



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Aplicación secuencial de dos tratamientos
hidrotérmicos en frutos de mango. Efecto sobre la
calidad y la inducción de tolerancia al daño por frío**

TESIS

Que presenta

IBQ. MARIA FERNANDA RAMIREZ PERALES

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Y

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Director de Tesis

Dr. Misael Odín Vega García

CULIACÁN, SINALOA. MÉXICO. ENERO DE 2017

La presente investigación titulada “Aplicación secuencial de dos tratamientos hidrotérmicos en frutos de mango. Efecto sobre la calidad y la inducción de tolerancia al daño por frío” se realizó en el laboratorio de Fisiología y Tecnología de Alimentos Poscosecha del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo la dirección del Dr. Misael Odín Vega García y conto con la asesoría del Dr. Armando Carrillo y la MC. Martha Edith López.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán el día 24 del mes de enero del año 2017, el (la) que suscribe **María Fernanda Ramírez Perales** alumno (a) del Programa de **Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos** con número de cuenta **0720627-5**, de la Unidad Académica de la **Facultad de Ciencias Químico Biológicas**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Misael Odín Vega García** y cede los derechos del trabajo titulado **“APLICACIÓN SECUENCIAL DE DOS TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN FRUTOS DE MANGO. EFECTO SOBRE LA CALIDAD Y LA INDUCCIÓN DE TOLERANCIA AL DAÑO POR FRÍO”**, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

María Fernanda R.P.

MARÍA FERNANDA RAMÍREZ PERALES

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, especialmente a la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por darme la oportunidad de integrar parte de su programa, permitiéndome así el poder realizar una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado.

A toda la planta docente de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por el compartir sus conocimientos y experiencias, permitiéndome reafirmar y adquirir nuevos conocimientos profesionales, así mismo por sus consejos y amistad durante estos años desde la licenciatura hasta la Maestría.

A mi director de tesis Dr. Misael Odín Vega García por aceptarme en su equipo de trabajo, por su amistad, enseñanza y consejos, por su apoyo incondicional, por darme la confianza de trabajar con usted, muchas gracias por todo.

Al laboratorio de fisiología y tecnología poscosecha por abrimme las puertas. A mi asesora y sobre todo amiga MC. Martha Edith López López por toda su ayuda, amistad, conocimientos, regaños y sobre todo apoyo, por el arduo trabajo, bromas, y enojos, gracias en verdad muchas gracias ya que aunque al principio tuvieran miedo por no conocerme, siempre me hizo sentir bienvenida en el laboratorio.

A mis compañeros de laboratorio que de alguna u otra manera este trabajo también fue suyo ya que en ningún laboratorio se trabaja de esa manera y todos aportaron un granito de arena para su realización, la verdad fue un placer a verlos conocido y muchas gracias por brindarme su amistad, Martha López, Lidia Ayón, Blanca Zazueta, Yordi y Carlos.

A mi amiga MC. Lidia Ayón, gracias por tu amistad, por ayudarme en ciertas cosas que no entendía, por la confianza, las bromas y chimes que a veces platicábamos, gracias por todo.

A todos mis amigos de licenciatura, gracias por todo su apoyo y sus consejos, pero sobre todo a Ernesto gracias por siempre estar ahí cuando más en aprietos me veía y aunque fuera solo por teléfono siempre estabas ahí.

A toda mi familia, principalmente a mi mamá Dalila Perales Salazar por su amor y apoyo, porque lo que hoy soy es por el esfuerzo y esmero tuyo, por confiar y creer en mi, por tu apoyo incondicional, eres mi motivo de inspiración, superación y perseverancia de salir adelante, gracias por estar a mi lado en cualquier momento y que aun en la distancia siempre estás ahí para mí, eres mi mayor admiración en este mundo, te amo con todo mi ser mamá. A mi hermano Daniel por estar apoyándome, te amo aunque nos peleemos.

A mi angelito mi abuela Lucia Beltran Ruiz, por estar siempre cuidándome y guiándome por el buen camino, muchas gracias por estar conmigo siempre, te amo.

Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mi mamá Dalila Perales Salazar y hermano Daniel Rodríguez, a quienes amo con todo mí ser.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de cuadros	i
Índice de figuras	ii
RESUMEN	1
I INTRODUCCIÓN	3
II ANTECEDENTES	5
A El mango	5
1 Descripción botánica	5
2 Variedades	7
3 Propiedades nutricionales y composición	9
4 Producción del mango	11
B Cambios bioquímicos durante la maduración	12
1 Maduración	15
2 Cambios de color	15
3 Cambios de azúcares y ácidos	16
C Manejo poscosecha del mango	17
1 Etapas poscosecha del mango	17
D Daño por frío	22
1 Síntomas y causas	23
2 Alteraciones fisiológicas en el daño por frío	25
a Respuesta fisiológica primaria	25
b Respuesta fisiológica secundaria: Estrés oxidativo	27
3 Índices fisiológicos	28
a Lixiviación de electrolitos	28
b Peroxidación de lípidos	29
E Tecnologías poscosecha en la industria de mango	30
1 Tratamientos térmicos	30
III JUSTIFICACIÓN	33
V OBJETIVOS	34

A	Objetivo general	34
B	Objetivos específicos	34
VI	MATERIALES Y MÉTODOS	35
A	Materiales	35
1	Obtención de frutos	35
2	Diseño experimental	35
B	Métodos	36
1	Parámetros de calidad	36
a	Color	36
b	Firmeza	36
c	Sólidos solubles totales	37
d	pH	37
e	Acidez titulable	37
f	Pérdida de peso	37
g	Índices fisiológicos	38
1	Índice de daño por frío	38
2	Lixiviación de electrolitos totales	38
3	Contenido de MDA	39
j	Actividad de enzimas antioxidantes	39
1	Superoxido dismutasa (SOD)	39
2	Catalasa (CAT)	40
3	Ascorbato peroxidasa (APX)	40
VII	RESULTADOS	42
A	Parámetros de calidad	42
1	Color	42
a	Luminosidad	42
b	Parámetro a*	45
c	Ángulo Hue	47
2	Firmeza	50
3	Sólidos solubles totales	54
4	pH	56

5	Acidez titulable	59
6	Pérdida de peso	62
7	Índice de daño por frío	65
8	Lixiviación de electrolitos totales	70
9	Contenido de MDA	73
10	Actividad de enzimas antioxidantes	77
	a Superóxido dismutasa (SOD)	77
	b Catalasa (CAT)	81
	c Ascorbato Peroxidasa (APX)	85
VIII	CONCLUSIONES	90
IX	BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Taxonomía del mango	8
2	Componentes nutricionales característicos del mango	10
3	Producción mundial del mango	13
4	Producción nacional del mango	14
5	Tratamientos con agua caliente para mangos	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Morfología del mango	6
2	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre Luminosidad en frutos de mango Tommy Atkins.	44
3	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el valor a* en frutos de mango Tommy Atkins.	46
4	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el ángulo Hue (°Hue) en frutos de mango Tommy Atkins.	48
5	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre firmeza en frutos de mango Tommy Atkins.	51
6	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre sólidos solubles totales en frutos de mango Tommy Atkins.	55
7	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre pH en frutos de mango Tommy Atkins.	58
8	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre % de Ácido cítrico en frutos de mango Tommy Atkins.	60
9	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el % de Pérdida de peso en frutos de mango Tommy Atkins.	63
10	síntomas de DF (A) y Índice de daño por frío (IDF) (B) en frutos de mango Tommy Atkins durante el almacenamiento a 5°C por 30 días más un periodo de maduración a 21°C por 4 y 8 días.	67
11	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre % lixiviación de electrolitos totales en frutos de	71

	mango Tommy Atkins.	
12	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el contenido de MDA en frutos de mango Tommy Atkins.	75
13	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de SOD en frutos de mango Tommy Atkins.	79
14	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de CAT en frutos de mango Tommy Atkins.	82
15	Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de APX en frutos de mango Tommy Atkins.	86

