



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO POSTCOSECHA PARA MADURACIÓN, CONSERVACIÓN Y CALIDAD DE FRUTOS DE MANGO MANILA

BERENICE ALONSO BARRERA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe BERENICE ALONSO BARRERA, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO POSTCOSECHA DE MADURACION, CONSERVACION Y CALIDAD DE FRUTOS DE MANGO MANILA

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 14 de JUNIO de 2018



Firma del
Alumno (a)



DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: "Establecimiento de un sistema integrado de manejo pre y postcosecha para maduración, conservación y calidad de frutos de mango manila" realizada por el alumno: Berenice Alonso Barrera bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

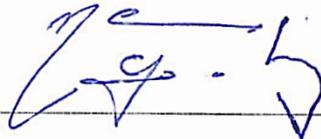
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

ASESOR



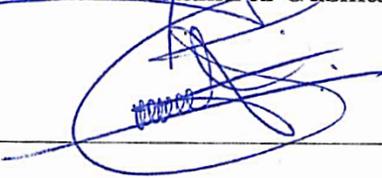
Dra. Nadia Landero Valenzuela.

ASESOR



Dra. Martha Elva Ramirez Guzmán.

ASESOR



Dra. Bertha Tlapal Bolaños

ASESOR



Dr. Sergio Humberto Chávez.

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio, 2018.

ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA INTEGRADO DE MANEJO POSTCOSECHA PARA MADURACIÓN, CONSERVACIÓN Y CALIDAD DE FRUTOS DE MANGO MANILA

Berenice Alonso Barrera, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

Los frutos de mango 'Manila', son de importancia comercial en México por sus sobresalientes características de calidad organoléptica y nutricional; sin embargo, su vida de anaquel es corta por su elevado metabolismo y alta sensibilidad a diversos factores de deterioro. Actualmente se ha incrementado la comercialización de frutos de cosecha temprana provenientes de sistemas de producción forzada a base de KNO_3 , pero se desconoce su comportamiento postcosecha en cuanto a calidad, vida de anaquel y respuestas a la conservación por bajas temperaturas. El objetivo fue que mediante un sistema de aplicación de tecnologías postcosecha basadas en el uso de temperaturas de refrigeración, en combinación con tratamientos con 1-MCP o Ethephon, evaluar los cambios en la calidad y efecto en la vida postcosecha de frutos mango cv. Manila de cosecha temprana. La investigación se basó en tres experimentos: El primero consistió en evaluar el comportamiento a temperatura de maduración ($22\pm 2^\circ\text{C}$ y $55\pm 5\%$ de humedad relativa por seis días) y de refrigeración ($11\pm 1^\circ\text{C}$ y $80\text{-}85\%$ de HR) por una y dos semanas y posterior exposición a condiciones de maduración. En los frutos del experimento I, la velocidad de respiración mostro para condiciones de $22\pm 2^\circ\text{C}$ valores entre 28.3 ± 3.9 hasta 78.4 ± 8.2 $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, en tanto para los frutos que fueron almacenados a 11°C esta varió entre 15.8 ± 4.7 hasta 72.5 ± 10.1 y de 36.3 hasta 78.4 $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, mostrando estos últimos una velocidad de respiración asociada a daños por frío. La firmeza los frutos almacenados a temperatura de maduración disminuyo de 135.4 N a 56.3 N, evidenciando una pérdida de 8.6% respecto al valor inicial, incrementándose hasta 45.5% para la primera y segunda semana, respectivamente; los SST aumentaron de 14.9% a 22.9% y el ácido cítrico, en los tres tratamientos, entre

34 y 50%. El contenido de ácido ascórbico disminuyó de 86.1 mg 100 g⁻¹ hasta 75.5 mg 100 g⁻¹; por su parte la concentración de carotenoides aumentó significativamente en los tres tratamientos de 580 µg 100 g⁻¹ hasta un rango de 1160 a 1620 µg 100 g⁻¹. En cuanto al color los valores de L-Hunter los frutos que se mantuvieron a temperatura de maduración entre 48.1 y 61.9, en tanto que en los refrigerados se mantuvo entre 57.9 y 55.0; por otro lado el croma (C) obtuvo valores hasta de 31.2 en temperatura de 22±2° C, y el ángulo de Tono (°h) resultó menor en los frutos sin refrigeración y refrigeración por una semana con 101° y 101.5°, respectivamente. Para evaluar el segundo experimento se establecieron seis lotes, tres de los cuales se trataron con 1-MCP y los tres restantes sin tratamiento; dos de los lotes (uno con y otro sin 1-MCP) se almacenaron directamente a 22±2° C, los otros cuatro a 11±1° C por una y dos semanas en la misma proporción. La velocidad de respiración en los frutos almacenados directamente a 22±2° C alcanzo valores al máximo climatérico de 89.4±6.1 y 73.1±7.3 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹ para el Control y 1-MCP, respectivamente, en el caso de los frutos almacenados por una semana tratados con 1-MCP, resultó menor en 14.8 %, respecto al control, mientras que los almacenados por dos semanas sus valores oscilaron entre los 21.8 y 86.1 mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹. En cuanto a la pérdida de peso alcanzó de 12.1% y 10.2% para 1-MCP y control, respectivamente; la firmeza de los frutos almacenados a 22±2°C tratados con 1-MCP presentaron valores de 44.1N y correspondiendo 22.1N para control. Los SST presentaron un incremento significativo y evidenciaron que el tratamiento con 1-MCP retrasa su acumulación. En cuanto al contenido de ácido cítrico disminuyo en todos los tratamientos siendo más significativo el tratamiento con 1-MCP llegando a tener un un contenido 72% más respecto al valor inicial; por su parte, el contenido de ácido ascórbico de los frutos tratados con 1-MCP tuvieron pérdidas de 18.7, 22.8 y 25.1 % para 22±2° C, 11° C/1 Semana y 11° C/2 Semanas, respectivamente, siendo las perdidas más altas la de los tratamientos sin 1-MCP con 34.6, 32.2 y 30.1 % en el mismo orden. Para la concentración de los carotenoides hubo un aumento significativo acorde a la maduración principalmente en los frutos tratados con 1-MCP. En cuanto al valor

de Luminosidad para los tratamientos sin 1-MCP alcanzaron valores de 48.1, 49.4 y 55.2 para inicial, una semana y dos semanas en refrigeración respectivamente, en tanto al croma (C) no hubo diferencias significativas. Para el tercer experimento se dividieron seis lotes de los cuales se trataron con Ethephon y tres sin ningún tratamiento. La velocidad de respiración los frutos con Ethephon tuvieron un valor más alto en comparación con el control, la firmeza disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento al igual que el contenido de ácido cítrico y ascórbico. Por otra parte, el contenido de carotenos se incrementó, en tanto que el valor del ángulo de tono ($^{\circ}$ h) disminuyó significativamente, en mayor proporción, en los frutos tratados con Ethephon, evidenciando un color amarillo más intenso respecto al control. Cabe mencionar que en el almacenamiento de los tres experimentos los frutos del control almacenados por dos semanas presentaron una elevada velocidad de respiración asociada a la incidencia de daños por frío. De tal manera que el principal efecto del tratamiento con 1-MCP es el control de daños por frío; sin embargo, los frutos presentan coloración externa más pobre y menor contenido de carotenoides lo que afecta además de su valor nutricional, el color de la pulpa, principalmente tras dos semanas a $11\pm 1^{\circ}$ C y el tratamiento Ethephon 1000 ppm y almacenamiento a $22\pm 2^{\circ}$ C, favorece la maduración de frutos de mango 'Manila' con color amarillo de cubrimiento más intenso y mayor contenido de carotenoides y sólidos solubles totales en pulpa, pero induce mayores pérdidas de firmeza así como de ácido ascórbico y cítrico

Palabras clave: **Mango, postcosecha, 1-MCP, Ethephon, almacenamiento**

ESTABLISHMENT OF AN INTEGRATED SYSTEM OF POST-HARVESTED MANAGEMENT FOR MATURATION, CONSERVATION AND QUALITY OF MANILA FRUITS

Berenice Alonso Barrera, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The fruits mango 'Manila', are of commercial importance in Mexico for its outstanding characteristics of organoleptic and nutritional quality; however, its shelf life is short due to its high metabolism and high sensitivity to the various deterioration factors. Currently, the commercialization of harvested fruits from forced production systems based on KNO₃ has increased, but the post-harvest behavior in terms of quality, shelf life and conservation responses due to low temperatures is unknown. The objective was a method of application of post-harvest technologies in the use of refrigeration temperatures, in combination with treatments with 1-MCP or Ethephon, to evaluate the changes in quality and effect in the post-harvest life of mango cv. Manila of early harvest. The research was based on three experiments: The first consisted of the behavior at maturation temperature (22 ± 2 ° C and $55 \pm 5\%$ relative humidity for six days) and cooling (11 ± 1 ° C and 80-85% of HR) for one and two weeks and subsequent exposure to maturation conditions. In the fruits of the day, the respiration rate showed values of between 28.3 ± 3.9 and 78.4 ± 8.2 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ for conditions of 22 ± 2 ° C, while the fruits stored at 11°C varied between 15.8 ± 4.7 to 72.5 ± 10.1 and from 36.3 to 78.4 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, in the latter a respiration speed associated with cold damage. The firmness of the fruits stored at ripening temperature decreased from 135.4 N to 56.3 N, evidencing a loss of 8.6% with respect to the initial value, increasing to 45.5% for the first and second week, respectively; SST increased from 14.9% to 22.9% and citric acid, in the three treatments, between 34 and 50%. The content of ascorbic acid decreased from 86.1 mg 100 g⁻¹ to 75.5 mg 100 g⁻¹; On the other hand, the concentration of carotenoids increased significantly in the three treatments from 580 µg 100

g-1 to a range of 1160 to 1620 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$. Regarding the color, the values of L-Hunter were the fruits that were maintained at maturation temperature between 48.1 and 61.9, while in the refrigerated ones it remained between 57.9 and 55.0; on the other hand the chroma (C) obtained values of up to 31.2 at a temperature of $22 \pm 2^\circ \text{C}$, and the angle of Tone ($^\circ \text{h}$) was lower in fruits without refrigeration and refrigeration for a week with 101 and 101.5, respectively. To evaluate the second experiment, six batches were established, three of which were treated with 1-MCP and the remaining three without treatment; two of the lots (one with and one without 1-MCP) were stored directly at $22 \pm 2^\circ \text{C}$, the other four at $11 \pm 1^\circ \text{C}$ for one and two weeks in the same proportion. The respiration rate in fruits stored directly at $22 \pm 2^\circ \text{C}$ reached climacteric maximum values of 89.4 ± 6.1 and $73.1 \pm 7.3 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ for Control and 1-MCP, respectively, in the case of fruits stored for a week treated with 1-MCP, it was lower in 14.8%, compared to the control, while those stored for two weeks ranged between 21.8 and $86.1 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Regarding weight loss, it reached 12.1% and 10.2% for 1-MCP and control, respectively; the firmness of fruits stored at $22 \pm 2^\circ \text{C}$ treated with 1-MCP showed values of 44.1N and corresponding 22.1N for control. The SST showed a significant increase and showed that the treatment with 1-MCP delays its accumulation. Regarding the content of citric acid, it decreased in all the treatments, the treatment with 1-MCP being more significant, reaching a content 72% more than the initial value; On the other hand, the ascorbic acid content of the fruits treated with 1-MCP had losses of 18.7, 22.8 and 25.1% for $22 \pm 2^\circ \text{C}$, $11^\circ \text{C} / 1 \text{ Week}$ and $11^\circ \text{C} / 2 \text{ Weeks}$, respectively, being the most high the one of the treatments without 1-MCP with 34.6, 32.2 and 30.1% in the same order. For the concentration of the carotenoids there was a significant increase according to the maturation mainly in the fruits treated with 1-MCP. Regarding the Luminosity value for treatments without 1-MCP, they reached values of 48.1, 49.4 and 55.2 for initial, one week and two weeks in refrigeration, respectively, while chroma (C) did not differ significantly. For the third experiment, six lots were divided, of which Ethephon was treated and three without any treatment. The speed of respiration the fruits with Ethephon had a

higher value compared to the control, the firmness decreased as the storage time advanced as did the content of citric and ascorbic acid. On the other hand, the content of carotenes increased, while the value of the hue angle (oh) decreased significantly, in greater proportion, in the fruits treated with Ethephon, showing a more intense yellow color compared to the control. It should be mentioned that in the storage of the three experiments the control fruits stored for two weeks showed a high respiration rate associated with the incidence of cold damage. In such a way that the main effect of the treatment with 1-MCP is the control of damages by cold; however, the fruits have poorer external coloration and lower content of carotenoids that also affect their nutritional value, the color of the pulp, mainly after two weeks at $11 \pm 1^\circ \text{C}$ and the Ethephon treatment 1000 ppm and storage at $22 \pm 2^\circ \text{C}$, favors the ripening of mango fruits 'Manila' with yellow color of more intense covering and higher content of carotenoids and total soluble solids in pulp, but induces less firmness as well as ascorbic and citric acid.

Key words: **Mango, postharvest, 1-MCP, Ethephon, storage**

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** y al **Colegio de Postgraduados** por el apoyo brindado para poder culminar mis estudios de postgrado.

Al **Dr. Crescenciano Saucedo Veloz** por sus enseñanzas y apoyo que permitieron la realización de la investigación.

A mi consejo a la **Dra. Nadia Landero Valenzuela, Dra. Martha Elva Ramírez Guzmán, Dra. Bertha Tlapal Bolaños** y al **Dr. Sergio Humberto Chávez**, por sus aportaciones y asesoría brindada.

Al **MC. David Jaén Contreras** y a la **MC Cecilia García Osorio** por su apoyo en mi investigación así como sus consejos en el transcurso de mis estudios.

Al **Ing. Daniel Radilla Ríos**, quien fue primordial para la colecta del material vegetal utilizado en esta investigación.

Al **Dr. Francisco Lara Viveros**, por su apoyo en la parte final de mi investigación.

DEDICATORIA

A mis padres **Víctor Manuel Alonso Campos** y **Esperanza Barrera Miranda**, sin su apoyo, comprensión y amor nunca hubiera podido seguir adelante, son mi ejemplo a seguir, gracias por demostrarme que con esfuerzo y trabajo duro se cumplen las metas.

A mi hermano **Víctor Hugo Alonso Barrera**, por todo su apoyo.

A **Erick Iván Pardo Cruz**, quien me ayudo en mi colecta de material vegetal y sobre todo fue un amigo incomparable **Q.E.P.D †** siempre te recordare amigo paletas.

A **Carlos Alberto Escobedo Estévez**, por toda su ayuda en la colecta de mi material vegetal y por hacer más llevadero los momentos difíciles de mis estudios, eres una persona única y muy importante para mí, siempre formarás parte de mi vida.

A mis amigos **Julio, Claudia, Zacarías, Raúl, Isaac, Abraham, Karina, Arturo, Israel, Tereso, Tovar, Vero, Andrea y Ricardo**, por tantos buenos momentos y palabras de aliento que en su momento me dieron.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	x
DEDICATORIA	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
ABREVIATURAS.....	xvii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Objetivo General	6
Objetivos Particulares	6
Hipótesis.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
Generalidades del mango.....	8
Características del mango.....	9
Taxonomía	9
Semilla.....	9
Raíz.....	9
Tallo.....	10
Copa	10
Hojas.....	10
Floración.....	11
Fruto.....	11
Mango manila.....	12
Fisiología postcosecha	13
Etileno	14
1-MCP.....	16
Refrigeración	17
MATERIALES Y MÉTODOS	19
EXPERIMENTO I.....	20

EXPERIMENTO II.....	21
EXPERIMENTO III.....	22
Velocidad de respiración.....	25
Pérdidas Fisiológicas de Peso (% PP)	27
Color	28
Firmeza	29
Acidez titulable.....	30
Solidos solubles totales (SST).....	30
pH.....	30
Ácido Ascórbico (Vitamina C)	31
Carotenos Totales	31
Modelo estadístico	32
Modelo I.....	32
Modelo II.....	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
Experimento I.....	34
Velocidad de respiración	34
Pérdidas de peso.....	36
Firmeza	38
Experimento II.....	44
Velocidad de respiración	44
Experimento III.....	53
Velocidad de respiración	53
CONCLUSIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza del experimento I, utilizando el modelo estadístico I.	42
Cuadro 2. Efecto de tratamiento de refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas	43
Cuadro 3. Análisis de varianza del experimento II utilizando el modelo estadístico II.	51
Cuadro 4. Efecto de tratamiento de 1-MCP y refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas	52
Cuadro 5. Efecto de tratamiento de Ethephon y refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas	60
Cuadro 6. Análisis de varianza del experimento III, utilizando el modelo estadístico II.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exportaciones de mango a diversos países.....	1
Figura 2. Zonas productoras de mango cv. Manila del Estado de Guerrero	2
Figura 3. Mango manila.	12
Figura 4. Respiración anaeróbica en frutos, Fuente: Wills <i>et al.</i> , 1998.	14
Figura 5. Síntesis de Etileno.....	15
Figura 6. Compuesto ethephon.	16
Figura 7. Experimento I	20
Figura 8. Experimento II	21
Figura 9. Experimento III	22
Figura 10. Tratamiento con Tiabendazol (Tecto 60 PH) 0.1 %,.....	23
Figura 11. Contenedor hermético para experimento con 1-MCP.....	24
Figura 12. Recipientes con frutos de mango para medir la velocidad de respiración.	26
Figura 13. Toma del aire del espacio de cabeza y se inyectó al cromatógrafo de gases para obtener las medidas de CO ₂	26
Figura 14. Colorímetro de reflexión Hunter L, a, b	28
Figura 15. Texturómetro Wagner Force.	29
Figura 16. Extracción de βCarotenos.....	31
Figura 17. Velocidad de respiración.....	36
Figura 18. Pérdida de peso	37
Figura 19. Velocidad de respiración a 22±2° C.....	44
Figura 20. Velocidad de respiración en frutos almacenados a 11±1° C por una semana.....	45
Figura 21. Velocidad de respiración en frutos almacenados a 11±1° C por dos semana.....	46
Figura 22. Pérdidas de peso de frutos de mango cv. Manila con y sin (control) tratamiento con 1-MCP y almacenados a 22±2° C. Medias ±DE para n=5.....	47
Figura 23. Velocidad de respiración con almacenamiento a 22±2° C	53

Figura 24. Velocidad de respiración con almacenamiento a 11° C/1 Semana.	54
Figura 25. Velocidad de respiración con almacenamiento a 11° C/2 Semana.	55
Figura 26. Pérdidas de peso	56

ABREVIATURAS

PP	Pérdida de peso
°C	Grados centígrados
1-MCP	1-metilciclopropeno
AA	Ácido ascórbico
ACC	Ácido 1-aminociclopropeno-1-carboxílico
AOAC	Association of oficial agricultural chemists
ATP	Trifosfato de adenosina
cm	Centímetro
CNSP_MANGO	Comité nacional sistema producto mango
CONASPROMANGO	Consejo Nacional del sistema producto mango
cv	Cultivar
FAOSTAT	Food and agricultura organization ofthe united nations
g	gramos
hr	hora
Kg	kilogramo
KNO3	Nitrato de potasio
L	Litro
m	metro
m ³	Metro cubico
MET	Metionina
mg	miligramo
N	newton
NH4NO3	Nitrato de amonio
nm	nanometros
O ₂	oxigeno
P	Fosforo
Pf	Peso final
pH	Potencial de hidrogeno
Pi	Peso inicial
Ppb	Partes por billon
SAGARPA	S-adenosil metionina
SAM	S-adenosil metionina
SIAP	Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera
SST	Solidos solubles totales

de total nacional) y del cv. Ataulfo en 472 047 toneladas (25 %); asimismo cerca del 80 % de la producción de mango cultivar Manila la aportan los estados de Guerrero y Veracruz (CNSP_Mango, 2012), localizándose la producción del estado de Guerrero en la región de Costa Chica, Costa Grande y Tierra Caliente (Figura 2).



