que los externos por la temperatura de almacenamiento: Los frutos almacenados a 13°C mostraron signos de retraso en la maduración como menor síntesis de carotenoides. Los recubrimientos cerosos no afectaron la coloración de la pulpa, este comportamiento no concuerda con Fonseca *et al.*, (2004), y Abbasi, (2011) quienes observaron un retraso en la maduración de la pulpa mediante la aplicación de ceras en mango.

6.2.3.3 Firmeza

La tabla 27 muestra la evaluación de los efectos principales así como las interacciones de los factores estudiados. Todos los factores y sus interacciones afectaron de manera significativa la pérdida de firmeza en los frutos de mango.

Los frutos almacenados a 13 °C presentaron valores significativamente mayores de firmeza (9.3 N) que los almacenados a 13 °C y transferidos a 20 °C (5.6 N); de forma lógica a la maduración de los frutos, los analizados el día 10 registraron valores significativamente mayores de firmeza (10.6 N) respecto de los almacenados durante 14 días (7.9 N), a los 18 días (6.3 N) y de aquellos almacenados por 22 días (4.9 N). Los frutos encerados y con aplicación de NO (CC/CN) mostraron los valores más altos de firmeza (10.5 N), respecto de aquellos encerados y sin aplicación de NO (8.8 N); los frutos sin aplicación de cera y con o sin NO mostraron los valores más bajos pero iguales entre sí (5.2 N).

Tabla 27. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la firmeza de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	136.0169	<.0001
Día	3	59.4664	<.0001
Temperatura*Día	3	23.3496	<.0001
Trat.	3	68.6705	<.0001
Temperatura*Trat.	3	12.1992	<.0001
Día*Trat.	9	2.8123	0.0043
Temperatura*Día*Trat.	9	3.1737	0.0015

Respecto de la interacción temperatura*fecha de muestreo el conjunto de muestras almacenadas a 13 °C mostraron los valores más altos de firmeza y de manera lógica aquellas muestras analizadas el día 10 mostraron los valores más altos (14.4 N); mientras que los analizados el día 22 registraron los valores más bajos (5.9 N). Para los frutos transferidos de 13 a 20 °C, los analizados los días 10, 14 y 18 registraron valores estadísticamente similares entre sí (6.8 a 5.4 N) y los del día 22 registraron los valores más bajos (4.6 N).

La interacción temperatura*día*tratamiento muestra diferencias estadísticas entre varios conjuntos de datos analizados, destacándose que las muestras almacenadas durante 10 y 14 días a 13 °C y tratadas con cera y NO mostraron los valores más altos de firmeza (20.2 y 17.7 N respectivamente). Las demás muestras y durante el almacenamiento posterior no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos de ceras y NO observándose una amplia variabilidad en los datos. Estos datos permiten inferir que la cera como el tratamiento de NO tuvieron un efecto positivo en la retención de la firmeza, aunque esto solo se observó en los primeros días de almacenamiento y a 13 °C.

Uno de los parámetros de calidad más importantes para que se toma en cuenta para definir la vida de anaquel del mango es la firmeza, este junto con la calidad visual son los factores limitantes en la exportación del mango 'Manila' hacia mercados extranjeros. El mango 'Manila' además de ser muy susceptible a la pérdida de calidad visual es la variedad que posee menor firmeza al momento de su cosecha. Mercado-Silva (2010), clasificó distintas variedades de mango de acuerdo a su firmeza, utilizando una prueba de compresión del fruto integro, y reportó que el mango 'Manila' posee valores de firmeza 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).

La molécula de NO es conocida por provocar la inhibición de la biosíntesis de etileno, y también por provocar la inhibición de enzimas asociadas al ablandamiento en mango como la poligalacturonasa y β -galactosidasa. Zaharah y Singh. (2011) reportaron que la aplicación de este compuesto retrasa efectivamente el ablandamiento en mango.

La mayor firmeza de los frutos tratados con cera respecto de los no tratados se explica porque la cutícula es la encargada de regular los procesos de intercambio de gases y selectividad de moléculas de agua y al mismo tiempo ayudan a mantener la integridad de la cutícula. Petit-Jiménez *et al.*, (2009)

reportaron que el tratamiento hidrotérmico produce un cambio en la ultraestructura de la cutícula del mango, observando diferencias en el arreglo estructural de las ceras en la superficie cuticular entre los frutos con tratamiento hidrotérmico y el control. Petit-Jiménez *et al.*, (2007) observaron cambios en la composición y ultraestructura de la cutícula durante el crecimiento, desarrollo y almacenamiento en tres variedades de mango. Los autores concluyeron que la mayor eficiencia de la cutícula en regular la pérdida de agua ocurrió al momento de la cosecha y se relacionó con los cambios en la ultraestructura y contenido de las ceras cuticulares. Kosma *et al.*, (2010) trabajando con muestras mutantes de tomate: inhibidor de la maduración, no-madurador y un retardador de la maduración encontraron diferencias significativas tanto en la composición de la cera como en los monómeros de la cutina entre las diferentes variedades durante su desarrollo y correlacionaron los cambios cuticulares con la producción de etileno, degradación de la pared celular y color, observando que la actividad de los genes de estas variedades mutantes no solo afectan el desarrollo del fruto sino que también están involucrados en la regulación de procesos de desarrollo temprano, con un efecto directo sobre la síntesis de la cutícula.

En la Figura 57 se muestran los cambios en la firmeza durante el almacenamiento a 13°C y la transferencia de 13 a 20 °C. La interacción cera/óxido nítrico (CC/CN) mostro diferencias significativas comparado con los demás tratamientos. El tratamiento CC/CN/13 (con cera, con óxido nítrico y almacenados a 13°C) mantuvo la firmeza en valores más altos durante el almacenamiento a 13°C. Después de este tratamiento, el tratamiento con cera y sin aplicación de NO a 13 °C (CC/SN/13) mostró un comportamiento similar pero con menor firmeza como se anotó en el análisis estadístico general. También se puede observar que los frutos almacenados sin la aplicación de la cera pierden drásticamente su firmeza observándose que el tratamiento sin aplicación de cera ni de NO a 13°C (SC/SN/13) perdió el 62% de su firmeza durante los primeros 10 días de almacenamiento comparado con el mejor tratamiento que perdió el solamente el 27%.

La transferencia de los frutos de 13 a 20°C probablemente activó las enzimas de degradación de la pared celular. No obstante, también los frutos tratados con cera muestran el doble de firmeza que el control. Estos resultados sugieren que la menor pérdida de agua mantiene más alta la turgencia del fruto y eso mantiene una mejor firmeza de los frutos; los datos de pérdida de peso confirman esta observación puesto que en el día 26 la pérdida de peso en los frutos encerados solo alcanzó el 6% en comparación con el 20% que perdieron los frutos no encerados.

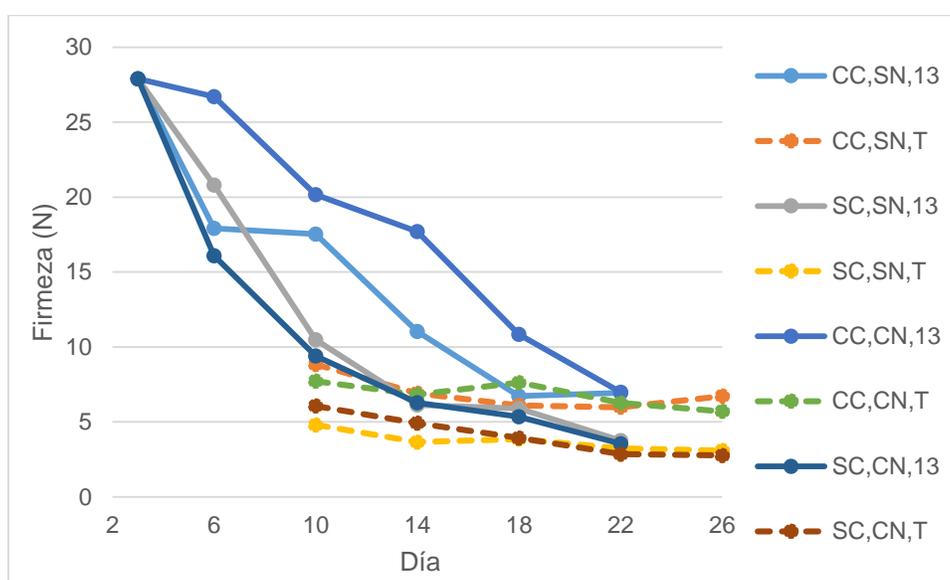


Figura 57. Cambios en firmeza de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

Los análisis de los frutos transferidos de 22 días de almacenamiento a 13 °C a 20 °C por cuatro días mostró que los tratamientos con cera tuvieron los valores más altos (5.4 a 6.7 N) mientras que los no encerados mostraron los valores más bajos (2.7 a 3.4 N). No se observaron efectos de la aplicación de NO durante la transferencia.