RESUMEN

El mango (*Mangifera indica L.*) es un fruto tropical muy importante a nivel mundial en términos de producción y de aceptación del consumidor. Se considera como una fuente rica de antioxidantes como el ácido ascórbico y carotenoides responsables del color amarillo brillante. El potencial de exportación del mango está restringido por su vida de almacenamiento debido a su naturaleza altamente perecedera ya que muestra un rápido deterioro de la calidad poscosecha durante el transporte y almacenamiento. Con el fin de prolongar la vida de anaquel, éste se almacena a bajas temperaturas pero desafortunadamente es sensible al daño por frío (DF), un desorden fisiológico que se da cuando los frutos se exponen a temperaturas mayores que su punto de congelación pero menores a la temperatura crítica, provocando síntomas que disminuyen su calidad y provocan pérdidas económicas. No se conocen las causas que provocan el DF, recientemente se ha relacionado a este desorden fisiológico con un aumento en el estrés oxidativo. Frutos sometidos a estrés abiótico, tales como temperaturas bajas o altas, han demostrado producir niveles elevados de las especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daño oxidativo. Los niveles de actividad de las enzimas antioxidantes como la catalasa, ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa se han relacionado con la tolerancia a las temperaturas bajas y la prevención de DF. Entre las estrategias utilizadas para aminorar las consecuencias del DF se encuentran los tratamientos térmicos, que consisten en aplicar calor mediante aire, vapor o inmersión en agua (tratamiento hidrotérmico) previo al almacenamiento a temperaturas bajas, confiriéndole a los productos una tolerancia al desorden. Actualmente, se tiene poco conocimiento en cuanto a los mecanismos bioquímicos involucrados en la adquisición de dicha tolerancia y existen pocos reportes sobre la influencia de la aplicación secuencial de dos tratamientos de agua caliente después de la cosecha en mango. Dado que estos tratamientos proporcionan grandes beneficios comerciales para los productores locales y regionales ya que los ayudan a cumplir con los protocolos de cuarentena de los países importadores, el presente trabajo pretendió evaluar el efecto de la aplicación secuencial de dos tratamientos hidrotérmicos en mango sobre la inducción de tolerancia al DF y la actividad de diversas enzimas del sistema antioxidante;

además de evaluar parámetros de calidad e indicadores fisiológicos relacionados con la respuesta al desorden, con el fin de extender la vida de anaquel y aportar información que brinde un mejor entendimiento de los procesos de tolerancia y susceptibilidad al DF. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dos tratamientos hidrotérmicos sobre la inducción de tolerancia al daño por frío, la calidad poscosecha y el sistema antioxidante en frutos de mango almacenados a temperaturas bajas. Se asignaron al azar a 4 lotes con igual número de unidades, después recibieron los distintos tratamientos hidrotérmicos, los cuales T1 (Control), T2 (TH1 (46.1°C, 75-90 min)), T3 (TH2 (55°C, 5 min)) y T4 (TH1+TH2 (46.1°C, 75-90 min + 55°C, 5 min)). Una vez aplicados los TH, los frutos fueron enfriados en agua a 25 °C, para luego ser almacenados a temperatura sana (13°C) o de DF (5°C) durante 30 días. De este almacenamiento se hicieron retiros cada 15 días para transferir la fruta a temperatura de maduración (21°C) donde se mantuvieron por 8 días para la manifestación de síntomas. La humedad relativa se mantuvo entre 85 y 90%. Los análisis de este segundo almacenamiento se realizaron cada 4 días. Se evaluó los parámetros de calidad como color externo (L, a* y H°), firmeza, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), porcentaje de pérdida de peso (%PP); índices fisiológicos como índice de daño por frío (IDF), % de lixiviación de electrolitos, contenido de malondealdehído (MDA) y la actividad enzimática antioxidante (SOD, CAT y APX). El proceso de maduración indujo los cambios esperados, un incremento en SST y pH, disminución en AT y firmeza, aparición de los colores rojos y amarillos. Durante la maduración, los frutos almacenados a 5°C tuvieron un efecto sobre los parámetros mencionados, contrastado con los frutos almacenados a 13°C, donde los frutos a 5°C presentaron valores menores. El TH1+TH2 presentó una menor pérdida de peso (2.37%) contrastado con el Control (2.95%) y a su vez un menor IDF. Los índices fisiológicos presentaron un incremento en todos sus valores, lo cual era lo esperado ya que se le aplicó un estrés al fruto. Las enzimas antioxidantes (SOD, CAT y APX), en los frutos almacenados a 13°C obtuvieron valores menores contrastados con los almacenados a 5°C; en los frutos almacenados a 5°C, el TH1+TH2 obtuvo los valores más altos contrastados con los restos de los tratamientos en las 3 enzimas evaluadas.

I. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica L.*) es un fruto tropical de los más importantes a nivel mundial en términos de producción y aceptación del consumidor. La fruta de mango se considera como una fuente rica de antioxidantes como el ácido ascórbico (50% de la ingesta diaria recomendada), fenólicos y carotenoides (responsables del color amarillo brillante). (Tassadit y col. 2009).

El potencial de exportación de mango está restringido por su vida de almacenamiento debido a su naturaleza altamente perecedera, debido a su capacidad de rápido deterioro de la calidad poscosecha durante el transporte y almacenamiento.

Los cambios en la estructura de la membrana de la fruta generan la primera respuesta de DF a nivel celular, afectando la permeabilidad de la misma. Una reacción secundaria aparece con síntomas como fugas de electrolitos, reducción de la energía metabólica y lisis celular. Frutos sometidos a estrés abiótico, tales como temperaturas bajas o altas, han demostrado producir niveles elevados de las especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daño oxidativo. Los niveles de actividad de las enzimas antioxidantes como la catalasa, ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa se han relacionado con la tolerancia a las temperaturas bajas y la prevención de DF (Shadmani y col, 2015).

Entre las estrategias utilizadas para aminorar las consecuencias del DF se encuentran los tratamientos térmicos, que consisten en aplicar calor mediante aire, vapor o inmersión en agua (tratamiento hidrotérmico) previo al almacenamiento a temperaturas bajas, confiriéndole a los productos una resistencia al desorden (Luiry y col, 1997).

Estos tratamientos proporcionan grandes beneficios comerciales para los productores locales y regionales ya que los ayudan a cumplir con los protocolos de cuarentena de los países importadores. Actualmente, existen muy pocos informes

sobre la influencia de la aplicación secuencial de dos tratamientos de agua caliente después de la cosecha en mango.

El presente trabajo pretende evaluar el efecto de la aplicación de dos tratamientos hidrotérmicos en mango sobre la inducción de tolerancia al DF, y la actividad de diversas enzimas del sistema antioxidante; además de evaluar parámetros de calidad e indicadores fisiológicos relacionados con la respuesta al desorden, con el fin de extender la vida de anaquel y aportar información que brinde un mejor entendimiento de los procesos de tolerancia y susceptibilidad al DF.