Figura 2. Zonas productoras de mango cv. Manila del Estado de Guerrero

Por su alta calidad sensorial, a nivel nacional los frutos de mango cv. Manila superan en precio a los demás cultivares, de ahí su importancia comercial no obstante de la problemática de carácter fitosanitario y de corta vida de anaquel que enfrenta el manejo postcosecha de la producción y que se traduce en importantes pérdidas de la producción. Fisiológicamente el fruto tiene comportamiento climatérico con alta velocidad de respiración y baja producción de etileno (León *et al.*, 1997; León *et al.*, 2002); además de ser altamente sensibles a pérdidas debido a su a sus características de epicarpio delgado y bajo contenido de ceras epicuticulares, así como alta susceptibilidad a daños mecánicos y desarrollo de pudriciones causadas principalmente por antracnosis, todo lo cual lo ubica como un frutos con alto grado de perecibilidad (Saucedo y Lakshminarayana, 1977). Al respecto, algunos investigadores (Lira *et al.*, 2008) han reportado en frutos de mango cv. Manila una velocidad de respiración de

196 mg CO₂kg⁻¹h⁻¹ y vida de anaquel de seis días a 20° C en tanto que bajo las mismas condiciones frutos de los cultivares Haden, Keitt y Tommy Atkins alcanzan una velocidad de respiración de 105, 110 y 150 mg CO₂kg⁻¹h⁻¹ y vida de anaquel de 11 días.

Diversas tecnologías postcosecha tendientes a reducir la actividad metabólica y prolongar la vida postcosecha de los frutos de mango 'Manila', revelan que temperaturas de refrigeración de 12-13° C permite mantener los frutos por 10-14 días con aceptable calidad interna, pero con menor intensidad del color amarillo característico, efecto asociado con síntomas de daños por frío (Saucedo y Lakshminarayana, 1977; Bhoomika *et al.*, 2016).

De acuerdo con (Phakawatmongkol *et al.*, 2004) en frutos de mango los daños por frío aparecen a temperaturas entre 7 y 13° C, dependiendo del cultivar, zona de producción, grado de madurez al momento de cosecha y tiempo de almacenamiento y/o transporte; generalmente se manifiestan como picado y manchado del epicarpio, oscurecimiento de la pulpa, fallas en la maduración que se traduce en un pobre sabor debido a un metabolismo incompleto de la transformación de almidón a azúcares y del relacionado con ácidos orgánicos, además de que se incrementa la sensibilidad al ataque de microorganismos causantes de pudriciones (Mitra y Baldwin, 1997).

En general los daños por frío constituyen la principal limitante para al almacenamiento de mangos por periodos largos periodos (Han and Tian, 2006). Diversas tecnologías postcosecha se han propuesto para reducir la sensibilidad a los daños por frío, entre las que se incluyen: temperaturas de pre y acondicionamiento, calentamientos intermitentes, pretratamiento con etileno y atmósferas controladas y modificadas (Wang, 2010). Para el caso de mango cv. Manila, estudios sobre la aplicación de estas tecnologías son limitados y con resultados poco consistentes; sin embargo, de acuerdo con Singh (2011); el uso de atmósferas controladas y modificadas constituyen una alternativa para prolongar la vida de anaquel de los frutos de mango, así como para mitigar la

incidencia de daños por frío y desarrollo de pudriciones, sin embargo resulta necesario encontrar para cada cultivar la combinación de gases y temperatura de refrigeración más adecuada para evitar la inducción de respiración anaeróbica y la consecuente y formación de aromas desagradables; en este sentido, Singh (2011) reportan como prometedora la combinación 3% O₂ + 6% CO₂ + 13° C para mango cultivar Kensington Pride, en tanto que Hailu (2016) para el cultivar Keitt ha reportado la combinación 6% O₂ + 10% CO₂ + 7° C, ambos por seis semanas.

1-MCP (1-metilciclopropeno), inhibidor del mecanismo de acción de etileno, ha sido propuesto como una alternativa para retardar la maduración en frutos climatéricos (Blankenship and Dole, 2003); experiencias en frutos de mango diferentes al 'Manila', han mostrado que 1-MCP (300 nLL⁻¹) en combinación con tratamiento hidrotérmico (52° C/5 minutos) y almacenados a 13±2° C (20 días) más 22±2° C hasta maduración, prolongaron en cinco días la vida de anaquel de mangos 'Keitt', respecto al testigo (Osuna *et al.*, 2007); por su parte (Ortiz *et al.*, 2016), han reportado que el tratamiento con 1-MCP en dosis de 1000 nLL⁻¹, permitió mantener aceptables las características físico-químicas asociadas con la maduración de frutos de mango 'Ataulfo' por 20 días a 13° C más 5 días a 25° C.

El comportamiento asincrónico o heterogeneidad en el grado de madurez de los frutos en la planta al momento de cosecha y la e inadecuada aplicación de índices de cosecha, constituye otro de los problemas que contribuyen a pérdidas de la calidad de los frutos de mango durante la comercialización. En frutos de mango cv. Manila este comportamiento se traduce en la comercialización de frutos cortados antes de alcanzar la madurez fisiológica, lo que se manifiesta en un proceso de maduración incompleto, pobre sabor y aroma, mayor sensibilidad a pérdidas de peso y acelerado marchitamiento, además de que los frutos resultan más sensibles a daños por frío (Wang, 2010), dicho comportamiento que se presenta principalmente en frutos provenientes de floración adelantada y

cosechados en los meses de Febrero y Marzo. La aplicación de tratamientos con gas etileno o compuestos liberadores del mismo, se ha planteado como una alternativa para homogeneizar la maduración de frutos de mango; sin embargo, en el caso del cultivar Manila aún es desconocido el efecto de estos tratamientos en la fisiología y calidad de los frutos; Sin embargo, Ortega *et al.*, (2008) han reportado que el tratamiento en mangos cv. Manila con Carburo de Calcio (liberador de acetileno con acción análoga a etileno) en dosis de 0.25 g kg⁻¹ por 24 h a 26° C, adelantó la maduración en tres días, mejoró el color externo e interno y aceleró las pérdidas de firmeza. Ethephon o Ethrel (2-chloroethyl phosphonic acid) es un compuesto químico en forma líquida que en solución a pH 5 libera gas etileno, con lo cual se estimula la producción autocatalítica del mismo etileno y se promueven los cambios asociados a la maduración, siendo este tratamiento efectivo para diversos frutos climatéricos (Rahman *et al.*, 2007).

Objetivo General

Mediante un sistema de aplicación de tecnologías postcosecha basadas en el uso de temperaturas de refrigeración, en combinación con tratamientos mediante 1-MCP o Ethrel, determinar el mayor tiempo de vida postcosecha de mango cv. Manila sin cambios significativos en el proceso de maduración y calidad de los frutos.

Objetivos Particulares

1. Evaluar el efecto de la refrigeración a 11° C en el proceso de maduración de frutos de mango cv. Manila de cosecha temprana, almacenados por una y dos semanas en los principales cambios asociados a la maduración y calidad.
2. Bajo las mismas condiciones, evaluar el efecto de retardo en la maduración de aplicaciones de 1-MCP y su influencia en la calidad e incidencia de daños por frío.
3. Evaluar el efecto del liberador de etileno Ethephon en la homogeneización y adelanto de la maduración de mango cv. Manila, así como su influencia en la disminución de la sensibilidad de los frutos a daños por frío.

Hipótesis

¿La temperatura y tiempos de almacenamiento refrigerado no afectan la evolución del proceso de maduración de los frutos de mango cv. Manila y su calidad es similar al de frutos madurados sin refrigeración?

¿Los tiempos de almacenamiento establecidos a 11° C, no inducen a la aparición de daños por frío en frutos de mango cv. Manila de cosecha temprana, al transferirse a temperatura de maduración?

¿El tratamiento con 1-MCP retarda el proceso de maduración de frutos de mango cv. Manila de cosecha temprana y reduce la sensibilidad a daños por frío a la temperatura y tiempos de almacenamiento establecidos?

¿El tratamiento con el liberador de etileno Ethephon reduce la sensibilidad a daños por frío de mango cv. Manila de cosecha temprana y mejora la calidad de los frutos al transferir a temperatura de maduración?

REVISIÓN DE LITERATURA.

En la actualidad en mango se ha convertido en uno de los frutales de mayor importancia en las zonas a tropicales y subtropicales (López, 2012). El mango (*Mangifera indica L*) fue mencionado en la literatura Sánscrita, hace 4,000 años y comercialmente se conoce que el emperador Akbar en el año 1,500 planto 100,000 árboles en Darbhan, al este de la india. El centro primario de evolución del mango es señalado en la región Indo-Birmana y Sur-Este de Asia, Isla de Borneo y Sumatra encontrándose en forma silvestre en toda la región tropical de Asia: India, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, Indochina, Sureste de China, Malasia, Indonesia, Papua, Nueva Guinea y Filipinas (Sergent, 1999).

Galán (1999) y Silva *et al.*, (2014) Refieren que el mango manila fue introducido a México entre los siglos XVI y XVIII, cuando los españoles trajeron esta variedad desde las Filipinas donde se dispersó para su cultivo.

Generalidades del mango

El mango se adapta de manera natural a tierras bajas subtropicales (Morton, 1987), aunque Mata y Mosqueda (1998), menciona que el mango es una planta que se desarrolla hasta zonas montañosas y marginales que tienen un severo periodo de sequía y con suelos pobres donde sus producciones son muy bajas, sin embargo, para plantaciones comerciales y redituables se debe evitar las zonas frías por exceso de altitud. El mango se adapta mejor a zonas de clima tropical y subtropical, su temperatura óptima de crecimiento es aproximadamente de 24-27°C. La profundidad del suelo debe ser mayor a 50-100 centímetros, con un suelo ligero donde las raíces puedan penetrarse y fijarse al terreno, la textura del suelo regularmente es limo-arenosa o arcillo-arenosa, el drenaje debe ser bueno, puede tener o no pedregocidad, con un pH alrededor de 5.5 -7.5 y altitudes de 1200msnm hasta 20 msnm (Ballinas *et al.*, 2013).

Características del mango.

Taxonomía

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Sapindales*

Familia: *Anacardiaceae*

Género: *Mangifera*

Especie: *M. indica*

Semilla

El mango se puede propagar por semillas y vegetativamente, la semilla de mango permanece viable por dos semanas después de la cosecha, en periodos prolongados se obtiene un bajo porcentaje de germinación (Mora *et al.*, 2017).

Raíz

El tamaño de la raíz depende mucho de las características del suelo, gracias a ella llegan los nutrimentos necesarios a todos los órganos del árbol, Mosqueda (1983) menciona que la raíz del mango puede crecer hasta 6 metros en sentido vertical, aunque la mayor parte está concentrada alrededor de los 3 metros, mientras que las raíces laterales pueden crecer hasta 8 metros o un poco más.

Tallo

El tronco es lo que une el sistema radical con la parte aérea, con el paso del tiempo el tronco va adquiriendo volumen y altura pero este crecimiento se puede ver modificado por las podas de formación que se le den. Mora *et al.*, (2017) menciona que el tronco del mango es recto, cilíndrico y de 75 a 100 cm de diámetro, de un color gris-café.

Copa

Las ramas de la parte aérea son gruesas, frecuentemente con grupos alternos de entrenudos cortos y largos que corresponden al principio y a las partes posteriores de cada nuevo crecimiento (Singh, 1977), su porte es de 10 a más de 20 m de altura, simétrico, copa redondeada, siempre verde (Montero, *et al.*, 2002).

Hojas

Son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramas, lisas en ambas superficies, color verde oscuro brillante en el haz y verde amarillento en el envés, 10 a 40 cm de largo, 2 a 4 cm de ancho, márgenes delgados y transparentes, y base aguda o acunada; nervaduras visiblemente reticuladas, con una nervadura media robusta y de 12 a 30 pares de nervaduras laterales; el pecíolo es redondeado, ligeramente engrosado en la base, de 1.5 a 7.5 cm de largo. Las hojas jóvenes son de color violeta rojizo o bronceado y posteriormente se tornan de color verde oscuro (Espinoza *et al.*, 1995).

Floración

Se tiene mucha variación en el número de flores por panícula, aun siendo del mismo árbol, cultivar y de año en año. La cantidad de panículas de mango oscila desde 200 hasta 3000 por árbol.

Fruto

El fruto es una drupa con mesocarpio abundante que puede contener uno o más embriones. Su peso varía, de acuerdo con el cultivar, desde 150 g hasta 2 Kg., su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada u obtusa a ambos extremos, tamaño de 4-25 cm de largo y 1.5-10 cm de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la pulpa es de color amarillo o anaranjado, y es jugosa, la semilla es ovoide, oblonga y alargada, está recubierta por un endocarpio grueso y leñoso con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la pulpa (CONASPROMANGO, 2012).

Las etapas del desarrollo del fruto de mango se dividen en cuatro:

- Etapa juvenil, hasta 21 días después de la fecundación y donde se tiene un rápido crecimiento celular.
- Etapa de máximo crecimiento de 21 a 49 días después de la fecundación.
- Sazonamiento de 49 a 77 días después de la fecundación y donde se tiene respiración climatérica y maduración
- Senescencia

Mango manila

En función a los descriptores antes mencionados, el mango cv manila un árbol grande, su fruto es amarillo brillante, alargado y aplanado con longitud de 15 cm, 6 cm de ancho y 5 cm de espesor, su peso oscila entre los 180 a 260 g, teniendo una piel delgada y fácilmente desprendible, la pulpa de este cultivar es jugosa y de firmeza media, su semilla es poli embrionica (contiene más de un embrión), es de espesor mediano y leñosa (Figura. 3). Básicamente la producción se basa en dos épocas de cosecha: La primera definida por el uso de inductores de la floración con el fin de adelantar la cosecha, la cual se ubica entre los meses enero-febrero, hasta los meses de marzo-abril; la segunda que se ubica entre los meses de mayo a julio. Los compuestos inductores de la floración aplicados incluyen al KNO_3 , NH_4NO_3 y al Paclobutrazol (Colón, 2000 y Osuna *et al.*, 2001)



Figura 3. Mango manila.

Fisiología postcosecha

Fisiológicamente los frutos presenta comportamiento climatérico durante la maduración, considerándose este último como un proceso programado, que involucra una serie de cambios iniciados por la producción autocatalítica de etileno y elevación de la velocidad de respiración, con lo cual se activan enzimas relacionadas con la síntesis y/o hidrólisis de compuestos químicos asociados con el color, sabor, textura y aroma característico, lo que a su vez conduce a la obtención de la máxima calidad del fruto (Tharanathan *et al.*, 2006).

Todos los productos vivos tienen ciertos procesos característicos. Uno de los más importantes es el metabolismo respiratorio, en el cual se consume O_2 y moléculas orgánicas (usualmente azúcar) en los tejidos y producen eventualmente CO_2 , agua y calor. La energía producida por las moléculas orgánicas durante la respiración es usada por otros procesos metabólicos para mantener con vida los productos. El calor producido durante la respiración es llamado calor vital y puede ser disminuido con la refrigeración durante el almacenamiento (c). La mayor parte de la tecnología postcosecha es desarrollada para la reducción de la respiración y otras reacciones metabólicas asociadas con el mantenimiento y mejora de la calidad por la manipulación del ambiente externo (Biale y Young, 1981).

La vida de los productos varía inversamente con la tasa de respiración, ya que la respiración determina el grado de los procesos metabólicos directamente relacionados con los parámetros de calidad como la firmeza, contenido de azúcar, sabor, cambios nutricionales, asociados cada uno de estos a enzimas específicas. Los cultivares con altas tasas de respiración tienen vida de almacenamiento cortas comparados con aquellos con bajas tasas. La respiración es afectada por un gran número de factores ambientales incluyendo la luz, estrés químico (causados por fumigación), estrés por radiación, estrés hídrico, reguladores del crecimiento y ataque de patógenos. El factor postcosecha más

importante es la temperatura, composición atmosférica y estreses físicos (Biale y Young, 1981).

Bajo condiciones de anaerobiosis o exceso de CO₂ se estimula la respiración anaeróbica, limitando el Ciclo de Krebs. Esta respiración metaboliza ácido pirúvico convirtiéndolo primeramente a acetaldehído vía acción de la Piruvatocarboxilasa y producción de CO₂. Posteriormente el acetaldehído se convierte en etanol, por acción de la enzima alcohol deshidrogenasa (Figura, 4)

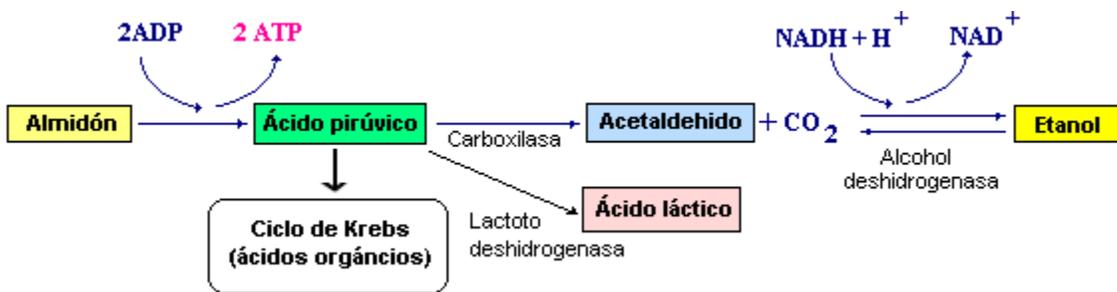


Figura 4. Respiración anaeróbica en frutos, Fuente: Wills *et al.*, 1998.

Etileno

El efecto de etileno en el proceso de maduración requiere de los mecanismos de biosíntesis y acción. Se ha reportado (Salveit, 1999) que esta fitohormona se biosintetiza a partir de Metionina (MET) la cual por adición de Adenina se convierte en S-adenosil metionina (SAM) y está por acción de la enzima ACC Sintasa se convierte en Ácido 1-aminociclopropeno-1-carboxílico (ACC), para finalmente formar Etileno por acción de la enzima ACC-Oxidasa. Para obtener la respuesta fisiológica de maduración, Etileno se une a un Receptor en el sitio de acción lo que induce a la síntesis de enzimas específicas vía transcripción genética, además de cambios en la permeabilidad de membranas, con lo que se favorece la entrada de fosforo inorgánico (P) y la síntesis de ATP (Figura 5).

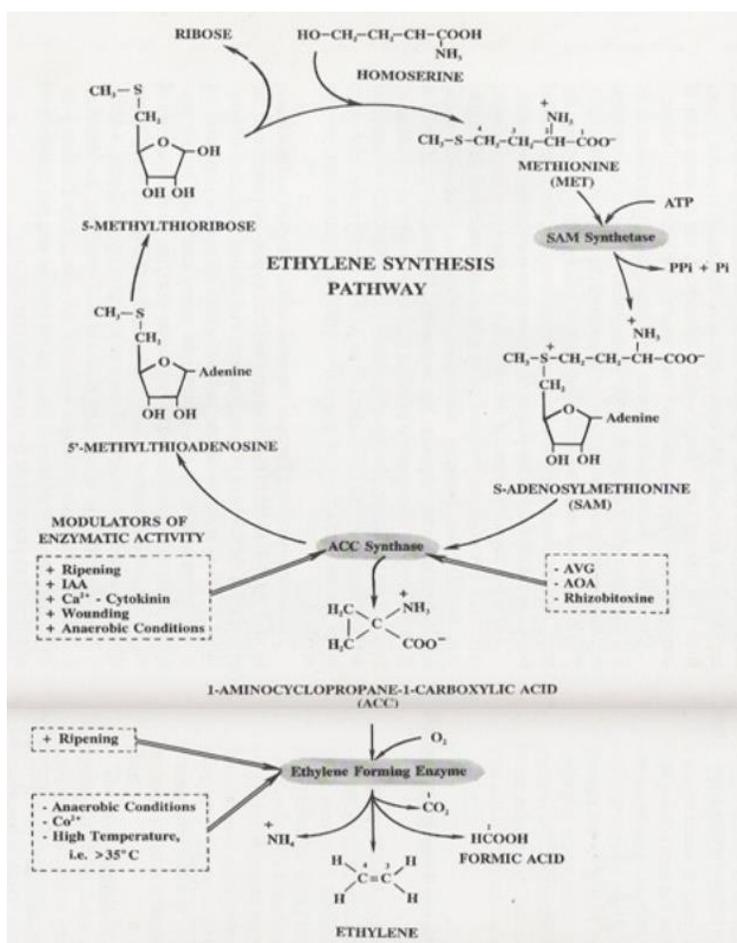


Figura 5. Síntesis de Etileno.

Tratamientos con gas etileno son utilizados para adelantar y homogeneizar la maduración en diversos frutos climatéricos, requiriendo para tal fin de cámaras herméticas, sistemas de dosificación del gas y sistemas de control de las condiciones de operación (temperatura, humedad relativa, flujo de aire y concentración de etileno). Una de las alternativas al uso de gas etileno involucra el empleo de compuestos liberadores de etileno, como es el caso del ácido 2-chloroetilfosfónico, denominado comúnmente como Ethephon o Ethephonel cual, en solución acuosa y a pH 5 libera etileno; la cantidad de etileno liberado depende del pH del fruto y, de la temperatura y humedad relativa durante la maduración (Siddique and Dhua, 2010) (Figura 6).