6.2.4 Análisis Químicos

6.2.4.1 Sólidos solubles totales

La Tabla 28 muestra la evaluación de los efectos principales así como las interacciones de los factores estudiados sobre este factor. Los factores principales, temperatura, días de almacenamiento y tratamiento fueron altamente significativos así mismo también las interacciones temperatura*días de almacenamiento y temperatura*tratamiento fueron significativas.

Como era de esperarse, los frutos transferidos de 13 a 20 °C mostraron valores de SST significativamente mayores (18.1°Bx) respecto de los frutos almacenados a 13 °C (17.2°Bx). También de forma lógica los frutos analizados el día 22 mostraron valores significativamente mayores (18.7°Bx) que los analizados el día 14 y 18 (17.7°Bx) o los analizadas el día 10 (16.4°Bx). Respecto del efecto de los tratamientos aquellos frutos sin aplicaciones de cera y con aplicación de NO mostraron los valores más altos (18.6°Bx) mientras que los frutos encerados y con la aplicación de NO mostraron los valores más bajos (17.0°Bx) los demás tratamientos (SCSN y CCSN) mostraron valores intermedios y estadísticamente iguales entre sí (17.8 y 17.1°Bx, respectivamente).

Tabla 28 Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre el contenido de sólidos solubles de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	20.9095	<.0001
Día	3	20.7025	<.0001
Temperatura*Día	3	5.8250	0.0008
Trat.	3	13.5859	<.0001
Temperatura*Trat.	3	4.7383	0.0034
Día*Trat.	9	1.7097	0.0907
Temperatura*Día*Trat.	9	2.0383	0.0383

La Tabla 29 muestra la comparación de medias de las interacciones temperatura*día de almacenamiento y tratamiento*día de almacenamiento.

Tabla 29 Interacciones temperatura*día y días*tratamiento en el contenido de sólidos solubles de frutos de mango Manila tratados con ceras y NO durante su almacenamiento.

Temperatura*día	Valor media SST	Días*tratamiento	Valor media SST
T,22	19.0 a	22/SC/CN	19.8 a
13,22	18.3 ab	22/SC/SN	19.5 ab
T,14	18.2 ab	18/SC/CN	18.7 abc
13,18	17.8 ab	14/SC/CN	18.2 abcd
T,18	17.7 b	22/CC/SN	18.1 abcde
T,10	17.5 b	14/SC/SN	18.0 abcde
13,14	17.2 b	10/SC/CN	17.8 abcde
13,10	15.2 c	18/CC/SN	17.8 abcde
		18/SC/SN	17.7 bcde
		14/CC/CN	17.4 cde
		14/CC/SN	17.3 cde
		22/CC/CN	17.3 cde
		18/CC/CN	16.9 cdef
		10/CC/CN	16.3 def
		10/SC/SN	16.2 ef

SC/CC: sin/con cera, SN/CN; con/sin óxido nítrico, 13/T; almacenados durante 10 a 22 días. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Los frutos trasferidos de 13 a 20 °C y almacenados durante 22 días mostraron valores significativamente diferentes y mayores (19.0°Bx) respecto de los frutos almacenados a 13 °C durante 10 días (15.2°Bx); todas las demás combinaciones de temperaturas y tiempos de almacenamiento fueron estadísticamente iguales entre sí registrando valores de 17.2 a 18.3 °Bx. La interacción días*tratamiento no muestra una clara tendencia entre los tratamientos

aunque se percibe que los frutos que no fueron encerados tendieron a registrar valores más altos de SST respecto de los que fueron encerados los cuales tendieron a mostrar los valores más bajos. No se percibió un efecto significativo de la aplicación de NO.

La Figura 58 muestra los cambios de los SST durante el almacenamiento a 13°C y la transferencia de 13 a 20°C. A medida que el fruto maduró los SST aumentaron desde 11.5 °Bx hasta los valores finales registrados lo cual indicó que los frutos utilizados para este experimento estaban en estados más avanzados que la madurez fisiológica (valores de 8 °Bx, amerita la referencia de la página 99) y esto indicaría, con una mayor seguridad, que los días de almacenamiento podrían ser mayores si se utilizaran frutos con madurez fisiológica (con 8°Bx). El tratamiento SC/SN/13 presentó la mayor ganancia en SST de 14 a 19.5 °Brix.

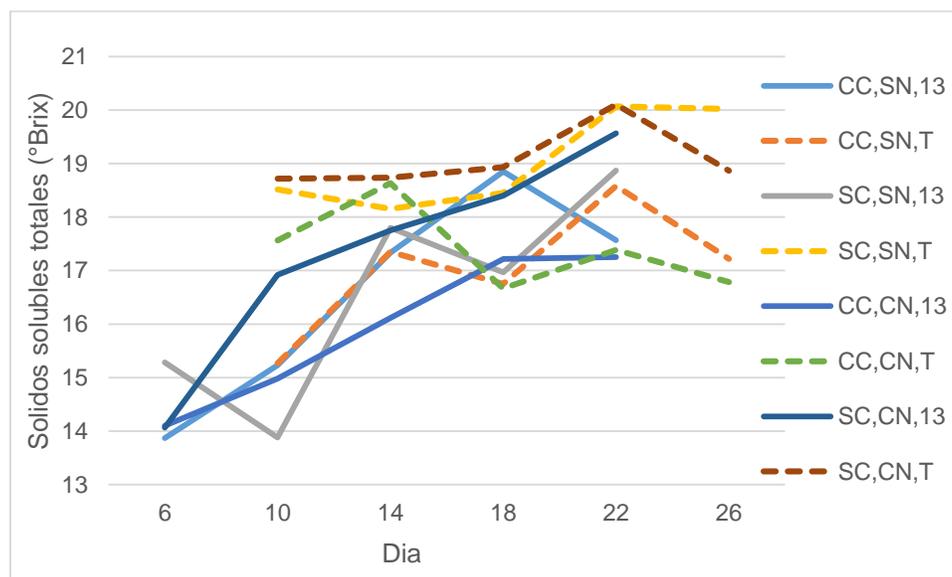


Figura 58. Cambios en los Solidos solubles totales de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

Los análisis de los frutos transferidos de 22 días de almacenamiento a 13 °C a 20 °C por cuatro días no mostró diferencias significativas entre los tratamientos mostrando valores entre 17.1 a 19.7 °Bx.

En términos generales se acepta que la cera funciona como una barrera a los gases que podría alterar la composición de la atmósfera interna del fruto, lo cual podría reducir el metabolismo respiratorio y por tanto una menor demanda de carbohidratos que genera un retraso en la evolución de los sólidos solubles. Esto es debido a que la cera provoca un retraso en la maduración del fruto lo que afecta directamente a la degradación del almidón provocando una menor concentración de azúcares. Sin embargo al igual que este experimento diversos autores han reportado un menor desarrollo de SST en frutos de mango con la aplicación de ceras pero todos con tendencias poco claras o sin diferencias estadísticas; Hoa *et al.*, (2002) reportaron un retraso en la producción de los SST en frutos de mango 'Kent', 'Tommy Atkins' y 'Lirfa' a los cuales se les aplicó recubrimientos cerosos. Castrillo y Bermudez (1992) estudiaron el efecto de dos tipos de cera en mango 'Bocado' y observaron que a concentraciones del 20% se provoca una menor degradación del almidón y azúcares en el fruto, pero esta tendencia no fue clara durante el análisis estadístico. Baldwin *et al.*, (1999) tampoco reportaron diferencias significativas en el desarrollo de los SST mediante el uso de dos tipos de ceras en mango 'Tommy Atkins'. Por su parte, Cáceres *et al.*, (2002) reportaron que la cera de esteres de sacarosa en mango 'Super Haden' provocó un retraso en el desarrollo de los SST pero no reportaron diferencias significativas.