II. ANTECEDENTES

A EL MANGO

El mango es uno de los frutos tropicales más finos y apreciados por los consumidores. Es originario de la India y se cree que comenzó a cultivarse 2.000 años antes de Cristo, aunque se supone que ya era conocido mucho tiempo atrás. Algunos botánicos estiman que esta planta fue domesticada por el hombre desde hace 6000 años (Oquendo, 2007).

El árbol que lo produce, "*Mangifera indica* L.", es descendiente de una de las más de cuarenta especies silvestres que todavía existen en el noroeste de India, Filipinas y Papúa Guinea. Casi la mitad de éstas producen frutos comestibles, pero ninguna iguala la finura de la especie "*indica*", a la que algunos autores denominan el rey de los frutos (Infoagro, 2015).

Hacia el siglo XVI era ya un símbolo de estatus en India. El cultivo de este fruto era un privilegio de los rajás y nababs. Los colonizadores portugueses fueron los que llevaron este cultivo a África y luego a Brasil, desde entonces se extendió a todas las tierras con clima apropiado para su producción (Oquendo, 2007).

1 Descripción botánica y taxonomía

Los árboles de la especie "*indica*" son vigorosos y pueden alcanzar hasta 20 metros de altura, su forma es piramidal, sus hojas son alargadas y de color verde brillante; los frutos son ovalados como se aprecia en la figura 1.

La fruta del mango es una drupa que varía en peso, desde 200 hasta 2000 g aproximadamente, de formas redondas, ovoides, arriñonadas y a veces aplanadas. Presenta color verde, amarillo y rojo. En cuanto a su taxonomía puede verse resumida en la tabla 1.

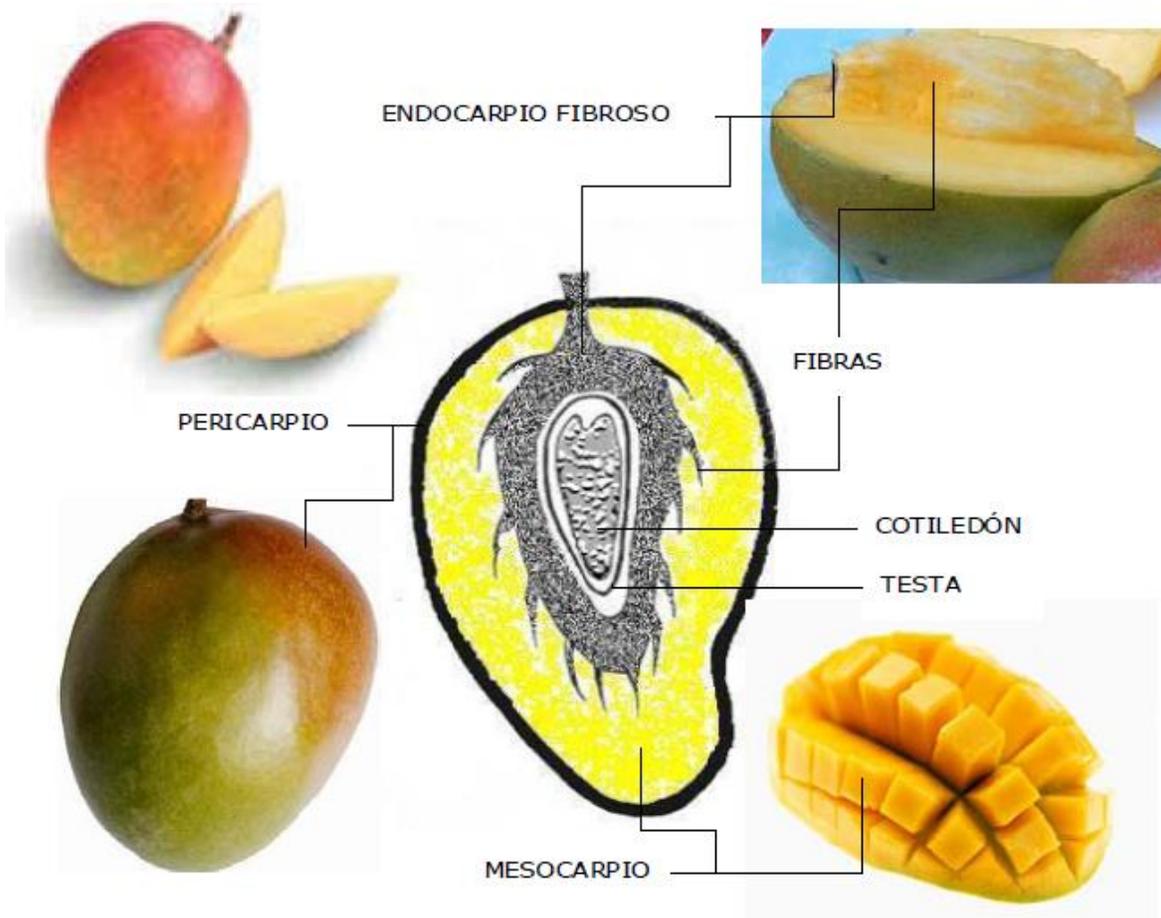


Figura1. Morfología del mango (Oquendo, 2007).

2 Variedades de mango

Variedades rojas

Kent. Es de tamaño grande (500-800 gramos) y forma ovalada orbicular, de agradable sabor, jugoso, de poca fibrosidad y alto contenido de azúcares.

Haden. Es de tamaño medio a grande (380-700 gramos) y forma ovalada; de pulpa firme y de color y sabor agradables.

Tommy Atkins. Esta variedad es de tamaño grande (600 gramos) y forma oblonga oval; es resistente a daños mecánicos y con un período mayor de conservación.

Variedades verdes

Keitt. De forma ovalada y tamaño mediano a grande (600 gramos), esta variedad tiene una pulpa de poca fibrosidad, jugosa y muy firme.

Amelie. Es originaria de África occidental; aunque tiene bajo contenido de fibra es apreciado dentro del mercado francés.

Variedades amarillas

Ataulfo. Es de tamaño mediano a pequeño, bajo en fibra, con alto contenido de azúcar, producido solamente en México.

Manila súper. De tamaño pequeño y forma alargada y aplanada, es de sabor fuerte.

Las variedades más importantes en México son *Ataulfo* (que representa 1/4 mangos mexicanos y cuenta además con denominación de origen), *Manila*, *Tommy Atkins*, *Hayden*, *Kent* y *Keitt* (Wall-Medrano y col., 2015).

Sinaloa tiene una superficie de 31,180.49 Ha sembrada de mango produciendo variedades como *Kent*, *Haden*, *Keitt*, *Manila*, *Tommy Atkins* y *Ataulfo* (Santoyo y Martinez, 2000, SIAP, 2016).

Cuadro 1. Taxonomía del mango

Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Suborden	Anacardiineae
Familia	Anacardiaceae
Genero	Mangifera
Especie	indica

Fuente: Mora y col., 2002.

3 Propiedades nutricionales y composición

El mango es una fruta rica en agua, azúcares, fibra, minerales y vitaminas. Por su riqueza en ácidos (málico, palmítico, p-cumárico y mirístico), vitamina C (un mango de 200 g proporcionará 56 mg de vitamina C aproximadamente, lo que representa casi el 50 % de la dosis diarias recomendada), y especialmente, por su alto contenido en carotemoides; el mango constituye una buena fuente de antioxidantes; lo que otorga un poder defensivo contra la degradación de las células (Martínez, 2006).

Por este motivo, se ha demostrado que los frutos de mango ejercen una función anticancerígena muy efectiva, otorgada tanto por estas vitaminas como por su riqueza en flavonoides, entre los que destaca la quercetina y el canferol. Además, estos componentes guardan una estrecha relación con la reducción de los niveles de colesterol y la disminución de la hipertensión (Galán-Saúco, 1999).