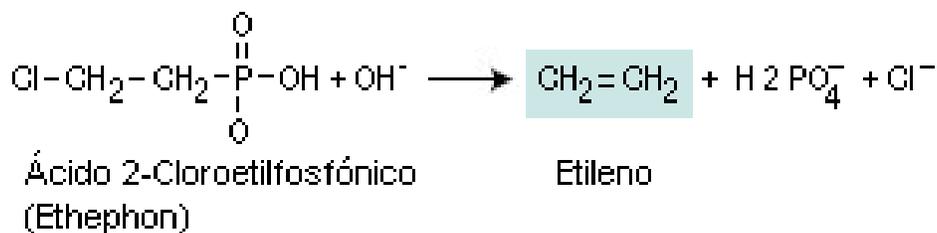


Figura 6. Compuesto ethephon.

1-MCP

El 1-MCP (1-Metilciclopropeno) fue descubierto por Professor Edward C. Sisler. Es conocido como un retardador de la maduración y pertenece al grupo de los ciclopropenos. La aplicación comercial de 1-MCP a productos hortofrutícolas fue llevada a cabo por AgroFresh Inc., una compañía subsidiaria perteneciente a Rohm & Haas Company (Spring House, PA), bajo el nombre comercial SmartFresh®. Comercializa dos presentaciones según la concentración: EthylBloc con 0.14% de 1-MCP para flores y hortalizas, y SmartFresh: 3.3% 1-MCP para frutos (Sisler and Serek, 1999). Fisiológicamente actúa bloqueando el punto de unión de etileno en el sitio de acción, estableciendo una inhibición competitiva en base a la concentración de cada compuesto.

Este producto tiene ciertas características que lo hacen muy seguro: es efectivo en dosis extremadamente bajas (del orden de las partes por billón), tiene un modo de acción no tóxico, es químicamente similar a sustancias naturales y deja muy pocos residuos en los frutos luego del tratamiento (no más de 5 ppb) (Ku and Wills, 1999; Fan y Mattheis, 2000; Fan *et al.*, 1999; Sisler y Serek, 1999). Es muy activo a concentraciones de 0.5 n.l.l-1, sólido a temperatura ambiente, muy estable e inodoro (Sisler *et al.*, 1996; Serek *et al.*, 1995. Disuelto en agua a 40°C desprende el ingrediente activo en forma de gas en los espacios libres de los cuartos de almacenamiento (Sisler and Serek, 2003). La concentración efectiva varía entre 50 a 1000 ppb, se dosifica en función del volumen total de la

cámara. Por ejemplo la dosificación de 1,6 g de SmartFresh 0,14% en 1m³ producirá 1000 ppb de 1-MCP. En la actualidad es posible contar con generadores de 1-MCP con cantidades fijas del producto calculadas para volúmenes conocidos de cámaras. El 1-MCP está clasificado por la Agencia de Protección del Ambiente de EUA como un biorregulador no fitohormonal, con un modo de acción inocuo para el ser humano (Zoffoli, 2002).

Los efectos del 1-MCP pueden alargar a acortar la vida de una fruta dependiendo de muchos factores de pre y postcosecha, esto debido al efecto en la producción de etileno (Watkins and Nock, 2005). La eficacia del 1-MCP está influenciada por el cultivar, condiciones de almacenamiento, temperatura y duración del tratamiento, estado de madurez de la fruta, y la estación y condiciones de cosecha (Blankenship and Dole, 2003). La efectividad del 1-MCP disminuye cuando la fruta es cosechada después de su madurez fisiológica (Mir *et al.*, 2004). Por otro lado, frutas con altos niveles de producción de etileno presentan pobre respuesta al 1-MCP; además, el uso de Ethephon en precosecha induce la producción de etileno y reducen la efectividad del 1-MCP.

Refrigeración

La refrigeración constituye una tecnología postcosecha mayormente aplicada para retardar los cambios asociados con la maduración y/o senescencia de productos hortofrutícolas; involucra el manejo de temperaturas desde el punto de congelación del producto hasta los 14-15°C. El efecto de la temperatura se basa en la disminución de la velocidad de las reacciones metabólicas al modificar la energía de activación, la velocidad máxima y constante de Michaelis de las reacciones enzimáticas, además de las concentraciones de sustratos y los productos de la reacción (Lance y Moreau, 1992). Teóricamente entre más baja es la temperatura factores como la velocidad de respiración, producción de etileno y cambios asociados a la maduración y senescencia se reducen al bajar

la temperatura; sin embargo, los frutos de las diferentes especies y cultivares presentan diferentes respuestas a las temperaturas y tiempos de refrigeración que ras alcanzar un umbral considerado como crítico se induce al desarrollo de alteraciones fisiológicas denominadas Daños por frío (Marcellin, 1992). La exposición a temperaturas y tiempos críticos se traduce en un cambio de fase física de lípidos a nivel membrana, desde una condición liquido-cristalina, situación que altera la permeabilidad de las membranas, y todas las funciones celulares que, en función de la severidad del daño se origina a salida de electrolitos y metabolitos y pérdida de la compartimentalización de las estructuras celulares (Wang, 2010). Por otro lado, diversas tecnologías de pre y postcosecha se han estudiado para reducir la sensibilidad de las frutas y hortalizas a los daños por frío, entre estas se incluyen: tratamientos térmicos con agua o aire caliente, aplicación de temperaturas de acondicionamiento, uso de atmósferas controladas o modificadas bajo recubrimientos de ceras o películas plásticas, tratamientos con compuestos químicos como metil-jasmonato y 1-MCP, manejo genético para obtención de cultivares o variedades resistentes y adaptación de tecnologías de producción (podas, fertilización, otros) (Bhoomika *et al.*, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación consistió en tres experimentos con la cosecha de frutos de mango cv. Manila de tres temporadas de producción: 2015, 2016 y 2017. La muestra experimental procedió de árboles de 30 años de edad, desarrollados en un huerto comercial localizado en el Municipio “La Estación” a 16°46'50” N, 99°41'05” O y 19 msnm), en la región de la Costa Chica de Guerrero, México. Los frutos de las tres temporadas, procedieron de un sistema de producción forzada con tratamiento a base de nitrato de potasio (KNO₃) para inducir floración y adelantar cosecha (cosecha temprana). Los frutos se cosecharon en estado de madurez fisiológica de acuerdo al criterio del productor: color externo verde-olivo y menos del 20 % de la superficie de la pulpa con color amarillo incipiente; en los frutos de la cosecha 2015 este grado de madurez correspondió a una firmeza de la pulpa de 135.4±13.2 N y 6.9±0.7 % de SST, en los de la cosecha 2016 fue 114.1±7.9 N y 8.5±0.6 % de SST, y para la cosecha 2017 96.2±11.2 N y 10.6±0.7 % de SST.

Para el experimento 2015 se cosechó un total de 120 frutos para tras eliminar aquellos con daños mecánicos o fuera del grado de madurez establecido en cuanto a color externo, se formaron tres lotes con 32 frutos cada uno, de los cuales uno se almacenó condiciones de maduración (22±2° C y 55±5 % de humedad relativa por seis días) y los otros dos a condiciones de refrigeración (11±1° C y 80-85 % de HR) por una y dos semanas, respectivamente, transfiriéndose tras cada periodo a condiciones de maduración (Figura 7).

EXPERIMENTO I
Refrigeración a 11°

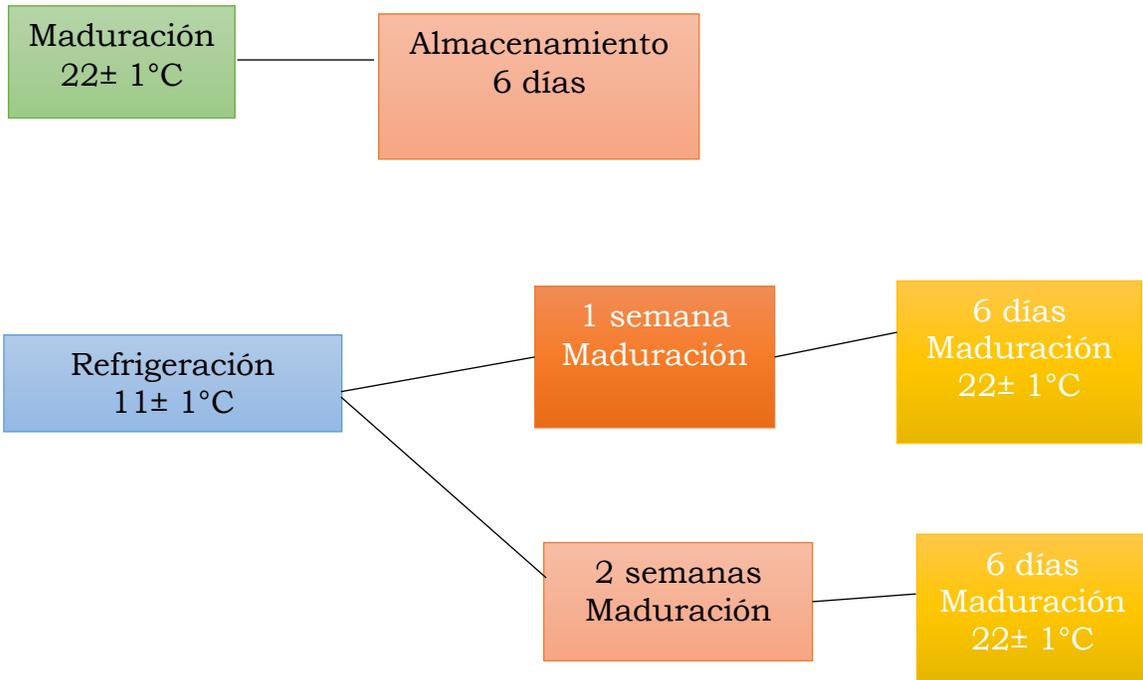


Figura 7. Experimento I

Para el Experimento 2016 se cosecharon 220 frutos bajo el mismo criterio, para establecer seis lotes de 32 frutos cada uno, tres de los cuales se trataron con 1-MCP y los tres restantes sin tratamiento; dos de los lotes (uno con y otro sin 1-MCP) se almacenaron a las condiciones de maduración mencionada, otros dos a condiciones de refrigeración por una semana y otros dos a las mismas condiciones por dos semanas (Figura 8).

**EXPERIMENTO II
1-MCP**

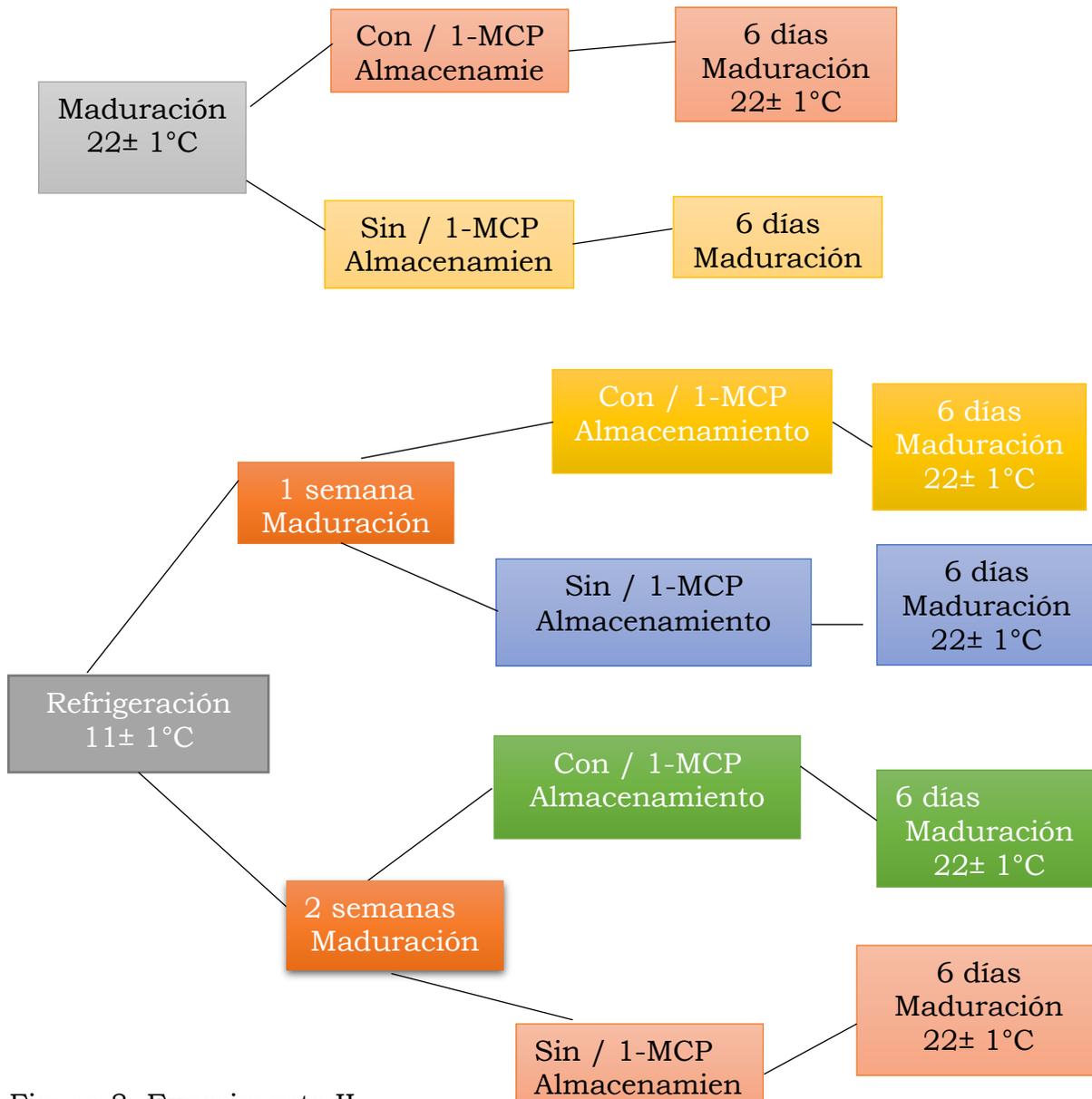


Figura 8. Experimento II

Para el Experimento 2017, se cosechó un total de 300 frutos con los que se formaron nueve lotes con 32 frutos cada uno, (Figura 9).

**EXPERIMENTO III
ETHEPHON, 1-MCP**

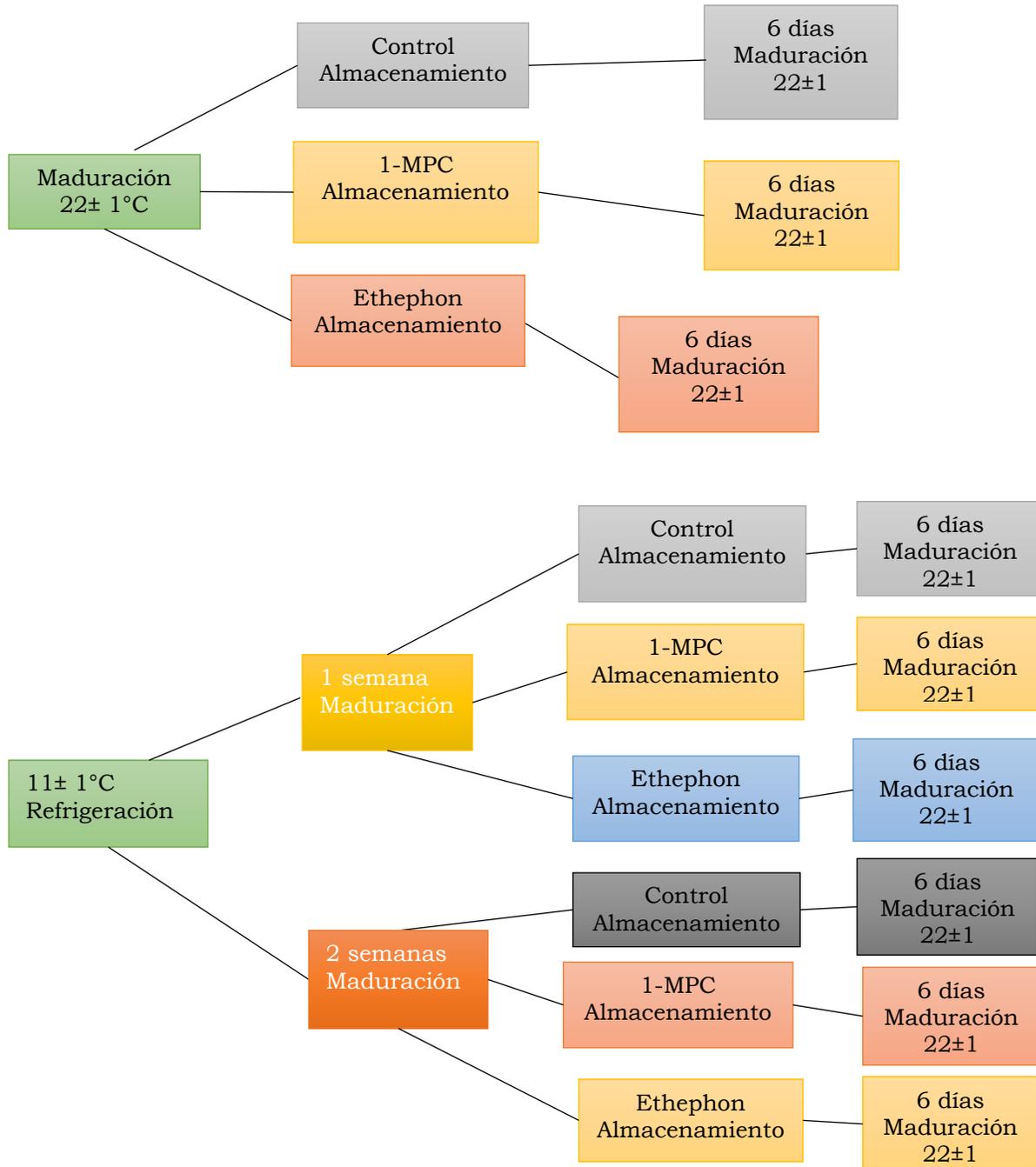


Figura 9. Experimento III

Previo a cada tratamiento los frutos se lavaron con agua corriente y se les aplicó un tratamiento con agua caliente a $53\pm 1^\circ\text{C}$ combinación con tiabendazol (Tecto 60 PH) 0.1 %, inmersión por tres minutos para control de Antracnosis (Lakshminarayana *et al.*, 1974) (Figura 10)



Figura 10. Tratamiento con Tiabendazol (Tecto 60 PH) 0.1 %,

En cuanto al caso de los tratamientos con temperaturas de refrigeración, se utilizó una cámara de refrigeración prefabricada hermética de 20.79 m^3 , con una temperatura mínima de -2°C hasta $\pm 15^\circ\text{C}$, con una unidad condensadora marca Bohn Modelo MBHX-0151-M6C y un evaporador marca Bohn Modelo LET-120-BCS.

Para el tratamiento con 1-MCP (1-Aminociclopropeno) se utilizó el compuesto SmartFreshSM con 0.14 % p/p (1.4 g/kg) y se realizó durante las primeras 24 h después de cosecha; para esto los frutos se colocaron en un contenedor hermético con volumen $1/8\text{ m}^3$ con temperatura controlada de 20°C por ocho horas. La concentración se calculó en base al peso de los frutos y volumen del contenedor para obtener una concentración en la atmósfera de 600 nL L-1; El producto en polvo colocado en tapas de cajas Petri fue disuelto en 3 mL de agua a 40°C para favorecer la formación de gas (Figura 11).



Figura 11. Contenedor hermético para experimento con 1-MCP

Por otro lado, para el tratamiento con Ethephon se utilizó el compuesto ETHRELMR 240 con 21.7 % de Acido 2(cloroetil) fosfónico, con el cual se preparó una solución con concentración de $1000 \mu\text{L L}^{-1}$, la cual se ajustó a pH 5 para favorecer la liberación de etileno; el tratamiento fue por inmersión durante cinco minutos.

Las variables evaluadas para los tres experimentos fueron: Velocidad de respiración, pérdidas fisiológicas de peso, color del epicarpio (cáscara), firmeza de la pulpa así como las variables bioquímicas acidez titulable, contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, así como concentración de ácido ascórbico (Vitamina C) y carotenoides totales, todos en pulpa.