6.2.4.2 Acidez titulable

La Tabla 30 muestra la evaluación de los efectos principales así como las interacciones de los factores estudiados sobre este factor.

Los frutos almacenados a 13 °C mostraron valores significativamente más altos de acidez (1.02%) respecto de los frutos transferidos de 13 a 20 °C (0.77%). De forma lógica la acidez disminuyó conforme transcurrió la maduración, los frutos analizados el día 10 mostraron valores de acidez significativamente mayores (1.46 %) seguidos por los frutos almacenados durante 14 días (1.16 %) y finalmente los frutos almacenados durante 18 y 22 días mostraron los valores más bajos (0.86 y

0.67% respectivamente) pero estadísticamente similares entre sí. Los tratamientos aplicados como las interacciones de los factores estudiados no fueron estadísticamente significativos.

Tabla 30 Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la acidez titulable de frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Temperatura	1	82.9560	<.0001
Día	3	33.6721	<.0001
Temperatura*Día	3	2.3499	0.0745
Trat.	3	1.8359	0.1428
Temperatura*Trat.	3	1.8943	0.1327
Día*Trat.	9	1.0734	0.3853
Temperatura*Día*Trat.	9	1.7389	0.0842

En la Tabla 31 se muestra la comparación de medias entre la interacción temperatura*día de muestreo; los frutos almacenados a 13 °C y almacenados por 10 y 14 días mostraron los valores más altos (1.82 y 1.46 %) mientras que aquellos que fueron transferidos de 13 a 20 °C después de 14 a 22 días mostraron los valores más bajos pero estadísticamente iguales entre sí (0.53 a 0.85%).

Tabla 31. Interacciones temperatura*día en la acidez titulable de frutos de mango Manila tratados con ceras y NO durante su almacenamiento.

Temperatura*Día	Acidez titulable (% ac. cítrico)
13/10	1,82 a
13/14	1,46 a
13/18	1,12 b
T/10	1,09 bc
T/14	0,85 cd
13/22	0,82 cd
T/18	0,59 cd
T/22	0,52 d

13/T; almacenados durante 10 a 22 días. Las medias son valores de tres mangos y tres réplicas por tratamiento. Las letras distintas son significativamente diferentes (p < 0.05).

La Figura 59 muestra los cambios de la acidez durante el almacenamiento de los frutos. Como ya se ha anotado los frutos almacenados a 13 °C muestran mayores contenidos de acidez mientras que los transferidos muestran valores menores hasta los 18 días y después de este periodo los valores tienden a ser muy parecidos. No se observaron efectos significativos por los tratamientos de NO ni los recubrimientos céreos, esto no concuerda con Moalemiyan *et al.*, 2012 quienes observaron un retraso en la disminución del porcentaje de ácido cítrico en mango ‘Ataulfo’ recubierto con cera a base de pectina, es posible que la mayor actividad metabólica de este fruto genere los comportamientos señalados.

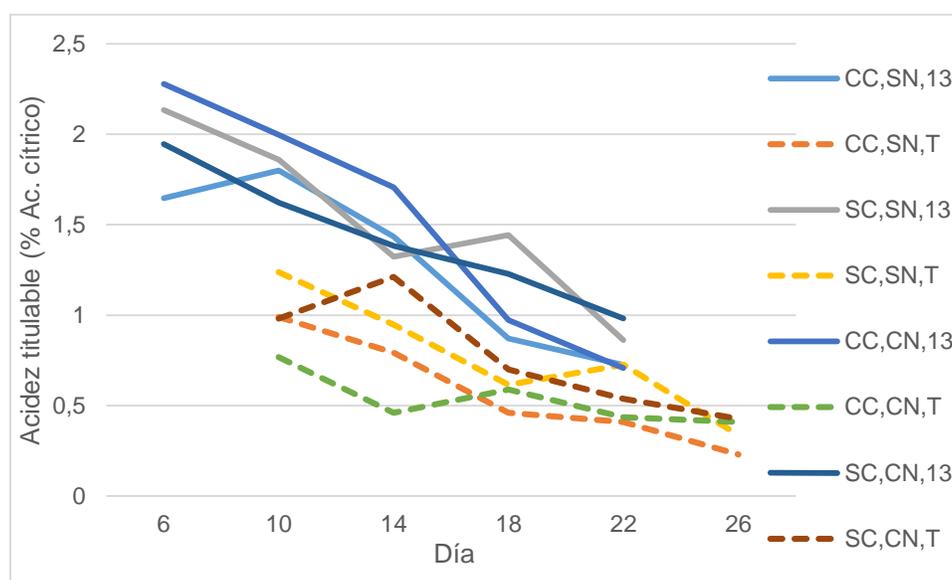


Figura 59. Cambios en la acidez titulable de frutos de mango cv. ‘Manila’ durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

Los análisis de los frutos transferidos de 22 días de almacenamiento a 13 °C a 20 °C por cuatro días no mostró diferencias significativas entre los tratamientos registrándose valores entre 0.36 a 0.45 % de ácido cítrico.

6.2.4 Análisis enzimáticos en la pulpa de los frutos

La firmeza de los frutos se ha relacionado con la menor actividad de las enzimas asociadas a la degradación de la pared celular. Con el objeto de

relacionar la pérdida de firmeza con la actividad hidrolítica de la pared celular, se midió la actividad de dos enzimas asociadas a la degradación de la pectina en frutos de mango 'Manila' encerados y no encerados así como tratados o no tratados con NO.

6.2.4.2 Actividad de Pectinmetilesterasa (PME)

La Tabla 32 Muestra los valores de probabilidad de los efectos de los factores principales y sus interacciones en la actividad de la enzima PME. El factor tratamiento y el día de análisis fueron factores altamente significativos al igual que las interacciones tratamiento*temperatura y día de muestreo*temperatura.

Tabla 32 Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la actividad de PME en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C.

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Tratamiento	1	40.6923	<.0001
Día	3	101.2051	<.0001
Trat*Día	3	7.4615	0.0006
Temperatura	1	0.6923	0.4115
Trat*Temp	1	105.3077	<.0001
Día*Temp	3	14.2308	<.0001
Trat*Día*Temp	3	1.5128	0.2300

Los frutos tratados con ceras y con NO mostraron los valores más altos de actividad de esta enzima ($2.29 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$) mientras que los frutos no encerados y sin NO registraron los valores más bajos ($2.14 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$); la actividad fue mayor en el día 10 ($2.46 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$) y disminuyó a medida que avanzó la maduración registrándose valores de $2.29 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el día 14; $2.17 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el día 18 y $1.92 \text{ meqH}^*\text{mL}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el día 22.

La Tabla 33 muestra la comparación de medias de las distintas interacciones que fueron significativas para la actividad de esta enzima. La actividad fue mayor en los frutos encerados y tratados con NO después de 10 días de almacenamiento a 13 °C; esta actividad tendió a disminuir durante el almacenamiento observándose los menores valores de actividad en los frutos no encerados y sin tratamiento de NO o a los 22 días de almacenamiento.

Tabla 33 Actividades de PME en la pulpa de frutos de mango encerados o no; y tratados o no con NO durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C.

Trat*día	media	Trat*temp	media	Día*temp	media
CC/CN,10	2.62 a	CC/CN,13	2.41 a	10,13	2.52 a
CC/CN,14	2.34 b	SC/SN,T	2.24 b	10,T	2.39 a
SC/SN,10	2.29 b	CC/CN,T	2.16 c	14,13	2.39 a
SC/SN,14	2.24 bc	SC/SN,13	2.03 d	18,T	2.22 b
CC/CN,18	2.22 bc			14,T	2.19 b
SC/SN,18	2.12 c			18,13	2.12 bc
CC/CN,22	1.94 d			22,T	1.99 c
SC/SN,22	1.89 d			22,13	1.84 d

La Figura 60 muestra los cambios en la actividad de esta enzima en la pulpa de los frutos almacenados en sus dos condiciones de almacenamiento. La actividad de la PME disminuyó con respecto al tiempo pareciendo mostrar mayor actividad los frutos encerados y tratados con NO (CC/CN/13) y almacenados a 13 °C. Este comportamiento ha sido reportado en otras variedades de mango como 'Kensington Pride' (Zaharah y Singh 2011) y en 'Nam Dokmai' (Ketsa y Daengkanit, 1999). Sin embargo el tratamiento CC/CN/13 mostró una disminución más lenta que el control durante el almacenamiento a 13°C. La PME cataliza la desesterificación de la pectina generando metanol y ácido poligalacturónico, el cual es un sustrato fácilmente atacable por la poligalacturonasa (PG). Por ello una actividad de esta enzima supondría un posterior incremento de la actividad de PG

y por tanto una mayor degradación de la pared con la consecuente pérdida de firmeza de los frutos.