Para un adulto, un mango mediano proporciona mucho más de la cantidad diaria necesaria de vitamina A, en forma de carotenos, que son mayormente los que le confieren a la pulpa de esta fruta su particular coloración amarillenta o rojiza. Una pieza de un peso aproximado de 200 g contiene unas 8000 UI de vitamina A, lo que representa un 50% más de la dosis diaria recomendada. Solamente los melones de la variedad "*cantaloupe*" poseen mayor cantidad de este componente (Sánchez y col., 2000).

El mango contiene bastante triptófano, un aminoácido con propiedades relajantes, que en combinación con las vitaminas del complejo B, posibilita que tenga un sueño más tranquilo y, al mismo tiempo producirá la sensación de felicidad, dado que, a partir del triptófano, se produce la hormona serotonina, un neurotransmisor conocido habitualmente como "hormona de la felicidad" la cual suprime los efectos de la depresión (Guha y col., 1996). En el cuadro 2. Se muestra los principales componentes nutricionales del mango.

Cuadro 2. Componentes nutricionales característicos del mango (cantidades dadas para 100 g de pulpa fresca)

COMPONENTE	CONTENIDO
Agua	87.7 g
Energía	65 Kcal
Grasa	0.45 g
Proteína	0.51 g
Hidratos de carbono	17 g
Fibra	1.8 g
Potasio	156 mg
Fosforo	11 mg
Hierro	0.13 mg
Sodio	0 mg
Magnesio	9 mg
Calcio	10 mg
Cobre	0.11 mg
Zinc	0.04 mg
Selenio	0.6 mg
Vitamina C	27.7 mg
Vitamina A	3.894 UI
Vitamina B1 (Tiamina)	0.058 mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	0.057 mg
Vitamina B3 (Niacina)	0.58 mg
Vitamina B6 (piridoxina)	0.134 mg
Vitamina E	0.100 mg
Acido fólico	14 mg

Fuente: USDA, 2006.

4 Producción de mango

El mango se ha extendido a más de 100 países de los trópicos y subtropicos, debido, sin duda, a la conjunción de la excelencia del fruto y a la labor de agricultores e investigadores en la mejora del cultivo (Galán-Saúco, 1999). El mango se cultiva en numerosos países, desde los 36° de latitud Norte en España hasta los 33° de latitud Sur en Sudáfrica. Gracias a esto, el mango es indudablemente la especie de mayor importancia de la familia de las Anacardiáceas.

El mango tiene una capacidad de adaptación a diferentes regiones, climas y condiciones de un habitat, por ello podemos encontrar este fruto desde el sur de Asia hasta América, donde los mayores productores son India, China, Kenia, Tailandia, Indonesia, Pakistán y México, según cifras y estimaciones de la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (FAOSTAT, 2016).

Para el 2012, la producción bruta mundial de mangos, ascendió a 38 millones 828 mil 555 toneladas, India fue el mayor productor al concentrar el 39.3% de la producción total, seguido por China con el 11.3% (15,250,000 MT), Kenya con el 7.2% (4,400,000 MT), Tailandia con el 6.8% (2,781,706 MT) e Indonesia con el 6.1% (2,650,000 MT) (FAOSTAT, 2016). El cuadro 3. Nos muestra la producción mundial de mango.

México se ubicó en el séptimo lugar con 1 millón 760 mil 588 toneladas representando el 4.5% de la producción total en el mundo. En el continente americano, le siguieron Brasil con 1 millón 175 mil 735 toneladas y Cuba con 389 mil 576 ton (FAOSTAT, 2016).

Durante los últimos cinco años, la producción de mango en México creció un 6% al pasar de 1.5 millones de ton, en el 2009, a 1.7 millones de ton, en el 2014, incluyendo los mangostanes y las guayabas, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México (SIAP, 2016).

La producción del país de México de frutos mangos se concentró principalmente en 11 estados produciendo un total de 1,451,890.39, de los cuales Guerrero fue el

principal al alcanzar las 364,317.53 toneladas (ton), alcanzando un 25.1% de la producción nacional, seguido por Chiapas con 196,166.05 ton, equivalente al 13.5%; Nayarit, con 175,210.23 ton representando un 12.1% de la producción total nacional; Oaxaca con 160,704.62 ton ocupando un 11.1%, y Sinaloa con 110,888.77 ton representando un 7.64%, entre otros (SIAP, 2016). El cuadro 4. Nos muestra la producción nacional de mango.

B CAMBIOS FISICOQUIMICOS DURANTE LA MADURACIÓN

La calidad de un producto se define como una combinación de características, atributos o propiedades que dan al producto el valor de alimento para el consumo humano. Este conjunto de factores está relacionado tanto con la aceptación organoléptica y nutricional, como con su aspecto externo. Durante la maduración del mango ocurren cambios en la velocidad de respiración que están acompañados por otros cambios fisicoquímicos y bioquímicos (Kader, 2012).

La madurez fisiológica en frutos de mango, se ha correlacionado con características físicas y químicas. Dentro de las físicas se consideran el color, forma, tamaño y crecimiento de hombros. Dentro de las químicas se encuentran: sólidos solubles totales, acidez titulable, contenido de almidón, compuestos fenólicos y carotenoides, hemicelulosas, pectinas y celulosa (Tharanathan y col., 2006; Cárdenas y col., 2012).

La pulpa del mango (mesocarpio), contiene 84% de agua, 10 a 20% de azúcar, 0.6% de proteínas, 0.13-0.71% de ácidos orgánicos y 1-2% de fibra. El fruto inmaduro es rico en almidón, el cual es hidrolizado a azúcares durante la maduración. Las semillas contienen 70% de carbohidratos, 10% de grasas y 6% de proteína.

Cuadro 3. Producción mundial de mango.

Rango	Área	Producción (MT)	%
1	India	15250000	39.3
2	China	4400000	11.3
3	Kenia	2781706	7.2
4	Tailandia	2650000	6.8
5	Indonesia	2376339	6.1
6	Pakistan	1950000	5.0
7	México	1760588	4.5
8	Brasil	1175735	3.0
9	Bangladesh	945059	2.4
10	Nigeria	860000	2.2
11	Egipto	786528	2.0
12	filipinas	783225	2.0
13	Viet Nam	775942	2.0
14	Cuba	389576	1.0
15	Otros	1943857	5.0

Fuente: FAOSTAT, 2016

Cuadro 4. Producción nacional de mango.

Rango	Ubicación	Producción (Ton)
1	Guerrero	364,317.53
2	Chiapas	196,166.05
3	Nayarit	175,210.23
4	Oaxaca	160,704.62
5	Michoacán	137,393.98
6	Sinaloa	110,888.77
7	Veracruz	100,831.68
8	Jalisco	78,142.87
9	Colima	49,786.40
10	Campeche	39,095.20
11	Tamaulipas	12,984.98
12	Otros	26,368.08

Fuente: SIAP, 2016

1 Maduración

El mango es un fruto climatérico por lo que durante su maduración presenta un aumento en la velocidad de respiración y en la producción de etileno. El etileno juega un papel importante en la iniciación de los primeros eventos bioquímicos en la maduración y en la integración de los cambios posteriores (Madhavi y Salunkhe 1998). Entre los cambios que se integran con la respiración y producción de etileno están la degradación de la clorofila, síntesis de carotenos y antocianinas, síntesis de poligalacturonasa, una enzima que hidroliza la pared celular, por lo que el fruto sufre un ablandamiento del tejido consecuencia del incremento en la solubilización de las sustancias pécticas, desaparición del almidón acumulado durante el período de crecimiento para ser degradado a azúcares solubles, proporcionando dulzura al fruto y sustratos para la respiración, etc. (Madhavi y Salunkhe, 1998; Adams, 2001; Nilsson, 2002).