Velocidad de respiración

La velocidad de respiración se midió por el método estático reportado por Salveite y Sharaf (1992), utilizando un cromatógrafo de gases Hewlett Packar (modelo 5890 serie II), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectado a un detector de conductividad térmica (TCD). Las temperaturas de operación fueron: columna= 150° C, TCD= 180°C e inyector 170° C, utilizando helio (He) como gas acarreador (flujo 20 mL min⁻¹). Para realizar las medidas, en tres recipientes con volumen conocido (2.12 L) se colocaron en cada uno dos frutos previamente pesados, tras de lo cual éstos se cerraron herméticamente durante una hora; posteriormente, con jeringa para gases de 1mL, se tomó una muestra del aire del espacio de cabeza y se inyectó al cromatógrafo de gases para obtener las medidas de CO₂ (Figuras 12 y 13); como gas estándar se utilizó CO₂ con concentración de 500 µL L⁻¹ (INFRA®). Las determinaciones se realizaron diariamente en los frutos de los tratamientos expuestos directamente a la temperatura de maduración y/o cuando los frutos se transfirieron de las condiciones de refrigeración a 22±2° C. Para los cálculos se aplicó la siguiente ecuación:

Donde:

Am= Área de la muestra

Ce = Concentración del estándar

Vr = Volumen total del recipiente

Ae = Área del estándar

Vf = Volumen del desplazamiento por fruto

Tr = Tiempo de respiración

Pf = Peso del fruto

Para cada tratamiento un recipiente constituyó una repetición y los datos se reportaron como mL CO₂ kg⁻¹h⁻¹.



Figura 12. Recipientes con frutos de mango para medir la velocidad de respiración.

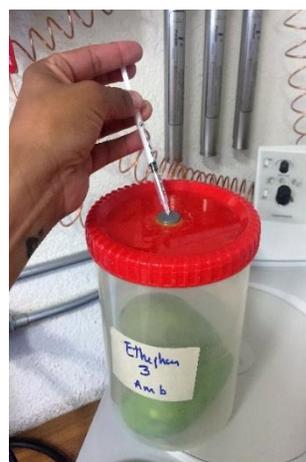
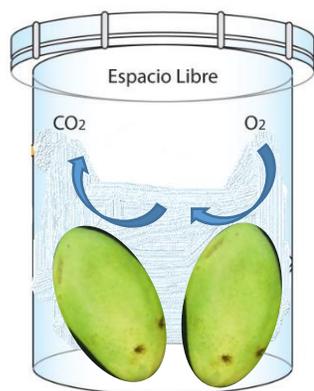


Figura 13. Toma del aire del espacio de cabeza y se inyectó al cromatógrafo de gases para obtener las medidas de CO₂

Pérdidas Fisiológicas de Peso (% PP)

Se determinaron por medida del peso diario de cinco frutos de manera individual, mediante una balanza digital ALSEP EY-2200, Tokio, Japón. Los datos se obtuvieron a base a la diferencia del peso inicial y el obtenido al día de medida, expresándolo en por ciento (%) aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ pp} = (P_i - P_f) / P_f \times 100$$

En donde:

% pp = Porcentaje de pérdidas de peso

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Color

Las medidas de color del epicarpio (cáscara) se realizaron utilizando un colorímetro de reflexión Hunter L, a, b Modelo D-25, Reston, Virginia, USA; las medidas en epicarpio se realizaron en dos lados opuestos del diámetro ecuatorial del fruto. Con los datos registrados de los parámetros L, a y b se calculó el ángulo de tono (oh) aplicando la ecuación $[\text{oh}=\tan^{-1}(b/a)]$ y el Cromo $[C=(a^2+b^2)^{1/2}]$, correspondiendo el valor L a la luminosidad (McGuire, 1992; Arias *et al.*, 2000). Esta variable se midió diariamente en cinco frutos tras ser expuestos a las condiciones de maduración (Figura 15).



Figura 14. Colorímetro de reflexión Hunter L, a, b

Firmeza

Para evaluar la firmeza de la pulpa se utilizó un texturómetro Wagner Force Drive Modelo FDV-30, Greenwich, USA, con puntal cónico de 0.8 mm de diámetro; las medidas se realizaron en dos lados opuestos de la zona ecuatorial del fruto, previa eliminación del epicarpio y los datos de la fuerza de penetración se reportaron en Newtons (N). Para esta variable se tomó una muestra de cuatro frutos por tratamiento y se midió cada dos días durante la exposición a temperatura de maduración ($22\pm 2^\circ\text{C}$) (Figura 16).



Figura 15. Texturómetro Wagner Force.

Acidez titulable

Esta variable se midió aplicando el método descrito por la AOAC (1998), para lo cual se obtuvo una muestra de 5 g de pulpa, se le agregó 50 ml de agua destilada y la mezcla se homogeneizó y filtró. Posteriormente se tomó una muestra de 5 mL de filtrado, se adicionaron dos gotas de fenolftaleína como indicador y se neutralizó con NaOH 0.1 N. Los datos se reportarán como % de ácido cítrico, realizando los cálculos aplicando la siguiente ecuación:

Donde:

ml de NaOH= mL de NaOH gastados durante la titulación

N= Normalidad del NaOH

0.064= miliequivalentes del ácido cítrico

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles se determinaron de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (1998), utilizando un refractómetro digital ATAGO, modelo Pr-100 Serie A56280, Tokio, Japón; los datos se reportaron como % SST.

pH

Para medir el pH se tomó una muestra de 20 y se homogeneizó con 100 mL de agua destilada de acuerdo al método AOAC (1998); las medidas se realizaron directamente en el homogeneizado utilizando un potenciómetro modelo HI 2210 pH-Meter, Rumania.

Ácido Ascórbico (Vitamina C)

El contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en pulpa, se determinó por el método de Tillman (AOAC, 1998), con base en la oxidación del 2,6-diclorofenol-indofenol y ácido oxálico como solución extractora, reportando los datos como mg AA 100g⁻¹

Las medidas de acidez titulable, SST, pH y ácido ascórbico, se realizaron cada dos días en un total de cuatro frutos por tratamiento cuando estos se expusieron a las condiciones de maduración.

Carotenos Totales

El contenido de carotenos totales se determinó por espectrofotometría según el método AOAC (1998), la extracción fue con éter de petróleo y las medidas de absorbancia se obtuvieron a 454 nm. Estas determinaciones se realizaron en la pulpa de cuatro frutos por tratamiento, cada dos días en los frutos expuestos a condiciones de maduración, tras los tratamientos respectivos. Los datos del contenido de carotenos se reportó en mg 100g⁻¹ (Figuras. 17 y 18).

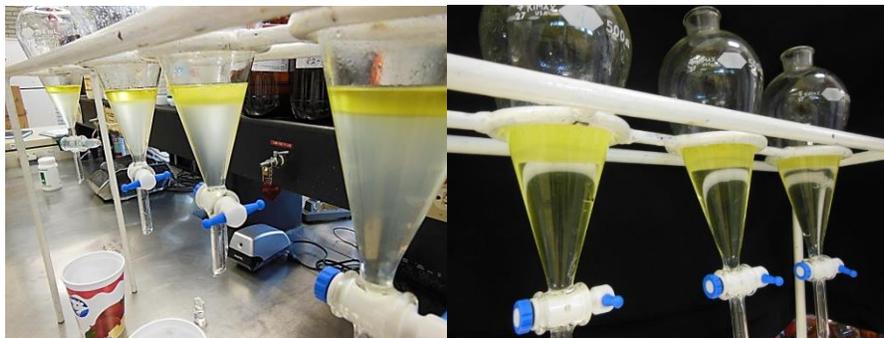


Figura 16. Extracción de β Carotenos.

Modelo estadístico

Para el análisis estadístico del Experimento I se consideró un diseño experimental completamente al azar (**modelo I**) con una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Para el Experimento II y III dado que se evaluó la interacción entre tiempo de almacenamiento y tratamiento se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (**modelo II**). En ambos modelos cada muestra de fruto se consideró como una unidad experimental con tres repeticiones, para el análisis se utilizó el programa estadístico SAS ver. 9.0. Para respiración, y pérdida de peso se obtendrán las medias y desviación estándar.

Modelo I

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}.$$

Y_{ij} = La variable respuesta correspondiente (e.j. Firmeza, °Bx, Ac, Carotenoides, VC)

μ = Efecto del medio general.

T_i = Tratamientos: $i = 1, 2, 3 \dots t$

Donde 1 es 0 días.

2 es 7 días.

3 es 14 días.

i = tratamiento (e.j. Tiempo de almacenamiento)

j = repeticiones (e.j. 3)

e_{ij} = error experimental donde los e_{ij} tienen una distribución normal e independientes con media 0 y varianza σ^2

Modelo II

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}.$$

Y_{ijk} = La variable respuesta correspondiente (e.j. Firmeza, °Bx, Ac, Carotenoides, VC.)

A_i = efecto de la concentración de 1-MCP (experimento II) y Ethephon (experimento III)

B_j = efecto del tiempo de almacenamiento

AB_{ij} = efecto de la interacción de la concentración de 1-MCP (experimento II) y Ethephon (experimento III) y Tiempo de almacenamiento

e_{ijk} = error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento I

Velocidad de respiración

Los frutos almacenados directamente a las condiciones de maduración (22 ± 2 °C) presentaron el típico patrón climatérico, elevando su velocidad de respiración desde 36.3 ± 5.4 hasta 78.4 ± 8.2 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ en los primeros tres días después de cosecha, lo que fisiológicamente correspondió al estado de “Elevación Climatérica”; posteriormente se verificó un descenso hasta 28.3 ± 3.9 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ a los seis días después de cosecha, indicativo del estado “Postclimatérico” (Figura 17). De acuerdo con Lakshminarayana (1975) el clásico patrón climatérico a 25° C de frutos de mango cv. Haden integra tres estados fisiológicos: preclimaterio asociado a la madurez fisiológica, elevación climatérica donde ocurren los cambios inherentes a la maduración y postclimaterio con cambios relacionados con senescencia; en el presente estudio no se detectó el estado pre climatérico, lo que resulta indicativo primeramente de la dificultad para establecer el estado de madurez fisiológica en los frutos del cv. Manila y por otro lado, de su acelerado proceso de maduración una vez cosechados. Es de señalar que los valores de obtenidos resultaron más elevados, respecto a los reportados por García *et al.* (2013), quienes obtuvieron una elevación climatérica de 35 a 43.6 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, lo que evidencia la influencia de diversos factores en la velocidad de respiración de los frutos de mango (Lakshminarayana, 1977).

En el caso de los frutos tratados con refrigeración (11° C) por una semana, tras la transferencia a condiciones de maduración, no observó un máximo climatérico bien definido y la velocidad de respiración fue menor, respecto a los expuestos directamente a 22 ± 2 ° C; sin embargo, se registró un aumento desde 15.8 ± 4.7 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ a la salida de refrigeración y se mantuvo entre 45.2 ± 7.5 y

45.4±8.5 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ durante los siguientes dos días a las condiciones de maduración, disminuyendo posteriormente en el estado postclimatérico hasta 34.5±6.0 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹ al cuarto día (Figura 17); una elevación anormal se presentó en el quinto día hasta 72.5±10.1 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, indicativa de reacciones de fermentación por senescencia avanzada. La menor velocidad de respiración presentada por los frutos de este tratamiento, ha sido asociada con la disminución en la actividad enzimática relacionada con el metabolismo respiratorio inducida por las temperaturas de refrigeración. Una respuesta similar ha sido reportada por Montalvo *et al.*, (2007) en mangos cv. Ataulfo almacenados a 13°C y transferidos a condiciones de maduración.

En cuanto a los frutos almacenado a 11° C por dos semanas, la velocidad de respiración tendió a elevarse desde 36.3 hasta 78.4 mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹, durante su exposición a condiciones de maduración por seis días, no definiéndose ningún estado fisiológico relacionado con la respiración climatérica (Figura 17). Esta respuesta sugiere la alteración del metabolismo de respiratorio por efecto de la inducción de daños por frío, alteración fisiológica que, de acuerdo con Wang (2010) se manifiesta por la elevación anormal de la velocidad de respiración y producción de etileno.

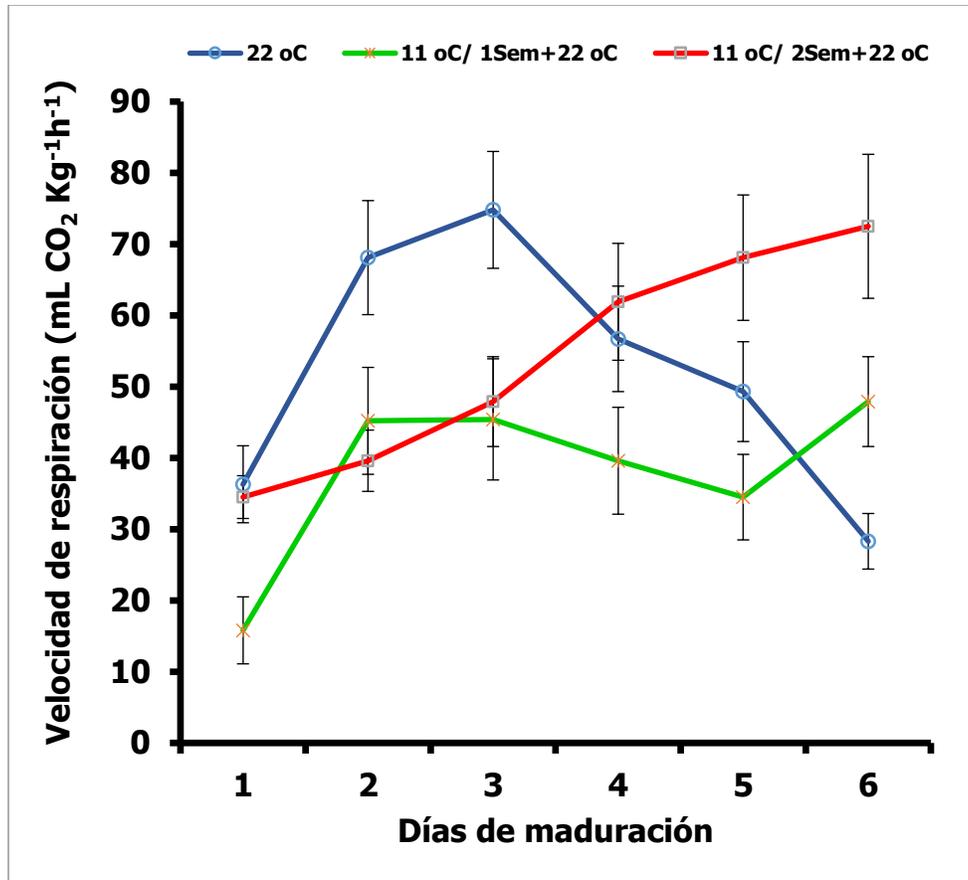


Figura 17. Velocidad de respiración.

Pérdidas de peso

Las pérdidas de peso de los frutos de mango cv, Manila expuestos directamente a las condiciones de maduración, aumentaron conforme avanzó el tiempo de almacenamiento a las condiciones establecidas ($22 \pm 2^\circ \text{C}$ y $55 \pm 5\%$ de HR), hasta 5.6 ± 1.4 , 10.3 ± 2.4 y $19.3 \pm 4.5\%$ para 2, 4 y 6 días de almacenamiento, respectivamente (Figura 18); al respecto, Muy *et al.* (2009) reportan para mango cv. Ataulfo, pérdidas de peso de 2.5, 4.4 y 9.1 % tras 2, 4 y 12 días a 20°C , lo que pone de manifiesto la alta sensibilidad de los frutos de cv. Manila a las pérdidas de agua, lo cual ocurre a través de estomas, lenticelas y otras aperturas del epicarpio (Yahia *et al.*, 2006), lo que fisiológicamente se asocia con el fenómeno de transpiración y al déficit de presión del vapor de agua (DPVA) que

se establece entre la atmósfera externa e interna del fruto. De acuerdo con Barbosa (2009a y 2009b), las características histológicas de: epicarpio con menor espesor, menor número de capas de células epidérmicas y cutícula delgada, de los frutos del cv. Manila, comparadas con frutos del cv. Haden, son factores que favorecen las pérdidas de agua y explican las altas pérdidas de peso obtenidas durante la maduración y senescencia de los frutos en estudio.

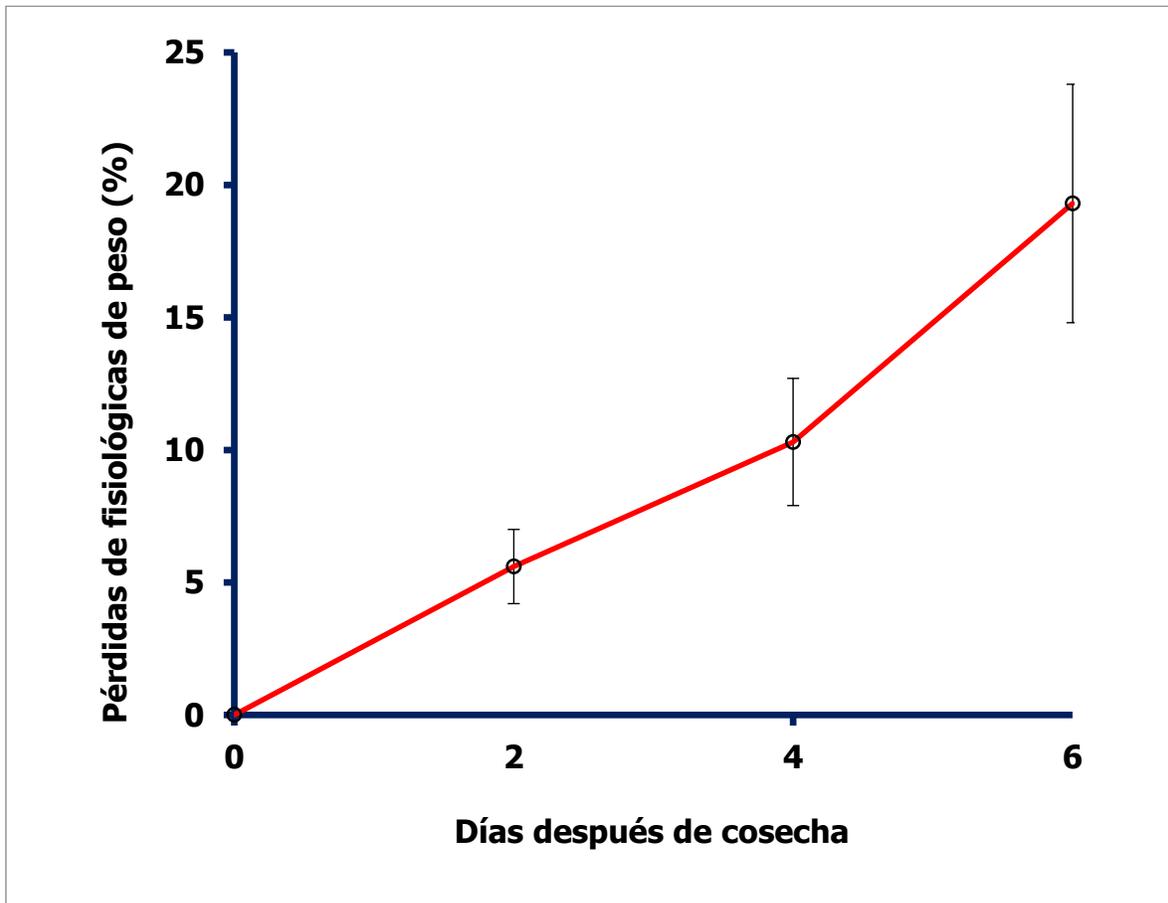


Figura 18. Pérdida de peso

Firmeza

La firmeza de la pulpa disminuyó significativamente conforme evolucionó el proceso de maduración, respuesta común en frutos de mango (Han and Tian 2006). Los tres tratamientos partieron con una firmeza inicial de 135.4 N al momento de cosecha y para el caso de los frutos almacenados directamente a $22 \pm 2^\circ \text{C}$ esta disminuyó significativamente hasta 65.9 N a los cuatro días, coincidiendo con el máximo climatérico, y posteriormente hasta 56.3 N a los seis días en el estado post climatérico (Cuadro 2); de acuerdo con Lakshminarayana (1975), la madurez de consumo se ubica en las primeras fases de la senescencia con valores de firmeza que varían con el cultivar, y factores relacionados con la nutrición, clima y tecnología de producción.