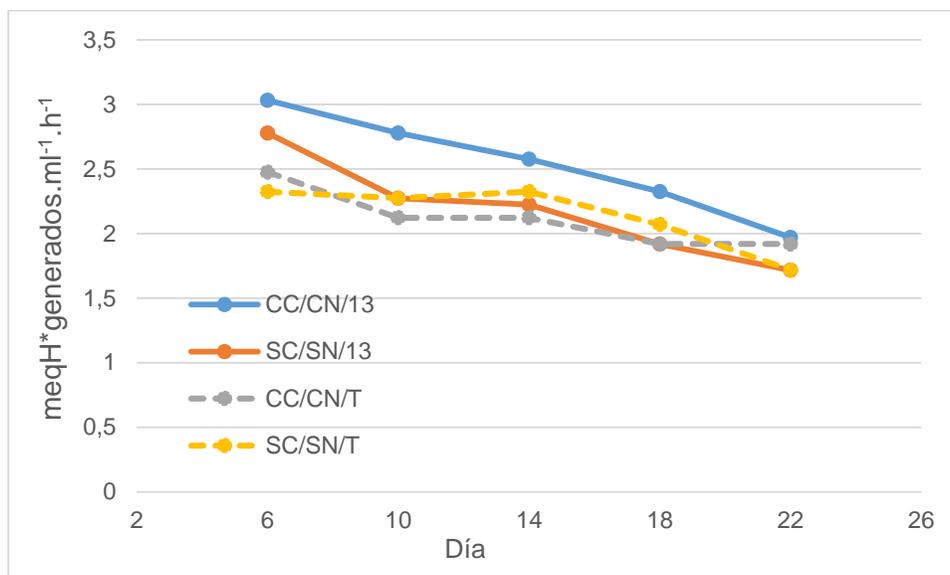


Figura 60. Cambios en la actividad enzimática de la pectinmetilesterasa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento y transferencia de 13°C a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

Cuando las PME actúan aleatoriamente sobre los homogalacturonanos, la desmetilesterificación libera protones que promueven la acción de endo PG y contribuyen al ablandamiento de la pared celular. No obstante también se ha mencionado que cuando las PME actúan linealmente dan origen a bloques de homogalacturonanos con grupos carboxilos libres que pueden interactuar con el ión Ca^{+2} , formando un gel de pectato. Debido a que la acción de las endo PG en dicho gel es limitada, este patrón de acción de las PME contribuye a la rigidez de la pared celular óptimo (Micheli, 2001).

6.2.4.2 Actividad de Poligalacturonasa (PG)

La Tabla 34 Muestra los valores de probabilidad de los efectos de los factores principales y sus interacciones en la actividad específica de la enzima PG. Los frutos sin cera y sin NO mostraron los valores mayores ($222.6 \text{ nmol min}^{-1}\text{mg prot}^{-1}$) mientras que los frutos con cera y tratados con NO mostraron valores

significativamente menores (179.9 nmol min⁻¹mg prot⁻¹). La actividad de esta enzima mostró un máximo en los días intermedios 14 y 18 (226.3 y 213.5 nmol min⁻¹mg prot⁻¹) y mínimos los días 10 y 22 (194.3 y 170.8 nmol min⁻¹mg prot⁻¹). Las interacciones de tratamiento*día parecen señalar que las mayores actividades se muestran principalmente en los frutos no encerados y sin tratamiento de NO (240 a 236 nmol min⁻¹mg prot⁻¹) en los días intermedios del almacenamiento y los valores menores se registran con los frutos encerados y con tratamiento de NO (166 a 152 nmol min⁻¹mg prot⁻¹) a los 10 y 22 días de almacenamiento.

Tabla 34. Valores de probabilidad de los efectos principales y sus interacciones de los factores estudiados sobre la actividad de PG en frutos de mango Manila durante su almacenamiento a 13 °C y sus transferencia de 13 a 20 °C

Factor	Grados de libertad	Valor F	Probabilidad > F
Tratamiento	1	31.8745	<.0001
Día	3	10.2261	<.0001
Trat*Día	3	5.0586	0.0056
Temperatura	1	1.2171	0.2782
Trat*Temp	1	9.4161	0.0044
Día*Temp	3	8.6106	0.0002
Trat*Día*Temp	3	10.1718	<.0001

La tabla 35 muestra la comparación de medias entre las interacciones tratamiento*temperatura y días*temperatura. Los frutos tratados sin cera y sin NO almacenados a 13 °C mostraron los valores más altos (238.4 nmol min⁻¹mg prot⁻¹) mientras que los frutos no encerados y no tratados con NO mostraron los valores más bajos (172.5 nmol min⁻¹mg prot⁻¹); mientras que los frutos almacenados por 18 y 14 días a 13 °C mostraron los valores más altos (242 y 241 nmol min⁻¹mg prot⁻¹) y los frutos almacenados por 10 y 22 días a 13 °C mostraron los valores más bajos (172.8 y 165.3 nmol min⁻¹mg prot⁻¹).

Tabla 35. Actividades de PG en la pulpa de frutos de mango encerados o no; y tratados o no con NO durante su almacenamiento a 13 °C y su transferencia de 13 a 20 °C (T).

Trat*Temp	Media	Día*Temperatura	Media
SC/SN,13	238.4 a	18,13	242.4 a
SC/SN,T	206.8 b	14,13	241.2 a
CC/CN,T	187.3 bc	22,T	215.8 ab
CC/CN,13	172.5 c	14,T	211.5 abc
		18,T	184.7 bc
		10,T	176.4 bc
		22,13	172.8 bc
		10,13	165.3 c

La actividad de la enzima PG está asociada con el ablandamiento en frutos. Una vez que la PME actúa sobre la pectina, esta se encarga de hidrolizar la unión α -1,4 entre residuos de ácido galacturónico de la molécula de pectina.

La Figura 61 muestra los cambios de la actividad enzimática de la PG a través del tiempo en la pulpa de frutos de mango 'Manila' almacenados a 13°C. En ella están representados las actividades de esta enzima en el tratamiento CC/CN (frutos encerados y tratados con NO) contra el tratamiento SC/SN (frutos no encerado y sin tratamiento de NO). Es claro que los frutos no tratados mostraron actividades mayores que los que fueron encerados y tratados con NO.

También es posible observar que el tratamiento CC/CN además de tener menor actividad también presenta un máximo que se presenta cuatro días después del que presenta el tratamiento SC/SN. Este comportamiento ha sido reportado por Zaharah y Singh, (2011) en mango 'Kensington Pride' tratados con NO donde el pico de la actividad de la PG se retrasó 2 días.

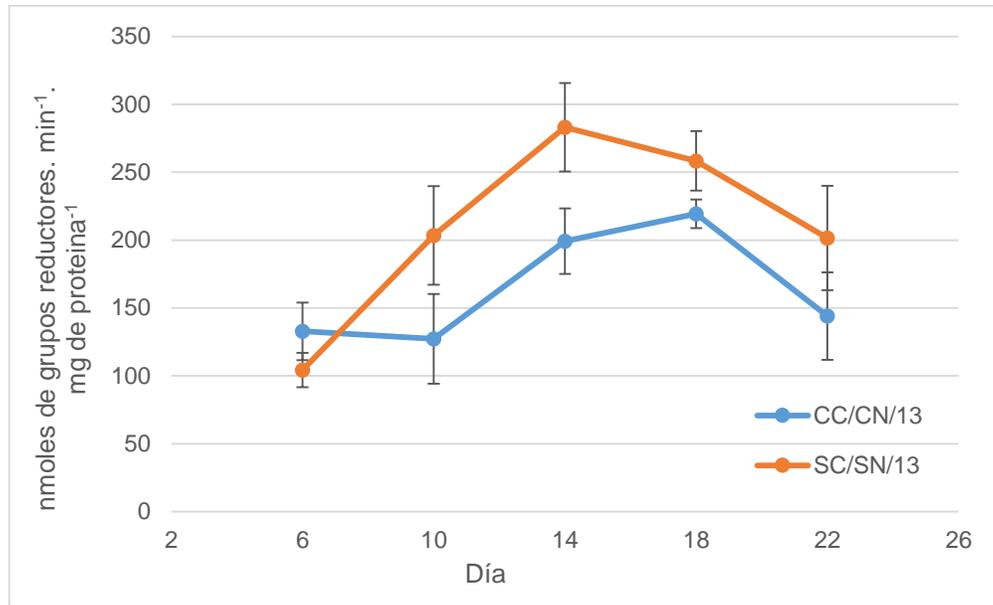


Figura 61. Cambios en la actividad enzimática de la poligalacturonasa en frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico).