El ablandamiento es causado ya sea por la descomposición de protopectina insoluble en la pectina soluble, por hidrólisis de almidón, o cambios en la composición de hemicelulosa o celulosa. La enzima responsable de la solubilización de la pectina es la poligalacturonasa (PG), de la cual, se ha reportado una buena correlación entre el incremento de la actividad de la enzima y la pérdida de firmeza en mangos (Lizada, 1991; Gómez- Lim, 1993, Cárdenas y col., 2012). Por otro lado la enzima pectinmetilesterasa (PME), encargada de la metilación y desmetilación de la pectina, incrementa su actividad conforme el mango alcanza el 50% de su madurez comestible y después disminuye la actividad de la enzima (Vela-Gutiérrez, 2000; Brummell, 2006).

2 Cambios de color

El color del fruto de mango es una manifestación externa de la composición y forma de los pigmentos. En la mayoría de estos, el primer signo de maduración es la desaparición del color verde (degradación de clorofila). El contenido de clorofila de los frutos en la maduración desaparece con lentitud y por lo general, queda en ellos

cierta cantidad de pigmentos verde, en especial en los tejidos internos. Durante la maduración la mayoría de las variedades de mango cambian de color verde a amarillo o naranja con zonas enrojecidas. La pérdida del color verde, se debe a la desaparición de la clorofila liposoluble mientras que la aparición del color amarillo es debido al incremento de los carotenoides liposolubles. El tono rojo se debe a la presencia de antocianinas hidrosolubles (Lizada, 1991). El aumento de los carotenoides en la pulpa de las variedades Carabao, Tommy Atkins, Badamy y Alphonso también ha sido reportado (Lizada, 1991,1993). Del total de los carotenoides el 50% o más lo constituyen los β -carotenos. El cambio de color en la cáscara y pulpa está acompañado de cambios ultraestructurales en los cloroplastos, donde los sistemas de membranas tilacoides se desintegran gradualmente, mientras que se forman y aumentan el número de glóbulos osmolíticos. La pérdida de integridad de las membranas está asociada con la degradación de la clorofila y la desaparición de los glóbulos acompaña al incremento de los carotenoides. Se ha reportado que en la carotenogénesis intervienen el ácido mevalónico y el geraniol como precursores (Lizada, 1993).

La coloración por antocianinas es altamente dependiente del medio intracelular, particularmente del pH. Existen diferentes métodos espectrofotométricos tradicionales son los cuales pueden ser utilizados para determinar el total de antocianinas, betalaínas, clorofila, y los carotenoides (Vela- Gutiérrez, 2000).

3 Cambio en azúcares y ácidos

Los azúcares ya sean libres o combinados con otros constituyentes, son de importancia para que se alcance un sabor agradable del fruto, mediante un equilibrio en la proporción ácido-azúcar, color atractivo (derivado de las antocianinas) y una textura saludable (Lizada, 1993).

Los sólidos solubles totales se incrementan durante la maduración como consecuencia de la hidrólisis del almidón; la glucosa y fructosa son los principales monosacáridos que los constituyen y la sacarosa el principal disacárido. En algunas

variedades como la Keitt el contenido de los tres azúcares aumenta durante la maduración (Lizada, 1991).

La acidez titulable disminuye conforme el mango madura, los ácidos orgánicos que se encuentran en mayor proporción en el fruto son el cítrico y el málico; también se han identificado el oxálico, fumárico, succínico, pirúvico, malónico, tartárico, galacturónico, ascórbico (Lizada, 1991; Lanzas y col., 1993, Lizada, 1993). La acidez se expresa en términos de ácido cítrico y depende de la variedad de mango (Lanzas y col., 1993).

C MANEJO POSCOSECHA DEL MANGO

La respiración, transpiración y producción de etileno son los procesos más importantes para la maduración de productos hortofrutícolas, y finalmente para su deterioro. De esta manera, el control de estos procesos y de manera específica su reducción, permite prolongar la vida poscosecha de frutas y hortalizas (DeEll y col., 2003).

El término poscosecha es entendido como todas las operaciones que se realizan después de la cosecha de un producto (separarlo de la planta), buscando dar valor agregado o al menos disminuir las pérdidas en los procesos de manipulación, transporte y almacenamiento. La utilización de los métodos de poscosecha, no mejora la calidad de las frutas y hortalizas, simplemente las mantiene por un periodo más largo, procurando que los productos lleguen similares a como fueron cosechados al consumidor final y así se mantengan el mayor tiempo posible (Martínez y col., 2006).

1 Etapas poscosecha del mango

a Recepción

El lugar donde se recibe el fruto debe estar limpio, ventilado, libre de insectos, roedores o cualquier otro animal que pueda producir daño. No es recomendable

dejar por mucho tiempo la fruta en esta etapa ya que puede empezar a presentarse deterioro (Ovando, 2005).

b Lavado

La gran diversidad de contaminantes que se encuentran en los productos agrícolas y los bajos límites permitidos hacen que sea necesario usar métodos de limpieza y desinfección prácticos y económicos. Para el mango se utiliza la inmersión, como paso previo a otras formas de limpieza; con esto la tierra adherida se ablanda, desprende y desecha junto con residuos orgánicos. La inmersión se hace más eficiente moviendo el agua con agitadores cubiertos o con corrientes de aire, para producir turbulencia. Otra forma es mover las frutas con paletas de movimiento lento. El antibacteriano más utilizado es el cloro, las proporciones de este van entre 150-200 ppm, y su pH óptimo es de 7 (Galán, 2009).

c Selección

Esta se realiza de forma manual, el personal encargado de la selección debe considerar las características siguientes:

- Fruta sana
- Ausencia de ataques de insectos
- Ausencia de daños mecánicos
- Estado de madurez fisiológica

Todas las frutas con defectos visibles, estado verde y sobremaduras deben ser rechazadas (Kader, 2012).

d Pre-enfriamiento

Se realiza para reducir la intensidad respiratoria y minimizar el riesgo de contaminación por microorganismos. Se puede utilizar aire a una velocidad de 5,5 m/seg y una humedad relativa del 85% o agua fría, que tiene la ventaja de que no provoca pérdida de peso en la fruta (Alvarado, 2013).

e Clasificación

Los mangos se clasifican en lo posible sobre una banda transportadora por criterios de tamaño, variedad, forma y coloración (madurez). (Ovando, 2005).

f Tratamiento hidrotérmico

El mango será tratado bajo cierta supervisión, este tratamiento cuarentenario sirve para el control de la mosca de la fruta y de la enfermedad antracnosis. La fruta debe ser sumergida en agua caliente por lo menos 10 centímetros bajo la superficie a una temperatura de 46.1°C y el tiempo varía según su forma y peso (cuadro 5). Después de ser retirados del agua caliente se deben mantener por 30 minutos fuera del tanque antes de enfriar el mango en agua fría (el agua debe de tener una temperatura alrededor de 21.1°C) (SENASICA, 2012).

g Empaque

El empaque es un componente muy importante para mantener la calidad de las frutas y vegetales frescos. Su principal función es proteger el producto durante su transporte y comercialización, para lo cual debe tener las características de diseño y de resistencia adecuada. El empaque debe estar rotulado ya que otras de sus funciones es proteger e informar al consumidor, debe ser claro y visible, debe de tener el logo de la empresa, datos sobre peso, temperatura óptima de almacenamiento (13 °C), variedad y lugar de procedencia. Este puede ser de madera o de cartón, donde cada mango se envuelve en un papel suave y se debe apoyar en los costados de la caja sobre una cama de papel picado. Se utilizan separadores de cartón para prevenir la fricción de frutas entre sí, además de mejorar la presentación (Slaugther, 2009).