Respecto a los frutos almacenados por una semana a 11°C , presentaron a la salida del tratamiento una disminución significativa hasta 123.8 N (8.6 % de pérdida respecto al valor inicial), disminuyendo posteriormente hasta 71.2 N y 28.5 N tras dos y cuatro días de exposición a $22 \pm 2^\circ \text{C}$, manifestando un acelerado proceso de maduración y senescencia. En cuanto a los frutos con tratamiento de 11°C por dos semanas, a la salida la firmeza disminuyó significativamente hasta 73.8 N (45.5 % de pérdida) y posteriormente hasta 41.1 y 34.6 N a los dos y cuatro días a $22 \pm 2^\circ \text{C}$, valores asociados principalmente con el estado fisiológico de senescencia. Se ha señalado (Redgwell *et al.*, 1997), que los cambios en firmeza asociados a los fenómenos de maduración y senescencia en frutos de mango se relacionan con el metabolismo de componentes de la pared celular, en cuyo caso enzimas del grupo de las poligalacturonasas y celulasas favorecen la ruptura de los enlaces celulosa-hemicelulosas, así como la solubilización de pectinas y ácidos pécticos (Ashraf *et al.*, 1981; Roe y Brunner, 1881). El rápido ablandamiento de los frutos expuestos a condiciones de refrigeración después de transferir a $22 \pm 2^\circ \text{C}$, se relacionó principalmente con la extensión de los periodos de almacenamiento establecidos, toda vez que no se detectaron daños en la evolución del proceso de ablandamiento.

Los frutos de los tres tratamientos presentaron un aumento significativo del contenido de SST durante la exposición a condiciones de maduración (Cuadro 2), presentando los frutos almacenados directamente a $22\pm 2^{\circ}$ C un contenido de 14.9 % en el máximo climatérico y se elevó hasta 22.9 % en el estado post climatérico, en este sentido, para este cultivar León *et al.* (1997) han reportado valores 20 % de SST madurados a 20° C. El aumento en el contenido de SST ha sido asociado con la hidrólisis de almidón hasta sacarosa y el aporte de azúcares por degradación de componentes de pared celular (Hossain *et al.*, 2014), todo lo cual evidencia un proceso de maduración normal de los frutos de mango en estudio. Por otro lado, los frutos tratados con la refrigeración por una y dos semanas y transferidos a $22\pm 2^{\circ}$ C presentaron contenidos similares al avanzar el proceso de maduración y senescencia, alcanzando valores hasta de 20.6 y 20.7 % (Cuadro 2), respectivamente, lo que sugiere que el metabolismo de azúcares en los frutos en estudio no fue afectado por la exposición a 11° C.

En cuanto a la acidez titulable, en los tres tratamientos se observó una disminución significativa en el contenido de ácido cítrico; al respecto, en los frutos expuestos directamente a $22\pm 2^{\circ}$ C la concentración de este ácido disminuyó desde 3.2 % al inicio del experimento, hasta 1.5 % en la madurez de consumo (4 días) y hasta 0.7% en el estado post climatérico (6 días) (Cuadro 2). De acuerdo con Hossain *et al.* (2014), esta disminución se relaciona con el proceso respiratorio al utilizar ácidos orgánicos como sustrato respiratorio, principalmente durante la elevación climatérica donde la pérdida de ácido cítrico alcanzó hasta el 50 %; disminución en el contenido de ácido cítrico desde 2.4 a 0.6 % ha sido reportada por León *et al.*, (1997). Es de señalar que el metabolismo del ácido cítrico no fue afectado por la temperatura y tiempos de refrigeración establecidos, si bien se observó un retardo en su pérdida que alcanzó hasta el 34 y 43 % tras una y dos semanas, respectivamente, debido al periodo de conservación.

El contenido de ácido ascórbico (AA) disminuyó, con relación al valor inicial (86.1 mg 100 g⁻¹), al avanzar la maduración y senescencia, de manera significativamente sólo a los seis días en los frutos almacenados directamente a 22±2° C (75.5 mg 100 g⁻¹), a los cuatro días en los expuestos a esta temperatura tras un previo almacenamiento a 11±1° C y en los almacenados a esta última temperatura por dos semanas, presentando pérdidas significativas ya desde la salida de la refrigeración (78.6 mg 100 g⁻¹) (Cuadro 2). Se ha reportado (Lee y Kader, 2000) que el almacenamiento de productos hortofrutícolas a una mayor temperatura y/o tiempos prolongados de exposición, se traduce en mayores pérdidas de AA principalmente por oxidación; sin embargo, los menores contenidos de los frutos conservados por dos semanas a 11±1° C pudo estar influenciada también por la incidencia de daños por frío, que si bien no se observaron síntomas externos, de acuerdo con Lee y Kader (2000) es un factor de pérdidas en productos sensibles a este desorden fisiológico como el mango.

Con relación al contenido inicial (580 µg 100 g⁻¹), la concentración de carotenoides de la pulpa se incrementó, significativamente, en los tres tratamientos durante la exposición a las condiciones de maduración; en este sentido, los frutos expuestos directamente a 22±2° C alcanzaron en el máximo climatérico 1160 µg 100 g⁻¹ y 1620 µg 100 g⁻¹ en el estado post climatérico (Cuadro 2). De acuerdo con Litz (1997), el contenido de carotenoides totales en frutos de mango varía de 900 a 9000 µg 100 g⁻¹, dependiendo del cultivar, época y zona de producción; sin embargo, en el caso del presente experimento los contenidos resultaron bajos respecto a los reportados para otros cultivares: 1230 a 3800 µg 100 g⁻¹ para Keitt y 1700 a 5120 µg 100 g⁻¹ para Kent (Mercadante y Rodríguez, 1997). Se ha reportado (Hsieh y Goodman, 2005) que en tejidos fotosintéticos todos los genes de la ruta MEP (Metil-eritritol- pirofosfato) están claramente regulados por la luz, lo que permite asumir que los frutos de mango cv. Manila de cosecha temprana al tener un periodo de crecimiento durante el invierno con menor intensidad de luz, respecto a los de periodo de crecimiento en primavera y verano, sintetizan menor cantidad de carotenoides. Respecto al

contenido de carotenoides totales de los frutos expuestos directamente a condiciones de maduración, el tratamiento con refrigeración por dos semanas manifestó una menor síntesis de carotenoides totales en el estado post climatérico; en el caso de los frutos expuestos por una semana, el contenido de carotenoides fue estadísticamente igual tanto en la elevación climatérica como en el estado post climatérico (Cuadro 2).

En cuanto a los cambios en color de los frutos, el valor L-Hunter (luminosidad) aumentó significativamente, con relación al valor inicial, en los frutos almacenados directamente a $22\pm 2^{\circ}$ C al evolucionar desde 48.1 hasta 61.9.

En lo que respecta a los frutos refrigerados por una y dos semanas, el valor L-Hunter se mantuvo sin cambios significativos con relación al valor inicial, pero incrementaron su valor de manera significativa al avanzar el tiempo de exposición a las condiciones de maduración, alcanzando valores de 57.9 y 55.0, respectivamente (Cuadro 2). Se ha reportado (León *et al.*, 1997) que en frutos de mango 'Manila' al pasar de color verde al amarillo el valor L-Hunter aumenta de 50 a 60, lo que permite asumir que los valores encontrados en el presente estudio se encuentra en el rango de los encontrado en otros estudios; sin embargo, es de señalar que los frutos del tratamiento sin refrigeración tendieron a presentar un valor L-Hunter mayor (promedio 59.4), principalmente respecto a los refrigerados por dos semanas (promedio 52.7), lo que sugiere efectos del tiempo de refrigeración en la evolución del color en cuanto a la brillantez (luminosidad) del mismo. Por otro lado, el croma (C) también se incrementó conforme evolucionó la maduración y senescencia, no obstante de manera significativa sólo en los frutos expuestos directamente a $22\pm 2^{\circ}$ C con un cambio de 25.9 al inicio del almacenamiento hasta 31.2 tras seis días del mismo (Cuadro 2). De acuerdo con Padda *et al.*, (2011), en frutos de mango que cambian de verde al amarillo los valores de L-Hunter y del Croma (C) tienden a incrementarse durante la maduración lo que explica los resultados obtenidos. Con base en lo anterior, es de señalar que de acuerdo con los resultados obtenidos el Croma de los frutos tratados con refrigeración no resultó afectado por la temperatura y

tiempo de frigoconservación. En lo que se refiere al Ángulo de Tono ($^{\circ}$ h), los resultados obtenidos revelaron una tendencia a la disminución con diferencias significativas, respecto al valor inicial, conforme avanzó la maduración y/o senescencia (Cuadro 2); esto como parte de la degradación de clorofila y la síntesis de carotenoides, con el consecuente cambio de cloroplastos a cromoplastos (Lakshminarayana, 1980; Lizada, 1993). Si bien no se observaron cambios significativos entre los tratamientos durante el tiempo de exposición a $22\pm 2^{\circ}$ C, el ángulo de tono en el estado post climatérico resultó menor en los frutos sin refrigeración y refrigeración por una semana (101.0° a los seis días y 101.5° a los cuatro días, respectivamente), con relación a los refrigerados por dos semanas (105.9° a los seis días), lo que sugiere que los frutos de este último, al menos de manera visual, presentó una tonalidad menos amarilla. De acuerdo con Ornelas *et al.*, (2008) los valores del ángulo de tono ($^{\circ}$ h) correlacionan negativamente con la concentración de los principales carotenoides en mango ‘Manila’.

Cuadro 1. Análisis de varianza del experimento I, utilizando el modelo estadístico I.

Variable Dependiente	Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Firme	trat	8	28792.71	3599.09	10.92	<.0001
$^{\circ}$ Bx	trat	8	515.52	64.44	18.34	<.0001
Ac	trat	8	7.95	0.99	35.31	<.0001
Vc	trat	8	2531.73	316.47	6.1	0.0007
Carotenoides	trat	8	167.79	20.97	45.96	<.0001

Cuadro 2. Efecto de tratamiento de refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas

Tratamientos	Firmeza (N)	SST (%)	Acidez Tit. (% Ác. Cit.)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	Carot. Tot. (µg 100g ⁻¹)	Color Epicarpio		
						L	C	h
Inicial	135.4a	6.9d	3.2a	86.1a	580d	48.1c	25.9b	124.9a
<u>22±2° C</u>								
2 días	119.7b	7.6d	2.3b	82.3ab	940bc	58.1ab	27.3ab	113.8ab
4 días	65.9c	14.9c	1.5bc	80.5ab	1160bc	58.3ab	29.3ab	107.7bc
6 días	56.3c	22.9a	0.7c	75.5bc	1620a	61.9a	31.2a	101.0c
<u>11° C/1Sem.</u> <u>+ 22±2° C</u>								
Salida	123.8b	15.8bc	2.1b	85.4a	790cd	54.0bc	26.7ab	111.7b
2 días	71.2c	18.5ab	1.2bc	81.1ab	840c	57.0ab	27.7ab	105.8bc
4 días	28.5d	20.6a	0.7c	73.7bc	1310ab	57.9ab	28.2 ab	101.5c
<u>11° C/2Sem.</u> <u>+ 22±2° C</u>								
Salida	73.8c	17.4b	1.7b	78.6b	660cd	49.9c	27.0ab	111.4b
2 días	41.1d	19.3ab	1.4bc	77.4bc	670cd	53.2bc	27.4ab	104.4bc
4 días	34.6d	20.7a	0.9c	67.5c	1240b	55.0b	27.7ab	105.9bc

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$. Firmeza (Newton), Acidez titulable (AT), % Ac.cítrico, Sólidos solubles totales (SST), °Brix, Vitamina C (VC), mg Ac. Ascórbico.

Experimento II

Velocidad de respiración

Los frutos de los dos tratamientos presentaron diferencias significativas en la velocidad de respiración al máximo climatérico, los cuales alcanzaron, después de cuatro días de almacenamiento a $22\pm 2^\circ\text{C}$, valores de 89.4 ± 6.1 y 73.1 ± 7.3 mL CO_2 $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ para el Control y 1-MCP, respectivamente (Figura 19). De acuerdo con Watkins (2006), 1-MCP reduce la velocidad de respiración y producción de etileno en frutos climatéricos; similar respuesta fue reportada por Sing y Pathak (2008) quienes observaron que tratamientos con 1-MCP redujeron la velocidad de respiración de mangos cultivares Chausa, Dashehari y Langra almacenados a temperatura ambiente, lo que permitió la prolongación de la vida de anaquel. Es de señalar la respuesta al 1-MCP está asociada al bloqueo del punto de unión de etileno con el receptor en el sitio de acción, lo que se traduce en menor biosíntesis de etileno y reducción de la velocidad de respiración durante la maduración (Jiang y Sheng, 2003).

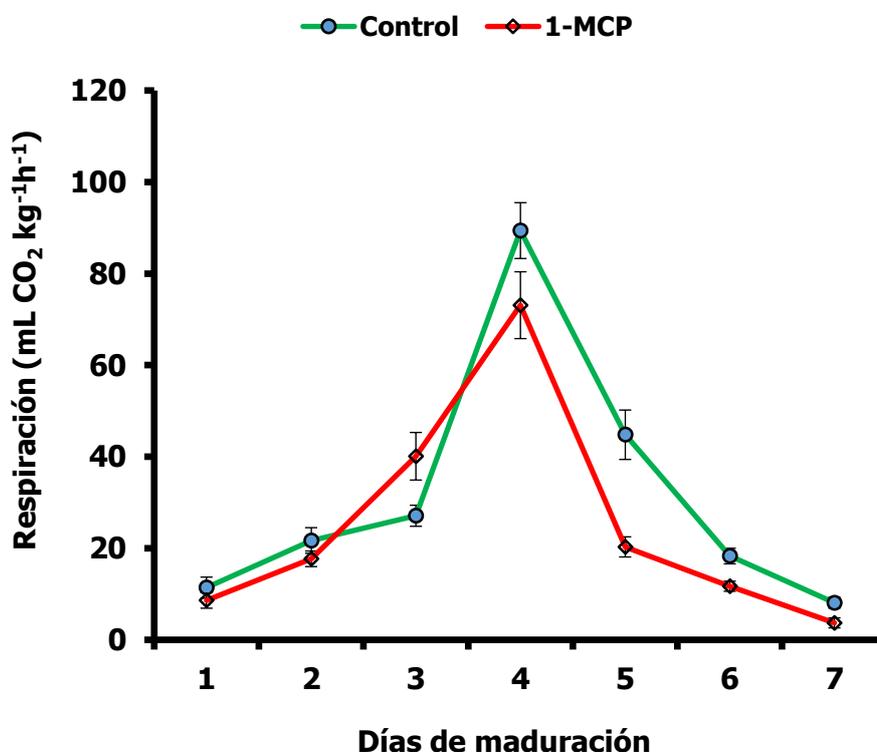


Figura 19. Velocidad de respiración a $22\pm 2^\circ\text{C}$

En el caso de los frutos almacenados a $11\pm 1^\circ\text{C}$ por una semana y transferidos a $22\pm 2^\circ\text{C}$ para maduración, la velocidad de respiración de los frutos tratados con 1-MCP, evaluada al máximo climatérico (primer día después de la salida de refrigeración), resultó menor en 14.8 %, respecto al control (Figura 20), siendo este porcentaje menor al observado en los frutos sin refrigeración (18.2 %), lo que coincide con lo reportado por Bregoli *et al.*, (2005) quienes reportan que el efecto de etileno se reduce al exponer a temperaturas de refrigeración.

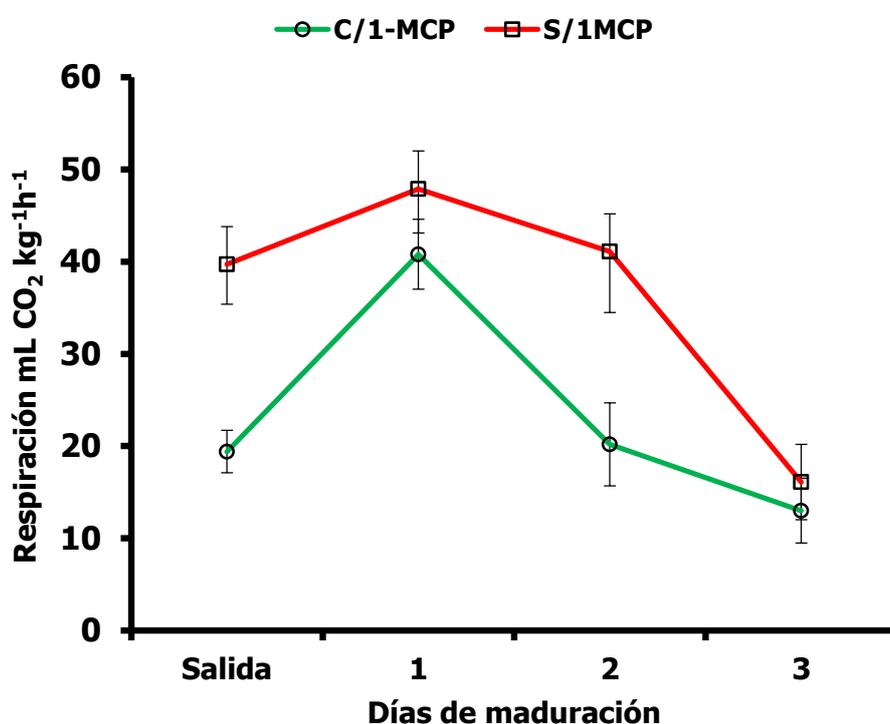


Figura 20. Velocidad de respiración en frutos almacenados a $11\pm 1^\circ\text{C}$ por una semana

Con relación a los frutos almacenados por dos semana bajo refrigeración, la velocidad de respiración global fue significativamente menor en los frutos con el tratamiento de 1-MCP (promedio $21.8\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), respecto al control (promedio $86.1\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Figura 21). Esta respuesta sugiere el efecto de la temperatura y tiempo de refrigeración en el desarrollo de daños por frío, manifestada por un incremento anormal de la respiración del control; en este

sentido, 1-MCP al presentar una evolución normal del proceso respiratorio, lo cual coincide con lo reportado por Wang *et al.*, (2008).

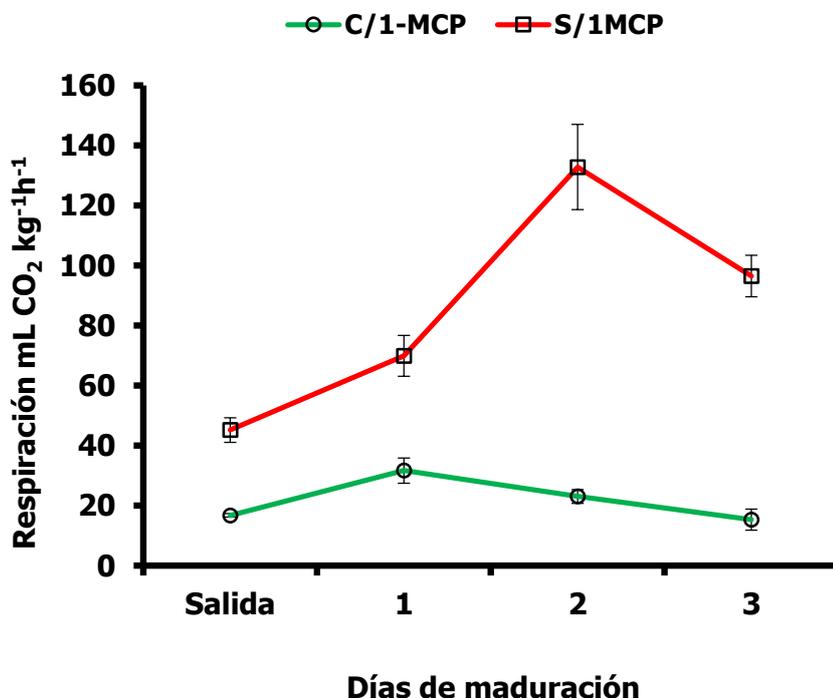


Figura 21. Velocidad de respiración en frutos almacenados a $11\pm 1^{\circ}$ C por dos semana.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las pérdidas de peso de los frutos almacenados directamente a las condiciones de maduración, los frutos tratados con 1-MCP presentaron significativamente mayores pérdidas de peso alcanzando a los cuatro días de almacenamiento un total de 7.9 % (1-MCP) y 6.3 % (control) sin que aparecieran síntomas de marchitamiento (Figura 22); sin embargo estas se elevaron hasta 12.1 y 10.2 %, respectivamente, mostrando síntomas de marchitamiento. Al respecto Manganaris *et al.*, (2008) han reportado que 1-MCP favorece cambios en la cantidad y composición de las ceras epicuticulares del epicarpio, lo cual favorece el transporte del vapor de agua a través del epicarpio de los frutos, lo cual explica las mayores pérdidas de peso de los frutos tratados con dicho regulador del crecimiento.