Dado que la actividad de PG se ha relacionado inversamente con la pérdida de firmeza; la Figura 62 muestra los cambios de firmeza (izquierda) y de la actividad de PG (derecha) en ambos tratamientos. En ambos tratamientos se observa que la firmeza decrece drásticamente cuando la actividad de esta enzima se encuentra incrementándose. De manera particular, el tratamiento SC/SN/13 (control) tuvo una actividad máxima a los 14 días que coincidió con los decrementos de firmeza, posteriormente la actividad de la enzima decrece y la firmeza permanece constante. Los cambios en el tratamiento CC/CN/13 fueron menores y simultáneamente la firmeza se mantuvo durante más tiempo

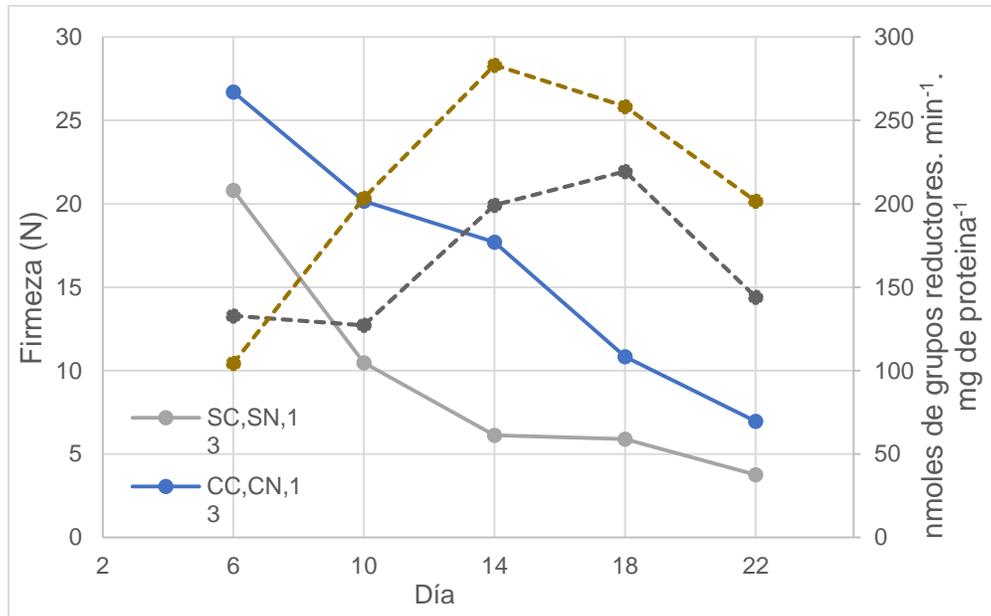


Figura 62. Relación entre la actividad enzimática de la poligalacturonasa y la firmeza de frutos de mango cv. 'Manila' durante su almacenamiento a 13°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico,

La Figura 63 muestra los cambios de la actividad PG en las muestras almacenadas a 13 °C y transferidas a 20 °C Las magnitudes de actividad en los frutos transferidos fueron notablemente mayores que las registradas en los frutos almacenados a 13 °C. No obstante, también hubo una diferencia importante entre ambos tratamientos. Los frutos sin encerar y sin tratar con NO, mostraron un máximo al día 22 de almacenamiento, en tanto que los encerados y tratados con NO mostraron una tendencia a reducir su actividad durante el almacenamiento

La menor actividad de PG observada en los frutos tratados con cera y NO parecen dar soporte a la mejor retención de la firmeza en estos mismos frutos y de igual forma la mayor actividad de esta enzima en los frutos no encerados y no tratados con NO parece explicar la mayor pérdida de firmeza de estos frutos.

De los experimentos desarrollados en el presente trabajo no es posible identificar cual es el mecanismo por el cual la cera o el NO en forma separada o combinada podrían disminuir la actividad de esta enzima.

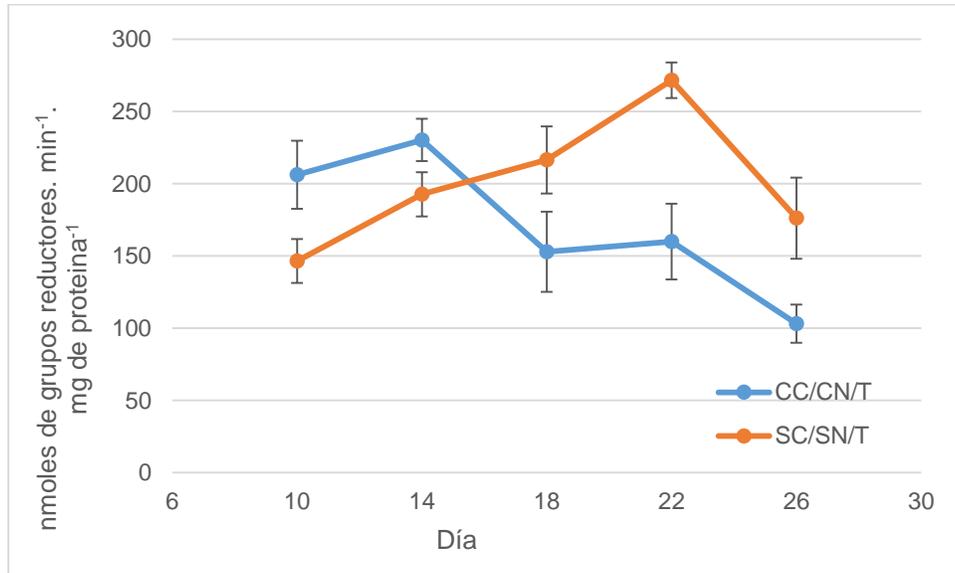


Figura 63. Cambios en la actividad enzimática de la poligalacturonasa de frutos de mango cv. 'Manila' durante su transferencia de 13 a 20°C (SC/CC: sin/con cera, SN/CN: sin/con óxido nítrico, 13/T; almacenados a 13°C/transferidos de 13 a 20°C)

VII. Conclusiones

- ✓ Las condiciones adecuadas de aplicación de nitroprusiato de sodio (NPS) que evite daño en la superficie de los frutos fueron concentración 1mM y exposición a la luz ($20\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) durante 3 horas y su infiltración al vacío a 10inHg durante 3 minutos.
- ✓ Los empaques microperforados disminuyeron la pérdida de peso en 50%, teniendo un efecto significativo sobre la calidad visual y la firmeza durante la transferencia.
- ✓ Los tratamientos de radiación gamma retardaron el cambio de color y el ablandamiento, además de reducir significativamente la incidencia y la severidad del daño por antracnosis en mango 'Manila'.
- ✓ La aplicación de cera en combinación con un adecuado tratamiento de NO pareció mostrar mejores resultados que la aplicación de empaques microperforados. No obstante, estos empaques deberían ser evaluados en las mismas condiciones de aplicación del NO para definir cuál tipo de empaque genera mejores resultados.
- ✓ Bajo las condiciones empleadas en este estudio la aplicación de ceras redujo en 65 % la pérdida de peso lo cual superó a la reducción de pérdida de peso logrado con el uso de empaques microperforados.
- ✓ La combinación cera y óxido nítrico indujo una menor actividad de PG lo que pareció mantener la firmeza de los frutos de mango 'Manila'.