Cuadro 5. Tratamientos con agua caliente para mangos

FORMA	PESO (g)	TEMPERATURA	TIEMPO DE TRATAMIENTO (min)
Planas o elongadas	375	46.1	65
	376-570	46.1	75
Redondas	500	46.1	75
	501-700	46.1	90
	701-900	46.1	90

Fuente: SENASICA, 2012

h Almacenamiento

Para prolongar la vida útil de almacenamiento y mantener la calidad de los frutos, la principal técnica empleada es la refrigeración, lo que es uno de los factores que retrasan los procesos naturales de maduración, procesos que son controlados por enzimas, que a su vez dependen de la respiración para la obtención de energía.

El mango es vulnerable a la pérdida poscosecha debido a su alta perecibilidad natural. Los factores que afectan el almacenamiento de mango son: cultivar, estado de madurez, tamaño, método de cosecha, manejo, empaque y modo de transporte. La vida de anaquel de mango no excede de las 2-3 semanas y es limitada por deterioro fisiológico relacionado con sobre maduración y enfermedades poscosecha (Cunha, 2000).

Sin embargo, el mango almacenado a temperaturas por debajo de las críticas (13 °C) y una humedad relativa alrededor del 90-95%, sufre un desorden fisiológico denominado daño por frío. Algunos de los síntomas que se pueden presentar son picado superficial y zonas grisáceas en la cáscara, una maduración anormal y heterogénea, con poco desarrollo de color y disminución de las características organolépticas (sabor y aroma), oscurecimiento de lenticelas, picado de la piel, oscurecimiento de la pulpa, marchitamiento o deshidratación, así como sensibilidad al ataque por patógenos (Villalobos, 2008; Alvarado, 2013).

De acuerdo a la investigación realizada por Morais y Assis (2004) para 'Tommy Atkins' recolectado en el apropiado punto de madurez (verde maduro) puede almacenarse a 8° C y 67% de humedad relativa durante 18 días sin daños por frío conservando toda su calidad comercial tras ser transferido a temperatura ambiente.

Wang y col. (2007) mencionan que el fruto de mango es susceptible a daños por frío a temperaturas menores a 13 °C manifestando oscurecimiento de la pulpa, decoloración y hundimientos en la cáscara. Luna y col. (2006) reportan que el mango 'Ataulfo' no es apto para almacenarse a 10 °C ya que produce síntomas de daño por frío, además de acelerar la intensidad respiratoria y emisión de etileno, inactivar enzimas y cambiar la permeabilidad de la membrana de la pared.

D DAÑO POR FRÍO

El daño por frío (DF), es descrito como el desorden fisiológico que le ocurre a muchas plantas y productos como resultado de la exposición a temperaturas bajas, pero no de congelación y que fluctúan desde 1 hasta 15°C. (Ritenour y col., 2015).

Desafortunadamente, la mayoría de los productos tropicales y subtropicales son susceptibles al DF cuando son expuestos a temperaturas por abajo de los 10 °C pero por encima de temperaturas de congelación (Malacrida y col., 2006). En el caso particular del mango, el DF puede llegar a producirse cuando es mantenido por debajo de su temperatura crítica (13 °C) por más de 2 semanas (Gómez, 2009). La temperatura crítica puede definirse como la temperatura mínima de almacenamiento que es segura para que en el producto no observen síntomas de DF (Wills y col., 1989).

Los daños causados por este desorden son especialmente relevantes en frutos climatéricos y tienen gran importancia ya que ocasionan pérdidas económicas considerables debido a la disminución de la calidad del fruto (Guillén-Moreno y col., 2007; Gómez, 2009).

No obstante, los síntomas de DF se pueden desarrollar en cualquier etapa de desarrollo en la planta, donde la sensibilidad depende del tiempo y la temperatura de exposición, del tipo de órgano de la planta y de la etapa de desarrollo (Sevillano y col., 2009). El DF puede presentarse durante la germinación de las semillas, almacenamiento de plántulas, crecimiento del cultivo en el campo, almacenamiento, transporte y distribución de los productos en el mercado, y durante la refrigeración en el hogar (Saltveit y Morris, 1990).

Puesto que el DF es uno de los principales factores que limitan la producción de cultivos alrededor del mundo, debido a que puede retrasar el crecimiento y desarrollo, reducir la productividad e incluso causar la muerte de la planta. Además, impacta durante el almacenamiento postcosecha de frutas y hortalizas, ya que algunos de estos productos no pueden ser almacenados a temperaturas bajas

debido a que se podría inhibir la maduración normal y/o acelerar el deterioro (Paull 1990; Park y col., 2004).

1 Síntomas del daño por frío

Aunque de un producto a otro existen síntomas externos característicos a consecuencia del DF (González-Aguilar y col 2000; Pongpraser y col., 2011), existen otros que se presentan en la mayoría de ellos. Saltveit y Morris (1990) enlistaron los síntomas comúnmente reconocidos de DF en orden de su tiempo de respuesta:

1) Cambios celulares. Incluyen cambios en la estructura y composición de la membrana, cese de la corriente citoplasmática, plasmólisis celular y un incremento en la velocidad de fuga de componentes celulares.

2) Metabolismo alterado. Incremento anormal en la velocidad de producción de CO₂ y etileno, algunas veces durante el enfriamiento y generalmente después de la remoción del tejido a temperaturas superiores. Incremento en los niveles de productos de respiración anaeróbica y otros metabolitos.

3) Crecimiento reducido y muerte de la planta. El marchitamiento de las hojas y el desarrollo de áreas necróticas ocurren generalmente después del enfriamiento.

4) Lesiones superficiales. Incluyen picado superficial, áreas hundidas y decoloración de la superficie; estos síntomas son agravados por el daño mecánico y las condiciones ambientales.

5) Áreas sudadas. El rompimiento celular y la pérdida de integridad de la membrana resultan en exudado de fluidos celulares hacia los espacios intracelulares.

6) Decoloración interna. La pulpa, hebras vasculares y semillas regularmente se tornan cafés.

7) Senescencia acelerada. Resulta cuando la pérdida de clorofila y la pérdida de la integridad celular ocurren a una mayor velocidad.

8) Incremento en la susceptibilidad al deterioro. Los cambios precedentes proveen un medio favorable para el crecimiento de patógenos.

9) Falla para madurar normalmente. Los frutos que son cosechados antes de la madurez completa son incapaces de seguir la secuencia de maduración normal si son enfriados; aún si maduran, hay una pérdida del desarrollo de sabor y aroma característicos y regularmente desarrollan sabores extraños.

Para el caso particular del mango, los síntomas visibles provocados por el DF incluyen desarrollo de color y maduración irregulares, picado superficial, áreas sudadas, mayor incidencia de enfermedades causadas por patógenos y deterioro acelerado. (Hardenburg y col., 1986).

En mango se ha reportado que las temperaturas entre 7 y 13°C, como en los cítricos, pueden provocar el daño por frío (Hatton, 1990). Además, se ha encontrado que el almacenamiento de los frutos en estado de verde a temperaturas menores a 13°C y de mangos maduros a temperaturas por debajo de 10°C, inducen el daño por frío, caracterizándose por la maduración anormal, desarrollo pobre de color y sabor, picado de la piel, mayor susceptibilidad a infecciones y deterioro, desarrollo de color grisáceo en la piel, oscurecimiento de la pulpa (Kader y Mitcham, 2000).