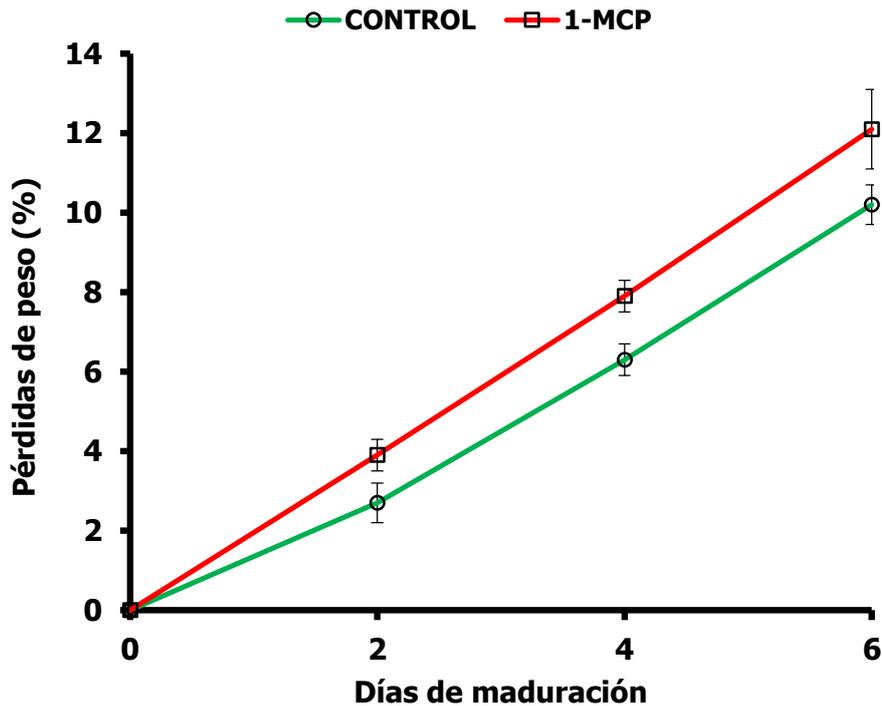


Figura 22. Pérdidas de peso de frutos de mango cv. Manila con y sin (control) tratamiento con 1-MCP y almacenados a $22\pm 2^\circ$ C. Medias \pm DE para $n=5$.

La firmeza de la pulpa disminuyó en todos los tratamientos conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Cuadro 4). En el caso de los frutos almacenados directamente a la temperatura de maduración, mostraron que el tratamiento con 1-MCP mantuvo una mayor firmeza de la pulpa, sin embargo, esta fue estadísticamente significativa solo hasta los seis días de almacenamiento, al presentar los frutos con 1-MCP una firmeza de 44.1 N contra 22.1 N del control, lo que representa una pérdida de firmeza, respecto al valor inicial, de 64.0 y 81.5 %, respectivamente (Cuadro 4) Esta respuesta sugiere un retraso en la evolución de la maduración debido al tratamiento con 1-MCP; al respecto se ha reportado que 1-MCP actúa limitando el efecto de etileno al bloquear su unión con receptores en el sitio de acción, retardando a su vez la síntesis de enzimas específicas relacionadas con los cambios en firmeza en mango y otros frutos (Blankenship y Dole, 2003). Retardo en la pérdidas de firmeza en frutos de mango 'Nam Dokmai' tratados con 1-MCP (250 ppb) a 25° C, ha sido reportado por Penchaiya *et al.*, (2006), permitiendo la

prolongación del tiempo de almacenamiento por 15 días; la extensión del tiempo de almacenamiento obtenida en el presente experimento, resulta indicativo del efecto de la dosis, temperatura y tiempo de exposición y cultivar en la eficiencia del tratamiento con 1-MCP para reducir las pérdidas de firmeza en frutos de mango. Es de señalar que los frutos almacenados por dos semanas a 11° C sólo permanecieron por dos días a condiciones de maduración con calidad moderada, posteriormente experimentaron los frutos un alto grado de deterioro.

Los sólidos solubles totales presentaron un incremento significativo respecto al valor inicial (6.9 %), alcanzando los mayores valores los frutos del control tras seis días de exposición a 22±2° C, tanto con y sin refrigeración (21.1 % sin refrigeración, 19.3 y 18.7 % para refrigeración por una y dos semanas, respectivamente); estos contenidos de SST fueron significativamente mayores a los frutos tratados con 1-MCP tras el mismo periodo (15.6 % sin refrigeración, 15.5 y 15.7 % para refrigeración por una y dos semanas, en el mismo orden) (Cuadro 4). Estos resultados muestran el efecto de 1-MCP en retrasar la acumulación del contenido de SST, asociado al metabolismo de carbohidratos durante la maduración y senescencia; al respecto, se reporta (Watkins, 2006) que en diversos frutos (durazno, nectarina, ciruela y tomate), el contenido de SST no es afectado por el tratamiento con 1-MCP, si bien es de esperarse un retraso en su acumulación por efecto del retardo en la maduración; los resultados obtenidos sugieren un comportamiento similar.

El contenido de ácido cítrico disminuyó en todos los tratamientos durante la exposición a condiciones de maduración, siendo esta significativamente mayor en los frutos sin el tratamiento con 1-MCP (control), en cuyo caso tras seis días de almacenamiento se observaron pérdidas entre 62 y 72 %, respecto al valor inicial; no así en los frutos tratados con 1-MCP donde éstas se ubicaron en 47, 31.2, 18.7 % para los expuestos por seis días a 22±2° C, los almacenados a 11° C por una semana + 4 días a 22±2° C y 11° C por dos semanas + dos días a 22±2° C por una y dos semanas, respectivamente. De acuerdo con Watkins (2006) 1-MCP retarda los cambios en la acidez titulable

durante la maduración, lo que explica las menores pérdidas del contenido de ácido cítrico observadas en el presente experimento; sin embargo, se ha también señalado que el nivel de éstas depende de la temperatura de almacenamiento y puede estar asociada con fallas en la maduración debido a daños por frío, lo cual explica el mayor contenido de ácido cítrico tras seis días de exposición a $22\pm 2^\circ\text{C}$ de los frutos almacenados bajo refrigeración por dos semanas (2.7 y 2.6 %) (Cuadro 4).

Con relación al valor inicial $51.4\text{ (mg } 100\text{ g}^{-1}\text{)}$ (Cuadro 4), la concentración de ácido ascórbico disminuyó significativamente en los frutos sin 1-MCP (Control) almacenados a las condiciones de maduración, alcanzando pérdidas globales de 34.6, 32.2 y 30.1 % para los tratamientos control ($22\pm 2^\circ\text{C}$), $11^\circ\text{C}/1$ Semana y $11^\circ\text{C}/2$ Semanas, respectivamente; en los frutos tratados con 1-MCP dichas pérdidas se ubicaron en 18.7, 22.8 y 25.1 % para los mismos tratamientos, en el mismo orden. Las menores pérdidas de vitamina C obtenidas por el tratamiento con 1-MCP, sugieren un retraso el proceso de maduración y senescencia; en este sentido, Coccozza *et al.*, (2004) reportan que 1-MCP mantuvo altos contenidos de ácido ascórbico en frutos de mango Tommy Atkins conservados por refrigeración, asimismo Selvarajah *et al.*, (2001) han reportado que el tratamiento con 1-MCP retarda las pérdidas de vitamina C en frutos de piña almacenados a temperaturas de frigoconservación; ambos por reducción de la actividad de la enzima ascorbato oxidasa dependiente de etileno.

La concentración de carotenoides experimentó un aumento significativo, con relación al valor inicial ($510\text{ }\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}\text{}$), conforme fisiológicamente evolucionó la maduración y senescencia, principalmente en los frutos sin 1-MCP (control) almacenados directamente a $22\pm 2^\circ\text{C}$, los cuales alcanzaron una concentración de $2940\text{ }\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$ a los seis días; alcanzando los frutos expuestos por una semana a 11°C más cuatro días de maduración una concentración de $1920\text{ }\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, en tanto que en los frutos refrigerados por dos semanas más dos días a la temperatura de maduración, la concentración se ubicó en $1440\text{ }\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$ (Cuadro 4), todo lo cual significó un aumento de

hasta 5.8, 3.8 y 2.5 veces, respecto al valor inicial. En cuanto a los frutos tratados con 1-MCP, tras los mismos periodos la concentración de carotenoides se ubicó en 1700, 1480 y 1140 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, correspondiendo a un aumento de hasta 3.3, 2.9 y 2.2 veces, con relación al valor inicial. La menor evolución de la concentración de carotenoides debido al tratamiento con 1-MCP, se relaciona con el retraso de los cambios asociados a la maduración que involucran la síntesis de carotenoides y degradación de clorofila por efecto del bloqueo impuesto por 1-MCP en el sitio de acción de etileno. Diversos investigadores (Patil, 1990; Kader, 2002), reportan el aumento de la concentración de carotenoides conforme avanza la maduración, siendo máxima al momento de la madurez de consumo; sin embargo, su biosíntesis es afectada por diversos tratamientos postcosecha como: temperaturas de refrigeración, atmósferas controladas, uso de inhibidores de la maduración e incidencia de desórdenes fisiológicos (daños por frío) provocando su desnaturalización vía rutas metabólicas relacionadas con lipooxigenasas y/o la producción anormal de etileno (Medlicot *et al.*, 1990 y Kader, 2002); esto último explica la menor síntesis de carotenoides de los tratamiento expuestos bajo refrigeración, principalmente tras dos semanas de frigoconservación.

En cuanto al color del epicarpio, la luminosidad permaneció sin cambios significativos, con relación al valor inicial ($L = 48.1$), en los tratamientos almacenados directamente a temperatura de maduración, en los expuestos bajo refrigeración por una semana y en los frutos sin 1-MCP refrigerados por dos semanas (Cuadro 4), con valores L entre 49.4 a 55.2; no así en los tratados con 1-MCP por dos semanas a $11^\circ \text{C} + 2 \text{ días}$ a 22.2°C en cuyo caso se observó una disminución significativa ($L < 40$), lo que proporcionó a los frutos un color opaco; no se observaron diferencia significativas en Croma el cual varió entre 25.8 y 28.9 (Cuadro 4). En el caso del tono ($^{\circ}\text{h}$), se observó una disminución significativa, respecto al valor inicial (125.2), conforme evolucionó la maduración (Cuadro 4); sin embargo esta fue significativa al final del periodo de periodo de almacenamiento, es decir a los seis días en los frutos almacenados directamente a temperatura de maduración, así como

cuatro y dos, a esta misma temperatura, en los frutos previamente expuestos por una y dos semanas a 11° C. Es de señalar que, en general los frutos tratados con 1-MCP presentaron menor evolución de la tonalidad, al mostrar una disminución del ángulo de tono del 6.5, 7.5 y 9.3 % para los frutos almacenados a directamente a 22±2° C, así como una y dos semanas a 11° C y posterior exposición a temperatura de maduración, respectivamente; en los frutos sin 1-MCP dicha disminución fue de 8.9, 11.2 y 10.1 % en el mismo orden. Estos últimos resultados significaron un retraso en el cambio de la tonalidad de los frutos debido al 1-MCP.

Para este experimento se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (tiempo de almacenamiento y tratamiento) con una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Cada muestra de fruto se consideró como una unidad experimental con tres repeticiones, para el análisis se utilizó el programa estadístico SAS ver. 9.0.

Cuadro 3. Análisis de varianza del experimento II utilizando el modelo estadístico II.

Variable Dependiente	Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Firmeza	comb	8	4331.96	541.50	22.13	<.0001
	trat	1	521.67	521.67	21.32	<.0001
	comb*trat	8	520.87	65.11	2.66	0.021
°Bx	comb	8	460.35	57.54	32.26	<.0001
	trat	1	10.32	10.32	5.79	0.0214
	comb*trat	8	24.60	3.07	1.72	0.1264
Acidez	comb	8	15.06	1.88	6.59	<.0001
	trat	1	2.18	2.18	7.61	0.009
	comb*trat	8	8.68	1.09	3.8	0.0025
Vitamina C	comb	8	2867.66	358.46	5.38	0.0002
	trat	1	37.25	37.25	0.56	0.4593
	comb*trat	8	476.03	59.50	0.89	0.5318
Carotenoides	comb	8	32.32	4.04	9.95	<.0001
	trat	1	5.15	5.15	12.69	0.0011
	comb*trat	8	38.99	4.87	12.01	<.0001

Cuadro 4. Efecto de tratamiento de 1-MCP y refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas

Tratamientos	Firmeza (N)	SST (%)	Acidez Tit. (% Ác. Cit.)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	Carot. Tot. (µg 100g ⁻¹)	Color Epicarpio		
						L	C	°h
Inicial	114.1a	6.9g	3.2a	51.4a	510d	48.1a	25.8a	125.2a
<u>22±2° C</u> S/1-MCP								
2 días	110.8a	10.4fg	2.4ab	37.9bc	663cd	49.4a	26.7a	124.3a
4 días	66.4bcd	18.5abc	2.2b	36.0bc	1020bc	52.4a	26.5a	112.8ab
6 días	22.1ef	20.1a	0.9c	26.8c	2940a	50.8a	27.6a	104.9b
C/1-MCP								
2 días	112.1a	8.9fg	2.7ab	48.3a	580cd	48.5a	27.7a	124.9a
4 días	79.2abc	12.6ef	2.6ab	41.6b	940c	52.6a	27.4a	120.5a
6 días	44.1cde	15.6cde	1.7bc	35.4bc	1700ab	51.6a	26.8a	105.6b
<u>11° C/1Sem.</u> <u>+ 22±2° C</u>								
Salida	51.6cde	14.0def	1.7bc	36.6bc	690cd	53.9a	28.1a	117.4ab
2 días	33.3def	15.8bcde	1.1c	35.4bc	1020bc	54.9a	28.9a	110.7ab
4 días	15.9ef	19.3ab	0.9c	32.4bc	1910ab	55.0a	28.8a	105.6b
C/1-MCP								
Salida	102.8ab	14.7cdef	2.7ab	45.3ab	760cd	54.2a	26.3a	121.2a
2 días	78.9abc	14.9cdef	2.4ab	37.9bc	1090bc	54.9a	27.7a	120.5a
4 días	44.1cde	15.5cde	2.2bc	36.0bc	1480b	54.9a	27.7a	105.9b
<u>11° C/2Sem.</u> <u>+ 22±2° C</u>								
Salida	22.9ef	14.9cdef	1.5bc	36.0bc	1020bc	54.9a	27.7a	119.3a
2 días	13.0f	18.7abc	1.2c	35.9bc	1260bc	55.2a	27.5a	105.9b
C/1-MCP								
Salida	61.4dc	14.0def	2.7ab	40.9b	1020bc	34.2b	27.5a	121.2a
2 días	24.3ef	15.7cde	2.6 ab	36.0bc	1140bc	37.5b	26.9a	105.8b
SIN MCP	44.20a	15.24b	2.18a	38.72a	1.39a	3.00a	49.40a	27.19a
CON MCP	85.2.b	16.11a	11.77b	37.06a	0.77a	3.00a	50.26a	27.32a

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$.

Firmeza (Newton), Acidez titulable (AT), % Ac.cítrico, Sólidos solubles totales (SST), °Brix, Vitamina C (VC), mg Ac. Ascórbico.

Experimento III

Velocidad de respiración

La velocidad de respiración promedio tras seis días de almacenamiento a $22\pm 2^\circ\text{C}$ de los frutos tratados con Ethephon, resultó más alta en 33.6 % respecto al control. Los frutos de ambos tratamientos presentaron el típico patrón climatérico a los cinco días después de cosecha, mostrando los frutos con tratamiento de Ethephon un máximo significativamente mayor ($119.2\pm 10.1\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) con relación al Control ($89.4\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Figura 23), todo lo cual revela que Ethephon al liberar etileno, incrementa la velocidad de respiración, efecto que ha sido también reportado por Salveitt (1999) para otros frutos climatéricos.

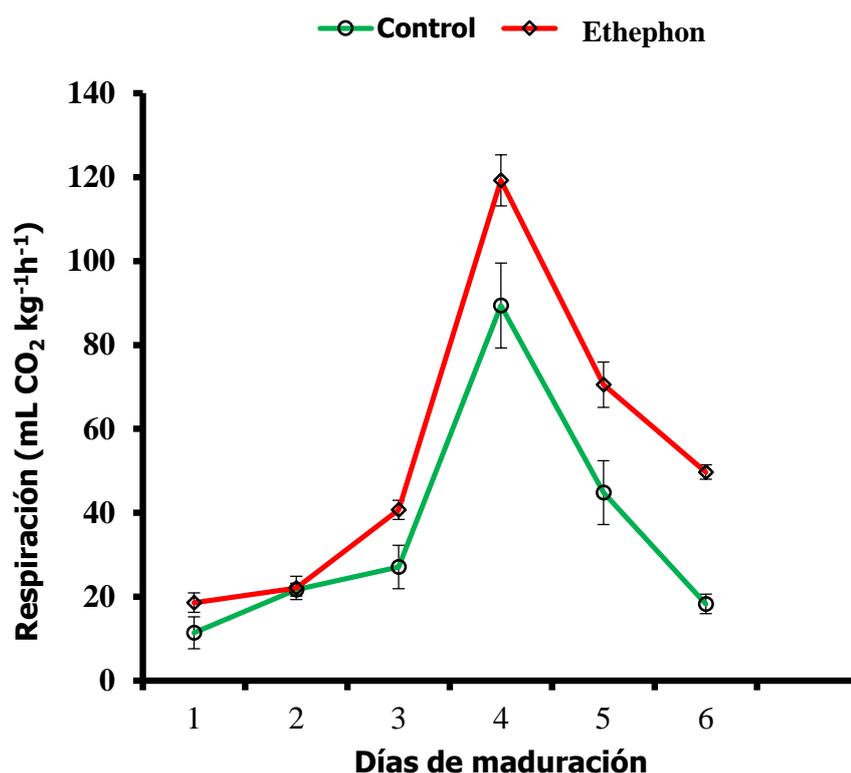


Figura 23. Velocidad de respiración con almacenamiento a $22\pm 2^\circ\text{C}$

Los frutos tratados con Ethephon almacenados bajo refrigeración por una semana y madurados a $22\pm 2^\circ\text{C}$, mostraron una velocidad de respiración, al máximo climatérico, significativamente mayor ($72.6\pm 11.9\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), con relación al control ($48.0\text{ mL CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), al siguiente día después de la salida de refrigeración (Figura 24); si bien esta respuesta evidenció un comportamiento similar al de los frutos sin refrigeración, los valores al máximo climatérico fueron menores, lo que sugiere que por la alta actividad metabólica característica de los frutos de este cultivar, durante la frigoconservación se verifica un importante consumo de sustancias de reserva. De acuerdo con Lee *et al.*, (1997), en mangos la velocidad de respiración se reduce durante el almacenamiento a temperaturas de refrigeración y esta se incrementa al transferir a temperaturas de maduración hasta niveles similares al de frutos sin refrigeración; sin embargo esta resulta anormalmente elevada cuando los frutos se exponen a temperaturas inductivas de daños por frío ($< 13^\circ\text{C}$) o tiempos prolongados a de exposición (Saucedo y Lakshminarayana, 1977).

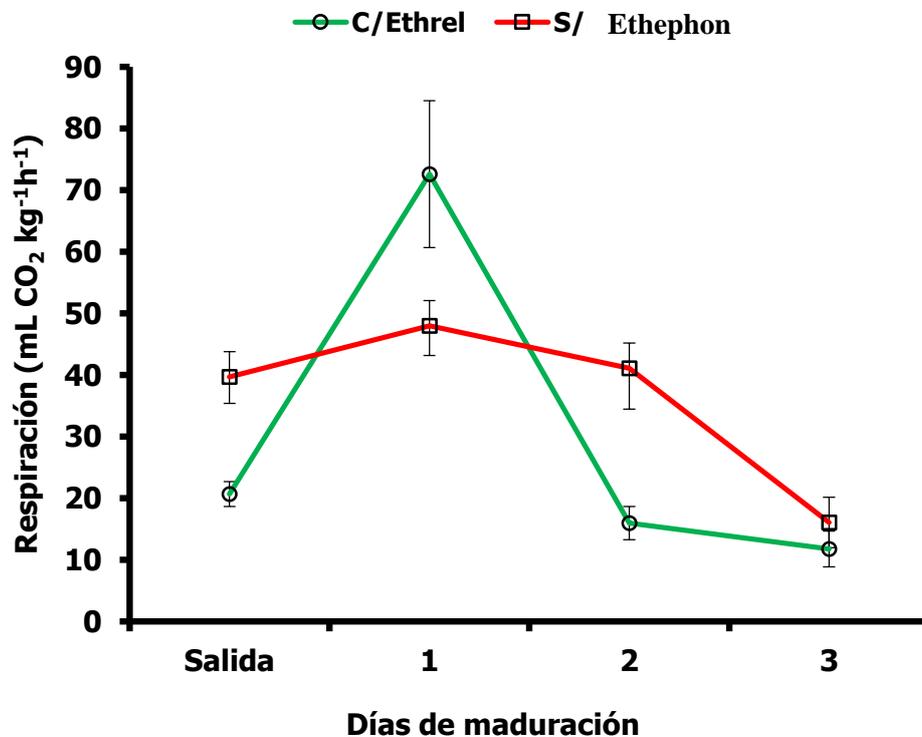


Figura 24. Velocidad de respiración con almacenamiento a 11°C /1 Semana

En el caso de los frutos almacenados por dos semanas resultó evidente el incremento anormal de la velocidad de respiración de los frutos del control (Figura 25); los cuales alcanzando un máximo de $132.8 \pm 14.2 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a los tres días después de transferir a las condiciones de maduración, lo que de acuerdo con algunos investigadores (Saucedo y Lakshminarayana, 1977; Wang, 2010) se presenta como una respuesta a la incidencia de daños por frío; es de señalar que la respiración los frutos tratados con Ethephon presentaron bajos niveles de respiración ($21.8 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), lo que se relaciona con frutos en estado de senescencia. De acuerdo con esto último, se ha reportado (Wang, 2010) que tratamiento con etileno previo al almacenamiento refrigerado, constituye una alternativa para reducir la sensibilidad de los frutos a daños por frío; lo anterior sugiere que la baja velocidad de respiración los frutos tratados con Ethephon no se relacionó con problemas de incidencia de este desorden fisiológico.