VIII. REFERENCIAS

- Abbasi, Kashif S. 2011. "Effect of Coatings and Packaging Material on the Keeping Quality of Mangoes (*Mangifera indica* L.) Stored at Low Temperature." *Pakistan journal of nutrition* 10(2): 129-138.
- Alves, R.E., H.A.C. Filgueiras, A.S. Almeida, M.E.C. Pereira, F.M. Cocozza and J.T. Jorge, 2004. Postharvest ripening of 'Tommy Atkins' mangoes on two maturation stages treated with 1-MCP. *Acta Hort.*, 645: 627- 632.
- AOAC. 1998. Official methods of analysis. 16th Ed. William S., Ed. Publisher by Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C. C. Drom.
- Arauz, L.F. 2000. Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. *Plant Disease* 84:600-611.
- Arnold, W. P., D. E. Longnecker y R. M. Epstein. 1984. Photodegradation of Sodium Nitroprusside: Biologic Activity and Cyanide Release. *Anesthesiology*. 61: 254-260.
- Asif, M.H. y P. Nath. 2005. Expression of multiple forms of polygalacturonase gene during ripening in banana fruit. *Plant Physiol. Biochem.* 43, 177-184.
- Báez, S. M., J. Siller, D. Muy, E. Araiza, L. Contreras y A. Sañudo. 2001. Smartfresh™: Una novedosa tecnología para extender vida de anaquel en tomate. <http://www.ciad.mx/boletin/enefeb02/Investigacion1.PDF>. *Tecnología de Alimentos*. 36(3):7-11. Consultado: 10.11.2012.
- Baldwin, E.A., J.K. Burns, W. Kazokas, J.K. Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bender, y E. Pesis. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology* 17: 215–226
- Barbosa-Martinez, C., C. Ríos, D. Flores, L. Pérez-Flores, F. J. Fernández, Ponce de León-García. 2009. Comparison of seed germination in *Mangifera indica* L. 'Haden' and 'Manila' varieties. *Acta Horticulturae*. 820: 297-302.
- Bethke P. C., M. R. Badger, R. L. Jones. 2004. Apoplastic synthesis of nitric oxide by plant tissues. *Plant Cell*. 16:332–41.
- Bethke, P. C., R.L. Jones. 2006. "Nitric oxide reduces seed dormancy in *Arabidopsis*." *Journal of experimental botany* 57.3:517-526.

- Bilies, C. L., F. B. Abeles y C. L. Wilson. 1990. The Role of Ethylene in Anthracnose of Cucumber, *Cucumis sativus*, Caused by *Colletotrichum lagenarium*. *Physiology and Biochemistry*. 18: 732 - 736
- Boag, T.S., G. I.Jhonson, M.Izar, C.Murray y K. C.Fitzsimmons. 1990. Physiological responses of mangoes cv 'Kensington Pride' to gamma irradiation treatment as affected by fruit maturity and ripeness. *Ann Appl Biol*. 116: 177-187.
- Bonghi, C., N. Rascio, A. Ramina, y G. Casadoro.1992. Cellulase and polygalacturonase involvement in the abscission of leaf and fruit explants of peach. *Plant. Mol. Biol*. 20, 839-848.
- 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.
- Brecht J. K. y E. M. Yahia. 2009. The Mango. Botany, production and Uses. Postharvest Physiology. 2da Edición. R. E. Litz
- Bredt, D. S. y S. H. Snyder. 1990. Isolation of nitric oxide synthetase, a calmodulin-requiring enzyme. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87, 682-685.
- Brummell, D.A., y M.H.Harpster. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Mol. Biol*. 47, 311-340.
- Buescher, R. W. y R. J.Furmanski. 1978. Role of Pectinesterase and Polygalacturonase in the Formation of Wollines in Peaches. *Journal of Food Science*.43: 264 – 266.
- Cáceres, I., T. Mulkay, R. Rodríguez, A. Paumier, A. Sisino, T. Castro-López, O. Alonso, G. Bango, y P. Gutiérrez. 2003. Influencia del encerado y tratamiento térmico en la calidad poscosecha del mango. *Sociedad Agronómica de Chile*. 73(1-2):25- 29.
- Cartaya O., C. Peniche, I. Reynaldo. 2009. Polímeros naturales recolectores de iones metálicos. *Revista Iberoamericana de polímeros* 10 (2), 88-89.
- Castrillo M. y A. Bermudez. 1992. Post-harvest ripening in wax-coated Bocado mango. *International Journal of Food Science and Technology*;27, 457-463.
- Cheng, G., E. Yang, W. Lu, Y. Jia, Y. Jiang, y X. Duan. 2009. Effect of Nitric Oxide on Ethylene Synthesis and Softening of Banana Fruit Slice during Ripening. *J. Agric. Food Chem* (57) 5799–5804.

- Chiabrando, V. y G. Giacalone. 2008. Studies on shelf life of 'Lateblue' highbush blueberries. *Food Science and Technology International*.14(3):199-205.
- Cia, P., S. Pascholati, E. Benato, E. Camili, y C. Santos. 2007. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology* (43) 366–373.
- Reyes, F., y L. Cisneros-Zeballos. 2007. Electron-Beam Ionizing Radiation Stress Effects on Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Antioxidant Constituents before and during Postharvest Stores. *J. Agric. Food Chem.* 55(15): 6132 – 6139.
- Clarke A, R. Desikan, R.D. Hurst, J.T. Hancock, y S.J. Neill. 2000. NO way back: nitric oxide and programmed cell death in *Arabidopsis thaliana* suspension cultures. *The Plant Journal* 24:667-677.
- CONASPROMANGO 2012 .<http://mangomexicano.com.mx/consumidores /recetas /tienes-una-receta-con-mango/> Consultado 15.08.13.
- COVECA. 2011 Monografía del mango. http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=653,3990014&_dad=portal&_schema=PORTAL. Consultado: 10.08.12.
- Crane, J., y C. Balderi. 1991. El mango en Florida. Universidad de Florida. Publicación #HS1032. <http://edis.ifas.ufl.edu/hs276> Consultado: 13.08.12.
- Cua, A. U., y M. C. C.Lizada.1990. Ethylene production in the Carabao mango (*Mangifera indica* L.) fruit during maturation and ripening. *Acta Horticulturae*. 269: 169-179.
- D'Innocenzo, M. y M. Lajolo. 2001. "Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya fruit." *Journal of food biochemistry* 25.5:425-438.
- Dodd, J.C., A.B. Estrada, J. Matcham, P. Jeffries, y M.J. Jeger. 1991. The effect of climatic factors on *Colletotrichum gloeosporioides*, causal agent of mango anthracnose, in the Philippines. *Plant Pathology* 40:568 - 575.
- Dodd, J.C., D.Prusky, y P.Jeffries. 1997. Fruit diseases. In: Litz, R.E. (ed.) *The Mango:Botany, Production and Uses*. CABI., pp. 257 - 280.
- Durner J., D. Wendehenne, y D.F.Klessig. 1998. Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP, and cyclic ADP-ribose. *Proc Natl Acad Sci USA*;95:10328–33.

- Eman, A.A., A.El-Monem, A.Ahmed, A.Zahran, y E. Shaban.2013. Role of some postharvest treatments in maintaining mango fruit quality during cold storage. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3): 2355-2366.
- FAOSTAT. 2012. Food And Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Consultado: 03.04.2012.
- Fonseca, M.J.O., P.R. Cecon, L.C.C. Salomao and R. Pushmann, 2004. Fungicides and wax in postharvest preservation of mango Haden. *Acta Hort.*, 645: 557-563.
- Frank, M. J., J. B. Johnson, y S. H. Rubin. 1976. Spectrophotometric Determination of Sodium Nitroprusside and Its Photodegradation Products. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 65: 44 - 48.
- Galan Sauco, V. *El Cultivo del Mango*. España. Grupo Mundi-Prensa. Segunda Edición 2009. p 33 - 40
- Giraldo, B., M. M. Hernandez, P. Angulo, y C. Fuertes. 2003. Actividad antinitrosativa y antiinfl amatoria de los flavonoides de las hojas de *Uncaria tomentosa* Willd. D.C. (Una de gato). *Rev. Soc. Quím. Perú*. 69 (4): pp. 229-242.
- Goldberg, R. C.Morvan, A.Jauneau, y M.C. Jarvis. 1996. Methyl-esterification, de-esterification and gelation of pectins in the primary cell wall. *Progress in Biotechnology* 14:151-172.
- Gutiérrez, B., J. De la Cruz, K. L.Parkin, y H. S.García.1997. Effect of refrigerated storage on Manila mangoes (*Mangifera indica* L.) after hydrothermal treatment. *Proceedings of the 5th International Mango Symposium*; Lavi, Degani, Gazit, Lahav, Pesis, Prusky, Tomer, Wysoki, Eds. *Acta Horticulturae*. 455:679-686.
- Hadfield, K.A, y A.B. Bennett. 1998. Polygalacturonases: many genes in search of a function. *Plant Physiol*. 117, 337-343.
- He Y, R.H. Tang, Y. Hao, R.D. Stevens, C.W. Cook, y S.M. Ahn. 2004. Nitric oxide represses the *Arabidopsis* floral transition. *Science*;305:1968–71.
- Hidalgo, M., J. De la Cruz, K. L. Parkin, y H. S. García. 1997. Refrigerated storage and chilling injury development of Manila mangoes (*Mangifera indica* L.) 5th International Mango Symposium. *Acta Horticulturae*. 455(2):718-725.