Vela y col. (2003), monitorearon la actividad de la Polifenoloxidasa (PPO) en frutos de mango Manila almacenados a 6, 12 y 25°C (grupo control). Ellos encontraron que los frutos almacenados a 6 ó 12°C presentaron la mayor actividad enzimática al día 16, atribuyéndole este comportamiento a la pérdida de compartimentación celular y al incremento en la producción de etileno ocasionado por el DF. También mostraron un 55 y 65% de oscurecimiento visual en la cáscara, respectivamente, consecuencia del DF presentado en los frutos y de la actividad de la PPO. Además, reportaron una baja o nula actividad enzimática en frutos almacenados a 25°C.

Las condiciones de tiempo y temperatura en la que se presentan los síntomas de DF varían enormemente según el cultivar. Hatton (1991) reportó que el intervalo de 10 hasta 13°C es el más seguro para almacenar mangos sin producir síntomas del

daño, y que los cultivares del sureste asiático pueden mantenerse a 10°C durante 10 hasta 16 días.

Brecht y col. (2012) reportaron que el mango Ataulfo es la variedad más sensible al DF. En un estudio que realizaron observaron el desarrollo de oscurecimiento de la pulpa alrededor de la semilla después de dos semanas de almacenamiento de 5 a 12.5°C, y de tres a cuatro semanas a 10 y 12.5°C resultando éste último con mayor oscurecimiento. Otros síntomas de daño por frío encontrados en la variedad Ataulfo fueron: marchitamiento de la piel y pérdida de aroma.

2 Alteraciones fisiológicas en el daño por frío

La exposición de especies sensibles a bajas temperaturas, provoca alteraciones en múltiples procesos metabólicos, la manifestación de síntomas visibles, y finalmente, la muerte celular si el tejido es expuesto a estas temperaturas por un tiempo prolongado; sin embargo, estos procesos pueden ser reversibles si los productos son colocados a temperaturas más altas antes de que el daño ocurra (López-Espinoza, 2009).

a Respuesta fisiológica primaria

Las alteraciones en la conformación y estructuras de las biomembranas se consideran el primer evento a nivel molecular donde el DF tiene un efecto sobre la permeabilidad de las membranas (Lyons 1973; Sharom y col 1994). Se han encontrado diferentes formas de daño en las membranas celulares, entre las más significativas están el incremento en la lixiviación de electrolitos (González-Aguilar y col 2004; Malacrida y col 2006; Yang y col 2009), la transición de fase que ocurre en los lípidos (Sharom y col 1994) a temperaturas críticas y los cambios en la composición de lípidos (Whitaker 1994; Lurie y col., 1997).

Los cambios producidos durante el almacenamiento a temperaturas bajas son similares a los que ocurren durante la senescencia (Marangoni y col., 1996). Entre estas modificaciones, las más significativas están la peroxidación de lípidos, el incremento en el índice de saturación de ácidos grasos, degradación de fosfolípidos y galactolípidos y un incremento en la relación esteroles/fosfolípidos (Whitaker 1993; Whitaker 1994; Zhang y Tian 2010).

Todos estos cambios en la composición de la membrana ocasionan una disminución en su fluidez lo cual conlleva a una menor funcionalidad de la misma y de las proteínas asociadas con ella (Marangoni y col., 1996).

Una de las teorías que intenta explicar estos desórdenes fisiológicos en las membranas y las manifestaciones que se dan a nivel molecular cuando ocurre el DF es la 'teoría de las membranas' propuesta por Lyons (1973). En ella se postula que los cambios termotróficos en los lípidos de membranas constituyen la respuesta primaria a los desórdenes fisiológicos desatados por la exposición al frío, y son estos los responsables en las alteraciones en la organización molecular y estructural de la matriz lipídica de las membranas celulares. Esta teoría apoya la idea de que el efecto inmediato de las bajas temperaturas es un aumento en la microviscosidad de esta debido a una disminución de la rotación aleatoria o movimientos de plegado de las cadenas alifáticas de los ácidos grasos y a una reducción en el grado de insaturación de estos ácidos. Por debajo de un valor crítico de temperatura, llamado temperatura de transición, este evento conduce a una reorganización de los lípidos de una estructura flexible de membrana líquido-cristalina, en una rígida llamada sólido-gel. Si el período de almacenamiento a baja temperatura es demasiado prolongado, entonces las regiones afectadas de la membrana a causa de estas estructuras rígidas se extienden a la membrana entera, ocasionando pérdidas de elasticidad que conducen a trastornos funcionales de las proteínas membranales, y finalmente a la ruptura de esta misma, provocando con ello fugas de agua, iones y de metabolitos desde el interior de la célula (Lyons, 1973).

Por más de un cuarto de siglo, la hipótesis básica en el estudio del DF ha sido la antes mencionada (Lyons, 1973). Sin embargo, Saltveit (2000) indica que están involucrados diversos mecanismos que conducen al desarrollo de los síntomas de DF.

b Respuesta fisiológica secundaria: Estrés oxidativo

Recientemente se ha sugerido que los síntomas de DF son consecuencia de un estrés oxidativo en los tejidos, lo que ocurre cuando las especies reactivas de oxígeno (ERO) como peróxidos de hidrógeno, radicales superóxido e hidroxilo, están en exceso con respecto a la capacidad que tiene el tejido de neutralizarlos (Ghasemnezhad, 2008).

Las células vegetales están equipadas con sistemas antioxidantes de defensa, principalmente enzimas redox tales como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), y ascorbato peroxidasa (APX) (Zhang y col., 2009). Cuando este sistema falla se presenta una acumulación de especies reactivas de oxígeno, éstas pueden ocasionar daño oxidativo e inducir reacciones de peroxidación de lípidos, inactivación de enzimas, degradación de proteínas, daño al ADN, y de este modo acelerar el ciclo de deterioración asociado con la senescencia (Zhang y col., 2009; Vega-García y col., 2010).

En células vegetales, la acumulación de ERO puede ser debido a la ineludible fuga de electrones en O_2 de la cadena de transporte de electrones en los cloroplastos y mitocondrias y / o por la activación de NADPH oxidasas situadas en las membranas celulares (Bhattacharjee, 2012).

Møller (2001) sugirió que la defensa de las plantas contra el estrés oxidativo se lleva a cabo de dos maneras. La primera por la activación de la expresión de genes que codifican proteínas involucrada en la inactivación ERO tales como oxidasa alternativa (AOX). La vía de AOX es una rama de la cadena respiratoria de transporte de electrones en la mitocondria que emerge para el citocromo. La segunda forma de defensa contra el estrés oxidativo es mediante la inducción de la actividad o el gen

expresión de ROS como las enzimas antioxidantes incluyendo la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX).

La respuesta al estrés por los cambios en la actividad de enzimas que limpian depende en gran medida de la fase de maduración. El aumento de la actividad de tanto SOD y APX en frutos de tomate apuntan a la ocurrencia de estrés oxidativo como una respuesta al estrés inmediata a la refrigeración y la capacidad para aliviarla. En frutos rojos maduros, la actividad de APX se redujo (Gómez y col. 2009).

Sánchez-Bel y col. (2012) reportaron que el almacenamiento de pimiento a 1 °C llevado a DF, que fue acompañado con: 1) la acumulación de MDA debido a peroxidación de los ácidos grasos insaturados de la membrana como resultado de la acumulación de ROS; 2) la degradación de los plástidos y desaparición de los peroxisomas; y 3) la reducción de la actividad de CAT de la enzima antioxidante.