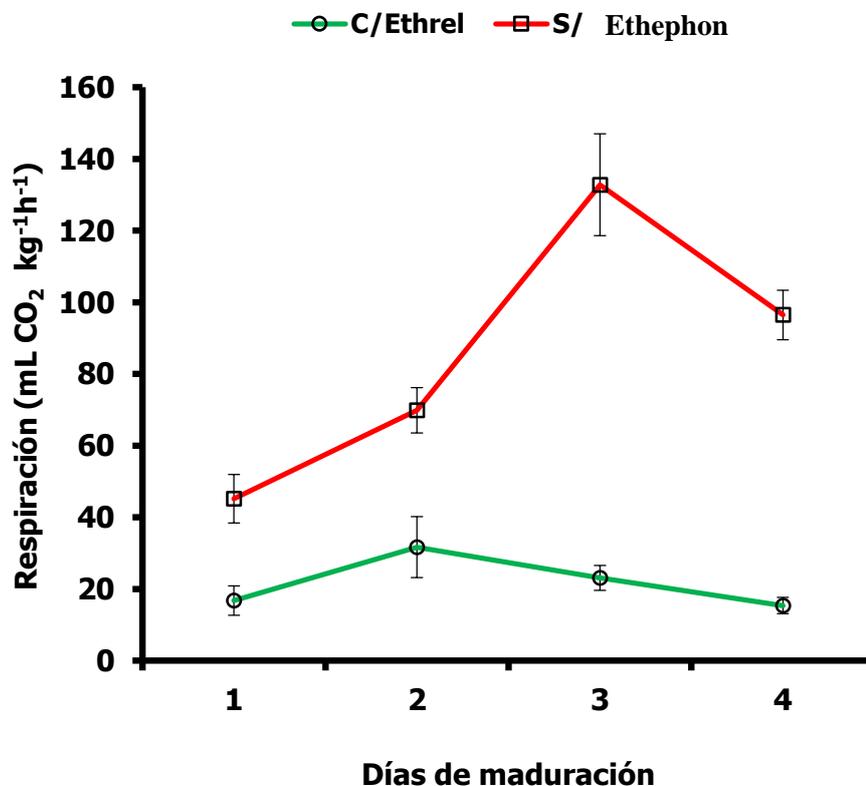


Figura 25. Velocidad de respiración con almacenamiento a 11° C/2 Semana

Durante la maduración a 22.2° C, las pérdidas de peso se incrementaron en los dos tratamientos, alcanzando a los seis días de almacenamiento un total de 10.6 ± 1.0 y 10.2 ± 0.5 % para Ethephon y Control, respectivamente (Figura 26), no observándose diferencias significativas entre los dos tratamientos; sin embargo, los frutos tratados con Ethephon tendieron a presentar mayores pérdidas de peso, principalmente durante el proceso de maduración, es decir durante los primeros cuatro días de almacenamiento donde estas variaron entre 0-7.3 %, respecto al control (0-6.3 %). Se ha reportado (Dhall and Pricedeeep, 2013) que, como respuesta al tratamiento con Ethephon la velocidad de respiración se incrementa conforme se eleva la dosis de esta fitohormona, lo cual a su vez se traduce en mayores pérdidas de peso; al respecto se ha reportado (Sala, 2000) que, durante la maduración y senescencia el contenido de ceras epicuticulares del epicarpio de los frutos experimentan cambios en su composición y cantidad, lo que favorece el transporte de agua y gases hacia el exterior; esta respuesta explica la tendencia de los frutos tratados con Ethephon a favorecer mayores pérdidas de peso, esto asociado a su más elevada velocidad de respiración.

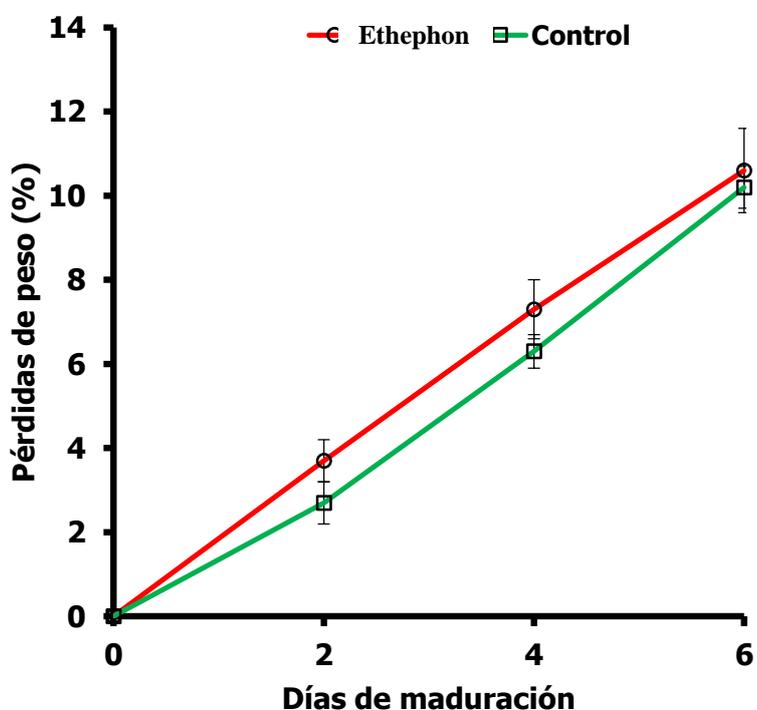


Figura 26. Pérdidas de peso

Como parte de los cambios asociados al proceso de maduración, la firmeza de la pulpa disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Yashoda *et al.*, 2006); sin embargo, el proceso fue más acelerado en los frutos del tratamiento con Ethephon, los cuales en los frutos almacenados directamente a la temperatura de maduración presentaron a la madurez de consumo (4 días) una firmeza de 18.6 N, significativamente menor al tratamiento sin Ethephon(control) el cual se ubicó en 30.6 N (Cuadro 5); misma tendencia se observó en los frutos expuestos a 11° C por una semana en donde los frutos del control y tratados con Ethrel, a la salida de refrigeración presentaron una firmeza de 43.0 y 29.3 N, respectivamente, en tanto que en los refrigerados por dos semanas la firmeza se ubicó en 40.2 y 16.8 N, respectivamente (Cuadro 5). Nassur *et al.*,(2015) mencionan que para mango 'Tommy Atkins' una firmeza entre 5.88 a 13.75 N, se considera como aceptable con fines de consumo, los valores obtenidos se ubican en este rango. La respuesta al tratamiento con Ethephon, se basa en su acción como liberador de etileno por rompimiento de la molécula del ácido 2-cloroetilfosfónico (Bondad., 1976), con lo cual se adelanta el fenómeno de autocatálisis y la activación de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular y las pérdida de la firmeza (Ali *et al.*, 2004).

Con respecto al valor inicial (10.6%), el contenido de sólidos solubles totales aumentó conforme evolucionó el proceso de maduración, con diferencias significativas principalmente al alcanzar la madurez de consumo (4 días) e inicio de la senescencia (6 días); en general no se observaron diferencias significativas entre el tratamiento con Ethephon y el control, no obstante, los frutos con Ethephon tendieron a presentar en promedio un mayor contenido de SST , es decir, 18.4, 17.7 y 16.9 % para los frutos sin refrigeración, refrigeración una semana y refrigeración dos semanas, respectivamente, correspondiendo al control valores de 16.2, 16.8 y 16.1 % (Cuadro 5), en el mismo orden. Se ha reportado (Sergent *et al.*,1993; Dhall y Pricedeeep, 2013) que los tratamientos exógenos con Ethephon al adelantar el proceso de maduración, estimula la degradación de sustancias de reserva (almidón en mango) con el consecuente incremento de azúcares (sacarosa), además de

componentes de la pared celular cuya hidrólisis aporta otros azúcares (C5 y C6), todo lo cual explica el mayor contenido de SST de los frutos tratados con Ethephon.

Con relación al valor inicial (3.2 %), el contenido de ácido cítrico disminuyó, significativamente, a partir del cuarto día de almacenamiento directamente a $22\pm 2^{\circ}$ C en los frutos tratados con Ethephon y al sexto día en el control. Diferencias significativas se observaron en los frutos tratados con Ethephon y expuestos bajo refrigeración por una semana, a la salida del almacenamiento a $11\pm 1^{\circ}$ C en tanto que en el control ocurrió a partir del segundo día de exposición a la temperatura de maduración; similar comportamiento se observó en los frutos refrigerados por dos semanas. Es de señalar que en general los frutos tratados con Ethephon mostraron los menores contenidos de ácido cítrico (Cuadro 5). Estos resultados permiten asumir que el tratamiento con Ethephon adelanta y disminuye la concentración de ácido cítrico en los frutos de mango cv. Manila, lo que se traduce en un efecto de aceleración del proceso de maduración. Valores de 0.3 % de ácido cítrico han sido reportados por León *et al.*, (1997) en frutos de mango 'Manila' en estado de madurez de consumo, lo que resulta menor al contenido obtenido en los frutos de este experimento, lo que sugiere que los frutos de cosecha temprana tiende a ser más ácidos.

En cuanto al ácido ascórbico, su concentración disminuyó en todos los tratamientos; sin embargo, el tratamiento con Ethephon aceleró la pérdida de esta vitamina alcanzando en los frutos almacenados directamente a la temperatura de maduración en promedio de 34.5 % contra 26.2 % del control. Similar tendencia se presentó en los frutos con Ethephon refrigerados por una y dos semanas, los cuales alcanzaron 38.9 y 37.2 %, respectivamente, así como 27.1 y 21.8 % para el control, en el mismo orden. Pérdidas hasta del 58.6 % para mango 'Ashwina' (Anowar Hossain *et al.*, 2014), 48.8 % para mango cv. Kent (García-Martínez *et al.*, 2015) y 18.9 % para 'Haden' (Lakshminarayana, 1975), lo que evidencia el efecto del cultivar en el metabolismo postcosecha de esta vitamina.

Por otra parte, el contenido de carotenoides en pulpa se incrementó conforme avanzó el proceso de maduración en los tres tratamientos, lo que de acuerdo con Gross, (1987) se presenta en frutos con alto contenido de estos pigmentos.

El tratamiento con Ethephon favoreció una mayor biosíntesis de carotenoides al alcanzar en promedio una concentración de 1773.3, 1760 y 1900 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ para los frutos almacenados a $22\pm 2^\circ \text{C}$, $11\pm 1^\circ \text{C} + 22.2^\circ \text{C}$ por una semana y $11\pm 1^\circ \text{C} + 22.2^\circ \text{C}$ por dos semanas, respectivamente, alcanzando para el caso del control 1227, 1030 y 1470 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, en el mismo orden. Se ha reportado (Pott *et al.*, 2003) que el contenido de carotenos totales en mango 'Kent' varía de 900 a 12500 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, por su parte Ornelas *et al.*, (2008) reporta contenidos menores 1000 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ en mango 'Manila'; esta variación en el contenido de carotenoides explica el efecto de diversos factores que inciden en el metabolismo de estos isoprenoides, entre estos la especie, cultivar y tecnología de producción aplicada (Gross, 1987). Los resultados obtenidos permiten asumir que el etileno liberado por el ethephon estimula la actividad de enzimas clave de la biosíntesis de carotenoides, en este sentido, se ha reportado (Botella *et al.*, 2004) que la DXS (1-deoxi-D-xilulosa-5 fosfato sintasa) (E.C.2.2.1.7.) aumenta su actividad de manera paralela al aumento de carotenoides.

Cuadro 5. Efecto de tratamiento de Ethephon y refrigeración a 11°C durante 1 y 2 semanas

Tratamientos	Firmeza (N)	SST (%)	Acidez Tit. (% Ác. Cit.)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)	Carot. Tot. (µg 100g ⁻¹)	Color Epicarpio		
						L	C	°h
Inicial	51.6a	10.6d	3.2a	63.8a	510d	47.8c	25.8c	125.2a
22±2° C <u>Sin Ethrel</u>								
2 días	43.0b	14.8c	2.4ab	54.5ab	690cd	49.4bc	27.1ab	120.5ab
4 días	30.6c	15.5bc	2.2ab	50.5ab	1290bc	50.8bc	26.5ab	117.4b
6 días	12.5cd	18.2b	1.8bc	36.4	1700b	52.4bc	28.9ab	111.3bc
<u>Con Ethrel</u>								
2 días	33.4bc	14.1cd	2.7ab	48.4b	1150bc	48.1bc	26.0b	119.6ab
4 días	18.6d	19.6ab	1.9bc	41.0bc	1840ab	53.7ab	28.9ab	109.3bc
6 días	11.4e	21.6a	1.1c	36.0bc	2330a	59.0a	30.0a	97.1d
11° C/1Sem. + 22±2° C <u>Sin Ethrel</u>								
Salida	44.0b	14.4cd	2.4ab	52.7ab	600cd	53.9ab	27.6ab	110.7bc
2 días	16.0de	17.5bc	1.7bc	50.2ab	1090c	54.9ab	28.1ab	105.7c
4 días	14.8de	18.4b	1.3bc	36.0bc	1400bc	55.0ab	28.9ab	105.7c
<u>Con Ethrel</u>								
Salida	29.3c	14.2cd	1.9bc	47.2bc	760cd	48.1bc	25.8c	111.8bc
2 días	16.0de	19.3ab	1.5bc	37.2bc	2200ab	54.0ab	28.5ab	105.7c
4 días	13.1de	19.6ab	1.0c	32.6c	2320a	59.1a	30.0a	104.4cd
11° C/2Sem. + 22±2° C <u>Sin Ethrel</u>								
Salida	40.2b	14.9c	2.1b	51.4ab	1260bc	54.9ab	25.7c	112.5bc
2 días	13.9de	17.3bc	1.9bc	48.4b	1680b	55.0ab	27.7ab	105.9c
<u>Con Ethrel</u>								
Salida	16.8de	16.0bc	2.0b	42.2bc	1400bc	52.0bc	27.7ab	111.8bc
2 días	11.7e	17.8bc	1.1c	37.9bc	2400ab	53.0b	27.8ab	105.9c
SIN Ethrel	92.97a	17.25a	5.60a	79.77a	0.34b	52.60a	27.61a	113.88a
CON Ethrel	14.30b	16.11b	1.77b	41.88b	0.77a	53.35a	27.73a	111.81a

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una $p \leq 0.05$.

Firmeza (Newton), Acidez titulable (AT), % Ac.citríco, Sólidos solubles totales (SST), °Brix, Vitamina C (VC), mg Ac. Ascórbico.

Cuadro 6. Análisis de varianza del experimento III, utilizando el modelo estadístico II.

Variable Dependiente	Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Firmeza	comb	8	16433.31	2054.16	4.35	0.001
	trat	1	83542.43	83542.43	177.04	<.0001
	comb*trat	8	8905.41	1113.18	2.36	0.0374
°Bx	comb	8	711.37	88.92	27.19	<.0001
	trat	1	17.44	17.44	5.33	0.0268
	comb*trat	8	195.04	24.38	7.45	<.0001
Acidez	comb	8	475.84	59.48	225.95	<.0001
	trat	1	197.99	197.99	752.14	<.0001
	comb*trat	8	478.69	59.84	227.31	<.0001
Vitamina C	comb	8	1086.50	135.81	0.82	0.5915
	trat	1	19382.44	19382.44	116.8	<.0001
	comb*trat	8	2038.85	254.86	1.54	0.1795
Carotenoides	comb	8	7.26	0.91	5.97	<.0001
	trat	1	2.52	2.52	16.6	0.0002
	comb*trat	8	9.09	1.14	7.48	<.0001

El color del epicarpio mostró cambios en función del tiempo de almacenamiento (Cuadro 5). Con relación al valor inicial (126.5°), el ángulo de tono disminuyó en los frutos del control y los tratados con Ethephon; sin embargo, entre tratamientos el menor ángulo de tono con significancia estadística se observó en los frutos tratados con Ethephon (97.1°) a los seis días de almacenamiento a 22±2° C. Es de señalar que los frutos tratados con Ethephon presentaron una disminución más acelerada de este parámetro de color, en comparación con el control; además no se observaron diferencias entre el control y el tratamiento de Ethephon en los frutos almacenados bajo refrigeración (Cuadro 5). Valores de ángulo de tono (°h) entre 92.8 y 89.9 en el epicarpio de mangos con firmeza media y suave, respectivamente, han sido reportados por Resende *et al.*, (2015), manifestando además la disminución del valor °h conforme avanza la maduración, lo que lo que permite asumir una evolución normal de la maduración de los frutos de mango cv. Manila del presente experimento. Por su parte la luminosidad se incrementó de manera significativa, con relación al valor inicial (47.8), en los frutos tratados con

Ethephon a partir de los cuatro y seis días de almacenamiento a $22\pm 2^\circ\text{C}$ (Cuadro 5), lo que resultó indicativo del cambio de color del epicarpio; similar respuesta se observó en los frutos almacenados bajo refrigeración. En cuanto al Croma se incrementó durante el proceso de maduración, no presentándose diferencias significativas entre los dos tratamientos, tanto en los frutos expuestos directamente a $22\pm 2^\circ\text{C}$, como los almacenados bajo refrigeración y posteriormente transferidos a dicha temperatura. Aumentos de 36.6 a 41.3 en el Croma, han sido reportados por Resende *et al.*, (2015) durante la maduración de mangos; en el presente experimento solo los frutos tratados con Ethephon presentaron valores más altos ($C=30$) al alcanzar madurez de consumo (Cuadro 5). Estos resultados manifiestan un mayor avance de los cambios en color en los frutos de mango 'Manila' tratados con Ethephon.

CONCLUSIONES.

Los frutos de mango cv. Manila de cosecha temprana provenientes de un sistema de producción forzada a base de KNO_3 , presentan en postcosecha a $22\pm 2^\circ\text{C}$ el típico patrón climatérico con una alta velocidad de respiración que, se manifiesta en una vida de anaquel menor a seis días. Los frutos sin ningún tratamiento almacenados a $11\pm 1^\circ\text{C}$ por una semana presentan una menor velocidad de respiración al transferir a la temperatura de $22\pm 2^\circ\text{C}$; los frutos refrigerados por dos semanas y transferidos a la temperatura de maduración, presentan un incremento anormal de la respiración asociado a daños por frío. El tratamiento con 1-MCP o con Ethephon mitiga esta última respuesta, lo que favorece un metabolismo normal de los frutos. El tratamiento con 1-MCP reduce la velocidad de respiración y por tanto la actividad metabólica relacionada con la maduración; por su parte Ethephon acelera la respiración de los frutos. Este comportamiento fisiológico se muestra tanto en frutos almacenados directamente a $22\pm 2^\circ\text{C}$ como en los refrigerados por una y dos semanas. En los frutos de las tres épocas de cosecha almacenados únicamente a $22\pm 2^\circ\text{C}$, las pérdidas de peso resultan superiores a 10 %, principalmente tras seis días de almacenamiento. Lo que se manifiesta en síntomas iniciales de daños por marchitamiento. El tratamiento con 1-MCP 600 nL L⁻¹ en frutos almacenados directamente a $22\pm 2^\circ\text{C}$, se traduce en retardo de las pérdidas de firmeza y, del contenido de ácido ascórbico y cítrico, pero los frutos son más sensibles a pérdidas de peso, acumulan menor cantidad de sólidos solubles y de carotenoides. Considerando la firmeza de la pulpa, los frutos presentan calidad comestible a partir de los seis días después del tratamiento, no obstante, su color de cubrimiento es moderadamente amarillo lo que afecta su apariencia. El principal efecto del tratamiento con 1-MCP es el control de daños por frío; sin embargo, los frutos presentan coloración externa más pobre y menor contenido de carotenoides lo que afecta además de su valor nutricional, el color de la pulpa, principalmente tras dos semanas a $11\pm 1^\circ\text{C}$.