- Ho, T.T., M.N. Ducamp, M. Lebrun, A. Baldwin. 2002. Effects of different coatings on biochemical changes of "cat Hoa loc" mangoes in storage. *Postharvest Biology and Technology* 48(1):150-152.
- ININ. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. 2012. <http://www.inin.gob.mx>. Consultado: 10.04.2012.
- Internacional Consultative Group on Food Irradiation. 1999. Facts about Food Irradiation. IAEA. Vienna Austria. <http://www.iaea.org>
- Johnson, G. I., T. S. Boag, A. W. Cooke, M. Izard, M. Panitz y S. Sangchote. 1990. interaction of post harvest disease control treatments and gamma irradiation on mangoes. *ann. appl. biol.* 116: 245 – 251.
- Kader A. A. 1997. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Mango_702/. Consultado: 14.05.2012.
- Kader A. A. 2008. Mango quality attributes and grade standards: A review of available information and identification of future research needs. 32.
- Ketsa, S., y T. Daengkanit. 1999. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase, α -galactosidase and cellulase in ripening durian harvest at different stages of maturity. *Sci. Hort.* 80, 181 – 188.
- Koshland, D. E., Jr. 1992. "The Molecule of the Year." *Science* 258.5090: 1861.
- Kosma D K., E. P. Parsons, T. Isaacson, S. Lu, J. K. C. Rose, Matthew y A. Jenks. 2010. Fruit cuticle lipid composition during development in tomato ripening mutants. *Physiol. Plant.* 139:107-117.
- Kosterman, A.J., y J.M. Bompard. 1993. The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Londres, Academic Press. 233-238.
- 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, L., B. Tovar, M. Mata, J. C. Vinay-Vadillo, J. De La Cruz, y H.S. Garcia. 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* 62.4:157-163.
- Leshem Y.Y., R.B.H. Wills, V.V.V. Ku. 1998. Evidence for the function of the free radical gas nitric oxide (NO) as an endogenous maturation and senescence regulating factor in higher plants. *Plant Physiol Biochem*; 36:825–33.

- Leshem, Y.Y., y E. Haramaty. (1996) The characterization and contrasting effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn. foliage. *J. Plant Physiol.* 148: 258-263.
- Lim, T.K., y K.C. Khoo. 1985. *Diseases and Disorders of Mango in Malaysia*. Tropical Press, Kuala Lumpur.
- Lindermayr C, G. Saalbach, G. Bahnweg, y J. Durner. 2006. Differential inhibition of Arabidopsis methionine adenosyltransferases by protein S-nitrosylation. *J Biol Chem* 2006; 281:4285-91
- Lira V. A. A., N. A. Camacho de la Rosa, C. Wachter-Rodarte, y M.A. Trejo. 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.
- Little, A. 1975. A research note, Off on a tangent. *Journal of Food Science.* 40:410-411.
- Meng-Chen, L., S. Wei-Hong, Z. Shu-Hua, y Z. Jie. 2007. Effects of Nitric Oxide and Exogenous Ethylene Treatments on Ethylene Biosynthesis in Feicheng Peach. *Agricultural Sciences in China.* 6(3): 290 – 295.
- Lizada. 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening* Ed. London: Chapman and Hall, pp. 255-271.
- Loay A. 2005. Chilling injury in mangoes. Ph.D. Thesis. Wageningen University. Horticultural Production Chains Group, Department of Plant Sciences Wageningen, Netherlands.
- Mahto, R., y M. Das. 2013. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli' stored at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology* 86: 447–455.
- Manjunatha, G., V. Lokesh, y B. Neelwarne. 2010. Nitric oxide in fruit ripening: trends and opportunities. *Biotechnol. Adv;*28, 489–499.
- Manjunatha, G., K. J. Gupta, V. Lokesh, L. A. Mur y B. Neelwarne. 2012. Nitric oxide counters ethylene effects on ripening fruits. *Plant Signaling & Behavior* 7:4, 476–483
- Meakin, P.J., y J.A. Roberts. 1991. Anatomical and biochemical changes associated with the induction of oilseed rape (*Brassica napus*) pod dehiscence by *Dasineura brassicae* (Winn). *Ann. Bot.* 67, 193-197.

- Meng-chen, L., S. Wei-hong, Z. Shu-hua, y Z. Jie. 2007. Effects of Nitric Oxide and Exogenous Ethylene Treatments on Ethylene Biosynthesis in Feicheng Peach. *Agricultural Sciences in China*. 6(3): 290 – 295.
- Mercado-Silva. 2010. La Irradiación como tratamiento cuarentenario para el Mango. National Mango Board. http://www.mango.org/media/99294/resumen_ejecutivo_irradiacion.pdf. Consultado:15.06.2012.
- Micheli, F. 2001. Pectin methylesterase: cell wall enzymes with important roles in plant physiology. *Trends in Plant Science*. 6 (9): 414-419.
- Moalemiyan, M., H.S. Ramaswamy, y N. Maftoonazad. 2012. Pectin-based edible coating for shelf-life extension of Ataulfomango. *Journal of Food Process Engineering*. 35: 572 – 600.
- Morehouse K.M. y V. Komolprasert. 2004. Irradiation of Food and Packaging: An Overview. ACS Symposium Series 875. Capítulo 1.1-11. <http://www.fda.gov>.
- Nakano, R., E. Ogura, Y. Kubo, Y A. Inaba. 2003. Ethylene Biosynthesis in Detached Young Persimmon Fruit Is Initiated in Calyx and Modulated by Water Loss from the Fruit. *Plant Physiology* 131: 276–286
- National Mango Board.2010. Alternativas al Tratamiento Hidrotérmico. <http://www.mango.org/media/47753/alternativas%20al%20tratamiento%20hidrotérmico%20resumen%20ejecutivo.pdf>. Consultado: 16.03.2012.
- Neill S.J., D. Desikan, A. Clarke, y J.T. Hancock. 2002. Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signaling in stomatal guard cells. *Plant Physiology* ;128:13-16.
- Nunes, M.C.N., J.P. Émond, S. Dea, E. Proulx, and J.K. Brecht. 2007. Quality curves for mango fruit (cvs. Tommy Atkins and Palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. *Journal of Food Quality* 30:104-120.
- Ochse J.J., M. J.Soule Jr., M. J. Dijkman y C.Wehlburg.1974. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Ed. Limusa. 1:587.
- Orozco-Cardenas ML, y C.A. Ryan. 2002. Nitric oxide negatively modulates wound signaling in tomato plants. *Plant Physiol*; 130:487–93.
- Ortiz X., X. Acevedo y H. Martínez. 2002. Características y Estructura de los Frutales de Exportación en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá Colombia. 5-11.

- Osuna, Tomás., Rosalba, Contreras, Laura, Contreras, Manuel, Báez, Adriana, Sañudo, José, Basilio, Ma. Dolores, Muy, Benigno, Valdez, y Rosabel, Velez. 2011. Aplicación de etefón y su efecto en la maduración de mangos 'Tommy Atkins' y 'Kent'. <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/980/RP%20Efecto%20en%20la%20maduraci%C3%B3n%20de%20mangos.pdf>. Consultado: 10.08.12
- Páez Redondo, A. R., 2003. Tecnologías sostenibles para el manejo de la antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) en papaya (*Carica papaya* L.) y mango (*Mangifera Indica* L.)http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/1159/1/20051129151746_TECNOLOG%C3%8DAS_SOSTENIBLES_PARA_EL_MANEJO_DE.pdfCORPOICA. 8:7.
- Paull, R. E. 1993. Tropical fruit physiology and storage potential. In: Champ, B.R., Highley, E., Johnson G.I. (Eds.) Postharvest Handling of tropical fruits. ACIAR Camberra. 198-204.
- Perera, S., C, Méndez. 2007. Enfermedades en Mango. AgroCabildo. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_134_D_Mango07.pdf. Consultado: 17.05.12
- 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, 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.
- Petit-Jiménez D., A. González-León, G. González-Aguilar, R. Sotelo-Mundo, y R. Báez-Sañudo. 2007. Cambios de la cutícula durante la ontogenia del fruto de *Mangifera indica* L. Rev. Fitotec. Mex. 30:51-60.
- Petit-Jiménez D., E. Bringas-Taddei, A. González-León, J. M. García-Robles, y R. Báez-Sañudo. 2009. Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la ultraestructura de la cutícula del fruto de mango. Rev. UDO Agríc. 9:96-102.
- Ploetz, R.C. 2003. Diseases of Mango. pp. 327 - 363. In: R.C. Ploetz (ed.) *Diseases of Tropical Fruit Crops*. CABI Publishing. Wallingford, UK. 544.

- Ploetz, R.C. and Prakash, O. 1997. Foliar, floral and soilborne diseases. In: Litz, R.E. (ed.) *The Mango: Botany, Production and Uses*. CABI. pp. 281 - 326.
- Ploetz, R.C. y S. Freeman. 2009. Foliar, floral and soilborne diseases. In: Litz, R.E. (ed.) *The Mango: Botany, Production and Uses*. 2nd edition. CABI.
- Prasanna, V., T. N. Prabha, y R. N. Tharanathan. 2007. Fruit Ripening Phenomena – An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1): 1 – 19.
- Pristijono P., R.B.H. Wills, y J.B. Golding. 2008. Use of the nitric oxide-donor compound, diethylenetriamine-nitric oxide (DETANO), as an inhibitor of browning in apple slices. *J Hort Sci Biotech*; 83:555–8.
- Qiao, W., y F. Liu-Min. 2008. Nitric Oxide Signaling in Plant Responses to Abiotic Stresses. *J Integr Plant Biol.* 50(10):1238-46
- Qin, Guozheng., X. Meng, Q. Wang, y S. Tian. 2009. Oxidative Damage of Mitochondrial Proteins Contributes to Fruit Senescence: A Redox Proteomics Analysis. *Journal of proteome research.* 8: 2449–2462
- Quintero, C., V. Falguera, y A. Muñoz. 2010. Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga* 1(5):93-118.
- Ramin, A. y D. Khoshbakhat. 2008. Effects of Microperforated Polyethylene Bags and Temperatures on the Storage Quality of Acid Lime Fruits. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (4): 590-594.
- Ramírez V. J. 1991. Cultivo y enfermedades del mango. 1a Ed. Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán Sinaloa México. 9-17, 63.
- Reyes, F., L. Cisneros-Zevallos. 2007. Electron-Beam Ionizing Radiation Stress Effects on Mango Fruit (*Mangifera indica* L.) Antioxidant Constituents before and during Postharvest Storage. *J. Agric Food Chem.* 55: 6132 – 6139.
- Rodov, V., S. Fishman, R. De la Asuncion, J. Peretz, y S. Yehoshua. 1997. Modified atmosphere packaging (MAP) of 'Tommy Atkins' mango in perforated films. *Acta Hort.* 455, 654–661.
- Rodríguez L., y S. Perera. 2010. La cochinilla de la nieve del mango. Identificación y control. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_352_cochinilla1.pdf. Consultado: 19.09.2012

- Rodriguez F I, J.J. Esch, A.E. Hall, B.M. Binder, G.E. Schaller, y A.B. Bleecker. 1999. A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from Arabidopsis. *Science*, 283, 996-998.
- Rodriguez-Felix A., J. Fortiz-Hernández y M.A. Villegas-Ochoa. 2011. Cambios en enzimas pectolíticas durante la maduración del durazno 'Flordaprince'. *Interciencia*, 36(1): 65 – 70.
- Rouse, A. H., y C.D. Atkins. 1995. Pectinesterase and pectin in commercial citrus juices as determined by methods used at the Citrus Experiment Station. *Fla Arg. Exp. Sta. Bull.* 570: 1 – 19.
- Rudell, D., R. Mattheis, y P. James. 2006. Nitric oxide and nitrite treatments reduce ethylene evolution from apple fruit disks. *HortScience* 41(6):1462-1465.
- SAGARPA. 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Plan Rector Sistema Nacional Mango. <http://www.amsda.com.mx>. Consultado: 05.04.2012.
- SAGARPA-SENASICA. 2012. Campaña Nacional contra moscas de la fruta. <http://www.senasica.gob.mx/?id=1002>. Consultado: 06.07.2012.
- SARH. 1994. Guía de tratamientos cuarentenarios. http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/MANUAL_TRATCUAREMX.pdf. Consultado: 04.05.2012.
- Saucedo-Veloz, C., y S. Lakshminarayana. 1977. O 1997 Efectos de diferentes temperaturas de almacenamiento en la maduración de mangos (*Mangifera indica* L.) var. Manila. *Chapingo*. 2(3):27-36.
- SIAP. 2011. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, Mango 201/: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado: 08.08.12.
- Siddiqui Manzer H., H. Al-Whaibi. y O. Basalah. 2010. Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress. *Protoplasma*; 248(3):447-55.
- Siller-Cepeda, J., D. Muy-Rangel, M. Báez-Sañudo, E. Araiza-Lizarde, y A. Ireta-Ojeda. 2001. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):45-52.
- Singh, S.P. Z. Singh, y E.E. Swinny. 2009. Postharvest nitric oxide fumigation delays fruit ripening and alleviates chilling injury during cold storage of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell). *Postharvest Biology and Technology* 53: 101–108

- Tian, SP., A.L. Jiang, Y. Xu, y Y.S. Wang. 2004. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. *Food Chem* 87:43–49
- Trujillo, Arriaga J., y J.M.Gutiérrez Ruelas. 1999. Aplicación de la irradiación gamma en el control de moscas de la fruta en México. *Contacto nuclear*; 33 – 37.
- Uthairatanakij, A., O. Kerdchoechuen, N. Laohakunjit, B. Yong, y S. Potchanachai. 2005. Effect of gamma rays on physico-chemical and ripening changes of 'Nam-Dok-Mai' mangoes. Simposio internacional "New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products" , KMUTT, Bangkok, Thailand.
- Vasanthaiiah Hemant K. N., K.V. Ravishankar y G.K. Mukunda. 2007. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. Fruits and Nuts*. Ed. C. Kole.
- Vázquez-Celestino, D. 2012. Estudio de la aplicación de alternativas tecnológicas para incrementar la vida de anaquel de mango Manila (*Mangifera indica* L.) en estado fresco. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos Querétaro. Qro, México.
- Warm, E. y G. Laties. 1982. Quantification of Hydrogen Peroxide in Plant Extracts by the Chemiluminescence Reaction with Luminol. *Phytochemistry* 21(4): 827 – 831.
- Wongmetha, O., y L.S. Ke. 2012. The quality maintenance and extending storage life of mango fruit after postharvest treatments. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69: 936-941.
- Yamasaki, H. 2000. Nitrite-dependent nitric oxide production pathway: implications for involvement of active nitrogen species in photoinhibition in vivo. *Phil. Trans. R. Soc. Land. B*. 355: 1477-1488.
- Zaharah, S. S. y Z. Singh. 2011. Mode of action of nitric oxide in inhibiting ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening and cool storage of 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biology and Technology* (62) 258 266.
- Zambrano, J., S. Briceño, C. Méndez, J. Manzano y E. Castellanos. 1995. cambios en la maduración de frutos de mango cubiertos con ceras, durante el almacenamiento. *Agronomía Tropical* 47(1):5-15.
- Zambrano, M., M. Maffei, W. Materano, I. Quintero y A. Valera. 2011. Efecto de tres recubrimientos sobre algunos aspectos de calidad en mango 'Bocado' durante el almacenamiento. *Fac. Agron*, 28(1). 636 – 645.

Zhao MG.,Q.Y. Tian, y W.H. Zhang. 2007 Nitric oxide synthase-dependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in Arabidopsis. *Plant Physiol*;144:206–17.

Zhu, S., L. Mengchen y Z. Jie. 2006. Inhibition by nitric oxide of ethylene biosynthesis and lipoxygenase activity in peach fruit during storage. *Postharvest biology and technology* 42.1:41-48.