El tratamiento Ethephon 1000 ppm y almacenamiento a $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, favorece la maduración de frutos de mango 'Manila' con color amarillo de cubrimiento más intenso y mayor contenido de carotenoides y sólidos solubles totales en pulpa, pero induce mayores pérdidas de firmeza así como de ácido ascórbico y cítrico. Con base en firmeza de la pulpa los frutos presentan calidad aceptable a partir de los 4 días de aplicación del tratamiento. El tratamiento con Ethephon permite el control de daños por frío y la exposición a $11\pm 1^{\circ}\text{C}$ por una y dos semanas es similar al de los frutos sin refrigeración; sin embargo, la vida de anaquel es más corta. En la temperatura de 11°C , los frutos maduraron rápidamente, en menos de siete días ya tenían madurez de consumo, presentando características físico químicas. El tratamiento con 1-MCP traduce en un retardo de las pérdidas de firmeza, y del contenido de ácido ascórbico y cítrico, pero los frutos son más sensibles a las pérdidas de peso y acumulan menor cantidad de sólidos solubles y carotenoides. Considerando la firmeza de la pulpa, los frutos presentan calidad comestible a partir de los seis días después del tratamiento, no obstante, su color de cubrimiento es moderadamente amarillo y la relación SST/AT más baja. Los frutos del testigo presentan un comportamiento similar a los tratados con 1-MCP, pero presentan menor sensibilidad a pérdidas de peso y moderada relación SST/AT tras el mismo periodo.

BIBLIOGRAFÍA.

- AOAC, Association of Official Analytical Chemist (1998) Official Methods of Analysis. 16 th ed. Washington, D.C., USA.
- Arias, R.; Lee, T. C.; Logendra, L.; Janes, H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 48(5), 1697-1702.
- Ali, Z.M., Chin, L and Lazan, H. A. 2004 Comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*. 167(2):317–327
- Anowar, H., Masud, R., Yoshinobu, K and Hairul, A. R.2014. “Changes in Biochemical Characteristics and Activities of Ripening Associated Enzymes in Mango Fruit during the Storage at Different Temperatures,” *BioMed Research International*, vol. 2014, Article ID 232969, 11 pages, 2014
- Ashraf, M., Khan, N., Ahmed, M. and Elahi, M. (1981) Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some Pakistani mango varieties during storage and ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 29, 526–528.
- Ballinas, D. E. J., Vela, G. G., López, Z. E. J., Aguilar, N. O. A., Caballero, R. A., Meza, G. L. E., Pérez, J. A., Flores, G.L.E y Leon, G. J. M. 2013. Mango cultivo, tratamiento pre y postcosecha propiedades nutrimentales y funcionales. UNICACH. 73p
- Barbosa, M, C., Ponce de León, G, L., Zaldívar, P, C. 2009a. Morpho-histology of ‘Manila’ and ‘Haden’ fruit development. A conmparative study with postharvest implications. *Acta Horticulturae*. 820: 281-288

- Barbosa, M. C., Ríos, C., Flores, D., P, F, L., Fernández, F. J., Ponce de León, G. 2009b. Comparison of seed germination in *Mangifera indica* L. 'Haden' and 'Manila' varieties. *Acta Horticulturae*. 820: 297-302
- Bhoomika, P., Tandel, A. H., Patel, A and Patel, B. 2016. Chilling injury in tropical and subtropical fruits: a cold storage problem and its remedies: a review. *International Journal of Science, Environment and Technology* 5: 1882-1887
- Biale, J. B., and Young, R. E. 1981. Respiration and ripening in fruits: Retrospect and prospect. In: *Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Friend, J. and Rhodes M. J.C., Eds., Academic Press, London, 1-40
- Blankenship, S. M and Dole, J. M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 1-25
- Bregoli, A.M.; Ziosi, V.; Biondi, S.; Rasori, A.; Ciccioni, M.; Costa, G.; y Torrigiani, P. 2005. Postharvest 1-methylcyclopropene application in ripening control of 'Stark Red Gold' nectarines: Temperature-dependent effects on ethylene production and biosynthetic gene expression, fruit quality, and polyamine levels. *Postharvest Biology and Technology* 37: 111-121
- Bondad, N. D. 1976. Response of some tropical and subtropical fruits to pre-and post-harvest applications of ethephon. *Economic Botany*. 30:67-80
- Botella, P. P., Besumbes, O., Phillips, M. A., Carretero-Paulet, L., Boronat, A. and Rodriguez-Concepcion, M. 2004. Regulation of carotenoid biosynthesis in plants: Evidence for a key role of hydroxymethylbutenyl diphosphate reductase in controlling the supply of plastidial isoprenoid precursors. *Plant J.*, 40: 188-199

- Chris B. Watkins, B. C. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances* 24:389–409
- Coccozza, F. M., Jorge, J.T., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C., Pereira, M.E.C. 2004. Respiration rate and chemical characteristics of cold stored 'Tommy Atkins' mangoes influenced by 1-MCP and modified atmosphere packaging. *Acta Horticulturae*, Brugg 645:645-650
- Colón, C. T. 2000. Efecto de paclobutrazol sobre el desarrollo, nutrición y producción de mango (*Mangifera indica* L.) cv Manila. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Departamento de Fruticultura. Campus Montecillo.
- CONASPROMANGO , 2012. Plan rector nacional del sistema producto mango 2012 CONASPROMANGO, A.C. Disponible en: http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNSP_MANGO/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_NH4NO3_MANGO_2012.pdf. Consultado el 14 de noviembre de 2016
- Dhall, R.R and Singh, P. 2013. Effect of Ethephon and Ethylene Gas on Ripening and Quality of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) during Cold Storage. *Nutr Food Sci* 3:244
- Espinosa, A. J., Arias, S. J. F., Miranda, S. M. A., Rico, P. H. R., Javier, M. J., López-Acosta, A., Vargas, E., y Teniente, O. R. 1995. Guía práctica para la producción de mango en Michoacán. Centro de investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Valle de Apatzingán. Michoacán, México. Guía Técnica núm. 1.
- Fan, X. T., Blankenship, S. M., Mattheis, J. P. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124:690–695

- Fan, X., Mattheis, J. P. 2000. Reduction of ethylene-induced physiological disorders of carrots and iceberg lettuce by 1-methylcyclopropene. *HortScience* 35:1312–1314
- FAOSTAT. 2016. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Consultado en Octubre 2016.
- Galán, S. V. 1999. El cultivo del mango. Gobierno de Canarias. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ediciones *Horticulturae*. 820:567-574
- García, M; García, H; Bello, L; Sáyago, S.; y Doca, M. 2013. Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods Human Nutr.* 68(3):254 – 8
- Hailu, Z. 2016. Effects of Controlled Atmosphere Storage and Temperature on Quality Attributes of Mango. *J Chem Eng Process Technol* 7:317
- Han J and Tian S P. 2006. Effects of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and physiology and biochemistry in postharvest cucumber. *Acta Horticulturae Sinica* 33: 289–293
- Hossain, A., Rana, M., Kimura, Y and Roslan, H. A. 2014. Changes in Biochemical characteristics and activities of ripening associated enzymes in mango fruit during the storage at different temperatures. *BioMed Research International*. 11p
- Hsieh, M.H and Goodman, H. M2005. The Arabidopsis IspH homolog is involved in the plastid nonmevalonate pathway of isoprenoid biosynthesis. *Plant Physiol* 138:641–653

- Jiang, W., Sheng, Q., Jiang, Y. And Zhou, X. 2003. Effect of 1-methylcyclopropene and gibberellic acid on ripening of Chinese jujube (*Zizyphus jujube* M) in relation to quality. *J. Sci. Agric.* 84, 31–35
- Kader., A. A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops, third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311. 535p.
- Ku, V. V. V., Wills, R. B. H. 1999. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biol. Tech.* 17:127–132
- Lakshminarayana, S. 1980. Mango. *In: Nagy, S. and Shaw, P.E., Eds., Tropical and Subtropical Fruits; Composition, properties and Uses*, AVI, Westport, 15-22.
- Lakshminarayana, S., Krishnaprasad, C. A. and Subbiah, S, M., 1977. Hot water treatment to regulate ripening and reduce spoilage of Alphonso mangoes. *J. Hortic. Sci.*, 49: 365--371.
- Lance, C. and Moreau, F. 1992. Les effets metaboliques du froid. *En : Les végétaux et le froid*. Ed. D Côme. Edit. Hermann. 2, 27-50.
- Lee, S, K., Kader, A, A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamina C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Techonology* 20:207-220.
- León, D. M.; De la Cruz, M. J.; Gómez, L. M. A and García, H. S. 2002. Ethylene production in preheated Manila mangoes (*Mangifera indica*) before refrigerated storage. IFFT Annual Metting. Anaheim, CA, USA. Session 59.
- León, M. D.; De la Cruz, J.; Parkin, L. and García, H, S. 1997. Effect of controlled atmospheres containing low O₂ and high CO₂ on chilling

susceptibility of Manila mangoes. 5th International Mango Symposium. Acta Horticulturae. 455(2): 634-642.

- Lira, V. A. A.; Camacho, R. N. A.; Wachter, R. C y Trejo, M. A. 2008. Estudio comparativo de enzimas que degradan la pared celular en diferentes variedades de mango durante su maduración. X Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Gómez Palacio, Durango. México. 2008.
- Litz, R.E. 1997. The mango botany, production and uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Lizada, C. 1993. Mango. In: Seymour, G.B., Taylor, J.E. and Tucker, G.A. (eds) Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman and Hill, London, pp. 255–271.
- López, G. E. 2012. Tolerancia de cultivares de mango (*Mangifera indica* L) a la proliferación vegetativa y floral (*Fusarium* spp) en México. Tesis Maestría, Fitopatología. C.P. México
- Manganaris, G.A., Crisosto, C.H., Bremer, V y Holcroft, D. 2008. Novel 1-methylcyclopropene immersion formulation extends shelf life of advanced maturity 'Joanna Red' plums (*Prunus salicina* Lindell). Postharvest Biology and Technology 47: 429-433
- Marcelline, P. 1992. Les maladies physiologiques du froid. En: Les végétaux et le froid. Ed. D Côme. Edit. Hermann. Paris. 53-105.
- Mata, B. I y Mosqueda V. 1998. La producción del mango en México. Editorial Limusa. México. 159p.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. Hortscience 27(12):1254-1255.

- Medlicott, A. P., Sigrist, J. M y Sy., O. 1990. Ripening of mangoes following low temperature storage. *J Am Soc Hort Sci* 115: 430–434
- Mercadante, A.Z., Rodríguez Amaya, D.B., Effects of ripening, cultivar differences and processing on the carotenoid composition of mango, *J. Agric. Food Chem.* 46 (1998) 128–130.
- Mir, N., Canoles, M., Beaudry, R., Baldwin, E., Pal Mehla, C. 2004. Inhibiting tomato ripening with 1-methylcyclopropene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:112–120.
- Mitra, S. K., and Baldwin A. E. 1997. Mango. In: *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. S K Mitra (ed).CAB International. 85-122.
- Montalvo, G.E., García, H. S., Tovar, B. and Mata, M. 2007. Application of exogenous ethylene on postharvest ripening of refrigerated 'Ataulfo' mangoes. *Food Science and Technology* 40:1466-1472
- Montero, M. J., Porras, G. J y Murillo. E. R. 2002. Guía para el cultivo del mango. INTA. San José Costa Rica. 74p
- Mora, A. G., Cantú, N. D. H., Barraza, P. H. H. 2017. El mango su cultivo. Fitosanidad y comercialización. INIFAP, Colegio de Postgraduados. 140p.
- Morton, J. S. 1987. *Fruits of warm climates*. Univ. Of Miami, Florida. Edit. Media Incorporate. U.S.A 221-239 pp.
- Mosqueda, V. R. y De los Santos, R. 1983. Aspersiones de nitrato de potasio para adelantar e inducir la floración del mango cv. Manila en México. *Proc. Trop. Región-Amer. Soc. Hort. Sci.*, 25: 311-316.

- Muy, R. D., B. E. Valenzuela and J. Siller (2009) Efecto del 1-metilciclopropeno y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad poscosecha del mango 'Ataulfo'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:53-60
- Nassur, R.C., Gonzalez, M. S., Crisosto, G., Lima, L., Vilas, B. E and Crisosto, C. 2015. Describing Quality and Sensory Attributes of 3 Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars at 3 Ripeness Stages Based on Firmness. *J Food Sci* 80: S2055-2063
- Ornelas-Paz, J. de J., Yahia, E.M. and Gardea, A.A. (2008) Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography–APCI+–time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology* 50, 145–152
- Ortega, Z. D. A.; C, M. L.; Muñozcano, R. M y Colinas, L. M. T. 2008. Respuesta del fruto de mango Manila (*Mangifera indica* L.) a la aplicación de carburo de Calcio (CaC₂) en el estado de Veracruz. *Memorias de la 3ra Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatan Mexico.* 335pp.
- Ortiz, F. L. Z., Ramírez, V. A. Z., Cervantes, M. L. J., Muy, R. M.D., Gómez, L. M. A., García, G. S. H., Sáyago, A. S. G., Montalvo, G. E. 2016. Efecto del 1-metilciclopropeno en la maduración de mango ataulfo en condición simulada para exportación a Europa. *Rev. fitotec. mex* 39 (3):305-316
- Osuna, E, T., Becerril, R, A. E., Mosqueda, V. R., V, R, M. y Castillo, M, A. 2001. Promotores de floración y concentración de almidón y aminoácidos en yemas de mango. *Chapingo serie Horticultura.* 7(2): 209-223.

- Osuna, G. J. A.; Cáceres, M. I.; Montalvo, G. E.; Mata, M. M y Tovar, G. B. 2007. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y tratamiento hidrotérmico sobre la fisiología y calidad del mango 'Keitt'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 157-163.
- Padda, M, S., Amarante, C, V, T., Garcia, R, M., Slaughter, D, C and Mitcham, E, J. 2011. Methods to analyze physico-chemical changes during mango multivariate approach. *Postharvest Biology and Technology*. 62(3):267-274
- Patil, S. A., 1990, Evaluation of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso, Ratna and Kesar fruits for physico-chemical composition and processing. M.Sc.(Agri) Thesis, Konkan Krishi Vidyapeeth, Dapoli, Ratnagiri, Maharashtra, India.
- Penchaiya, R., Jansasithorn, S., Kanlavanarat. 2006. Effect of 1-MCP on physiological changes in mango 'Nam Dokmai'. *Acta Horticulturae* 712: 717-722
- Plotto, A., Jinhe, B. and Baldwie, E. A., 2003, Effect of pretreatment of Intact 'Kent' and 'Tommy Atkins' mangoes with ethanol vapor, heat or 1-Methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh cut slices. *Pro. Fla. State Hort. Soc.*, 116: 394-400.
- Gross, J. 1987. *Pigments in fruits*. Academic Press, London. Hung YC, Morita K, Shewfelt R, Resurreccion A, Prussia S. Color evaluation of apples. *Transactions of the ASAE*. 93(6541): 15.
- Phakawatmongkol, W., Ketsa, S and Doorn, W.G.V. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 32: 115-118

- Rahman, M. 2007. Food preservation: Overview. En: M. Rahman (Ed). Handbook of Food Preservation. Segunda edición. CRC Press. Boca Raton, Florida. 3-18pp.
- Redgwell RJ, MacRae E, Hallett I, Fischer M, Perry J, Harker R (1997) In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. *Planta* 203: 162–173
- Resende, N. M. C. R., Gonzales, M. S., Crisosto, M. G., Olivera, L.L.C., Barros, V. V. E and Crisosto, H. C. 2015. Describing Quality and Sensory Attributes of 3 Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivars at 3 Ripeness Stages Based on Firmness.
- SAGARPA, 2016. Comunicado de prensa NUM 289/14.
- SAGARPA-SIAP, 2016. Márgenes de comercialización. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/quienesomos/datosabiertos/siap/Paginas/default.aspx>. Consultado el 29 de septiembre de 2016.
- Saltveit M E (1999) Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharv. Biol. Technol.* 15:279-292
- Saucedo, V. C and Lakshminarayana, S. 1977. Effect of refrigerated temperatures on the incidence of chilling injury and ripening quality of mango fruit. *Proc. Flor. Sate Hort. Soc.* 90:205-210
- Selvarajah, S., Bauchot, A. D and John, P. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1 methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 23:167-170
- Serek, M., Sisler, E. C., and Reid, M. S. 1995. Effects of 1-MCP on the base life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regulation* 16, 93-97

- Sergent, E., Casanova, E y Leal, F. 1993. Influencia de algunos Factores climáticos y nutricionales sobre el rendimiento del mango (*Mangifera indica L*). Rev. Fac. Agron. 10:287-296
- Sergent, E. 1999. El cultivo del mango (*Mangifera indica L*): botánica, manejo y comercialización. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico Caracas. 72p
- Siddiqui, W and Dhua R. S. 2010. Eating artificially ripened fruits is harmful. Current Science 99(12):1664-1668
- Silva, A.C. D., Souza, A. P., Leonel, S., Souza, M.E. D., Ramos, D. P., Tanaka, A. A. 2014. Growth and flowering of five mango cultivar under subtropics conditions of Brazil. American Journal of Plant Sciences, Irvine, 5(3):393-402
- Singh, L. B. 1977. Mango. In: Ecophysiology of Tropical Crops. Alvim, P. de T., and T. T. Kozlowski (eds.). Academic Press. New York. pp: 479-485
- Singh, R. K. 2011. Identification and Characterization of genes involved in aroma volatile and value addition during mango fruit ripening (*Mangifera indica* Var. Dashehari), Bhopal, India: Department of Biotechnology, Barkatullah University. PhD. Thesis
- Singh, V. K. and Pathak, N. 2008. Response of 1-Methylcyclopropene on activities of pectin hydrolases and associated post-harvest physiological changes in different mango cultivars. Indian J. Hort. 65(1): 20-24
- Sisler, E. C and Serek, M. 1999. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. Physiol. Plant. 100(3):577-582

- Sisler, E. C and Serek, M. 2003. Compounds Interacting with the Ethylene Receptor in Plants. *Plan bio.* 5, 473-480
- Sisler, E.C., Serek, M., Dupille, E. 1996. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3- dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. *Plant Growth Reg.* 18:169–174
- Tharanathan, R. N., Yashoda, M. H., Prabha, N. T. 2006. Mango (*Mangifera indica* L) The King of fruits an overview. *Food Rev. Int.* (22):95-123
- Thayer, D. W and Rajkowski, K. T. 1999. Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Technology* 53(11): 62-65
- Wang, B., Wang, J., Feng, X and Jiang W. 2008. Effect of 1-MCP and exogenous ethylene on fruit ripening and antioxidants in stored mango. *Plant Growth Regulation* 57(2):185-192
- Wang, C.Y. 2010. Postharvest techniques for reducing low-temperature injury in chilling-sensitive commodities. In: Artés F, Gil MI, Conesa MA, editors. *Improving postharvest technologies of fruits, vegetables, and ornamentals.* Murcia, Spain: Int Inst Refrig. pp 467-472
- Wang, S., Tang, J and Cavalieri, R. P. 2001. Modeling fruit internal heating rates for hot air and hot water treatments. *Postharv. Biol. Technol.* 22:257-270.
- Watkins, C.B., Nock, J.F. 2005. Effects of delays between harvest and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment, and temperature of treatment, on ripening of air- and controlled atmosphere-stored apples. *HortScience* 40:2096–2101

- Wills, R. B., T. H. L y D. Graham. 1998. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. CAB Publishing, Wallingford (UK)
- Yahia, E.M., J. O. Paz, and R.A. Flores. 2006. El Mango. México: Trillas, 224p.
- Yashoda, H., Tyakal, P.N., Rudrapatnam, T.N. 2006. Mango ripening: Changes in cell wall constituents in relation to textural softening. Journal of the Science of Food and Agriculture. 86:713:721
- Zaharah, S. S and Zora, S. 2011. Post-harvest fumigation with nitric oxide at the pre-climacteric and climacteric-rise stages influences ripening and quality in mango fruit. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 86 (6) 645–653
- Zoffoli, J. P. 2002. Orientaciones para un manejo eficiente del generador de anhídrido sulfuroso en el embalaje de uva de mesa. ACONEX 75, 20-25