La acumulación de ROS en los pimientos almacenados a 1 °C generó la peroxidación de ácidos grasos insaturados de la membrana y la desaparición de los peroxisomas. La CAT es una enzima peroxisómica, la reducción de su actividad en los pimientos almacenados a 1 °C podría atribuirse a la desaparición de los peroxisomas. La mayor actividad del sistema antioxidante enzimático condujo a la reducción de ERO, por lo tanto, mejorar la integridad de la membrana y en última instancia mejorar la resistencia al DF (Soleimani y Bodbodak. 2014).

3 Índices Fisiológicos

a Lixiviación de electrolitos

El daño a las membranas es una de las causas principales por las cuales se origina el DF. Una forma de estimar el daño a estas membranas es midiendo la lixiviación de electrolitos en frutos, la cual nos puede servir como un indicador del grado de daño que el desorden ha provocado sobre los tejidos del fruto. Zhao y col. (2009), midieron la lixiviación de electrolitos a diferentes días de almacenamiento (2°C) en dos cultivares de tomate (Lichun y Santiam) y reportaron que a medida que se

incrementaban los días de almacenamiento, la lixiviación de electrolitos iba en aumento.

b Peroxidación de lípidos

La peroxidación de lípidos podría llevarse a cabo por oxidación enzimática de ácidos grasos insaturados mediante la lipoxigenasa (LOX) o por oxidación no enzimática mediante especies reactivas de oxígeno (ROS). La peroxidación de lípidos por las especies reactivas de oxígeno probablemente es uno de los primeros eventos en la manifestación del DF (Zhao y col, 2009). Según Malacrida y col. (2006) se puede estimar la magnitud del daño en las membranas cuantificando el contenido de Malondialdehído (MDA), el cual es un producto de la peroxidación de lípidos.

Los lípidos de la membrana son particularmente susceptibles a la peroxidación; puesto que las membranas forman parte de muchos organelos como la mitocondria, las membranas plasmáticas, el retículo endoplásmico, los lisosomas, los peroxisomas, etc. El daño causado por la peroxidación de lípidos disminuye enormemente la funcionalidad de la célula y su supervivencia (Devasagayam y col 2003).

Los pasos involucrados en la peroxidación de lípidos se pueden resumir de la siguiente manera (Devasagayam y col 2003):

1. $LH + X \rightarrow L\cdot + XH$
- 1a. $LH + Fe^{2+}\text{-activo} \rightarrow L\cdot + Fe^{3+}\text{-inactivo}$
2. $L\cdot + O_2 \rightarrow LOO\cdot$
3. $LOO\cdot + LH \rightarrow L\cdot + LOOH$
4. $LOOH + Fe^{2+} \rightarrow LO\cdot + Fe^{3+}$
5. $LOO\cdot \rightarrow MDA \text{ y nonanal}$

Donde LH es un lípido insaturado; X, un radical libre; L•, un radical lipoxi; LOO• es un radical peróxido de lípido; LOOH hidropéroxido de lípido; y MDA, malondialdehído.

E TECNOLOGÍAS POSCOSECHA EN LA INDUSTRIA DE MANGO

En general, la calidad final de los frutos se puede mantener mediante el empleo de distintas tecnologías poscosecha, pero en todo caso siempre vendrá condicionada por la calidad inicial del fruto, siendo el grado de madurez en el momento de la recolección, uno de los factores que influye de manera decisiva en la calidad y conservación de la fruta. Los tratamientos poscosecha más utilizados en la industria de mangos son la aplicación de ceras comerciales, la refrigeración, la aplicación de tratamientos cuarentenarios y tratamientos térmicos cuando estos son exigidos por los países importadores. También existen otras tecnologías como el uso de atmósferas insecticidas con alto contenido en CO₂, la aplicación de radiaciones ionizantes, el desarrollo de recubrimientos naturales. (Kader, 2012).

1 Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos son tratamientos físicos no contaminantes que se emplean para conservar la calidad en productos frescos (Itoh, 2003; Akbudak y col., 2007). Se pueden realizar con aplicaciones de agua caliente, vapor caliente o aire caliente forzado a temperaturas por encima de 35 °C.

En combinación con la refrigeración se han aplicado con éxito tratamientos térmicos con el fin de proteger a las frutas del daño por frío y/o reducir alteraciones patológicas. (Schirra y D'Hallewin, 1997).

Los tratamientos con agua caliente (hidrotérmicos, TH) por lo común se aplican durante pocos minutos ya que el agua es un medio de transferencia de calor más eficiente que el aire (Lurie, 1998). Estos tratamientos se aplican previo al almacenamiento a temperaturas bajas y consisten en sumergir los frutos en agua caliente (43-53 °C) durante tiempos cortos (1-15 min) (Fallik, 2004).

En la actualidad este tratamiento se aplica a diferentes frutos como tratamiento cuarentenario o método de desinfestación contra plagas y enfermedades (Jacobi y Gowanlock, 1995). Los Estados Unidos, Japón, Chile y Nueva Zelanda son los

países que exigen el tratamiento hidrotérmico de mangos, como requisito indispensable para permitir la importación de la fruta a sus países (Galán, 1999).

El tratamiento hidrotérmico aprobado para mango, por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de Inspección para las Enfermedades de los Animales y Plantas (APHIS), consiste en la inmersión de frutos en agua a 46.1 °C durante 90 minutos. Sin embargo, puede ser modificado con base a forma y tamaño de la fruta (Avena, 1997) debiendo ser:

- 90 minutos para mangos de forma redonda de 700 a 900 g.
- 75 minutos para mangos de forma redonda menores de 500 g, y en mangos alargados de 375 y 570 g.
- 65 minutos para mangos alargados-aplanados menores o iguales 375 g.

En el caso de mango 'Ataulfo' se aplica la inmersión de 75 min a 46.1 °C, con el objeto de reducir los efectos dañinos del tratamiento hidrotérmico (Avena, 1997).

Li y col. (2013) reportaron que el tratamiento con agua caliente (54 ° C, 4 min) en fruta de papaya tenía un pronunciado efecto en la reducción de la tasa de portadores de *Colletotrichum gloeosporioides* en la cáscara de la fruta, inhibió significativamente la incidencia de antracnosis y pudrición de pedúnculo, redujo el índice de madurez, retrasó el ablandamiento de la fruta, pero promovió ligeramente la velocidad de coloración de la fruta.

Shadmani y col. (2015) investigaron el efecto de la aplicación de doble tratamiento con agua caliente (42 ° C durante 30 min y 49 ° C durante 20 min) con dos temperaturas de almacenamiento (6 y 12 ° C, 85-90% HR) y la duración de almacenamiento (0-3 semanas) sobre la incidencia de daño por frío en la pulpa y la actividad de enzimas antioxidantes (Catalasa, Ascorbato Peroxidasa, Superóxido Dismutasa). Estos autores observaron que la incidencia se redujo en la fruta tratada, especialmente en frutos almacenados a 6 °C, que fue acompañada por un aumento de la actividad de la Ascorbato Peroxidasa. Por lo tanto concluyeron, que inmersiones en agua caliente seguida de baja temperatura de almacenamiento

podrían prolongar el período de conservación y reducir la incidencia de DF de papaya.

Hong y col. (2007) investigaron el uso posible de tratamiento de agua caliente (TH) como un método ambientalmente benigno para mantener las características de calidad durante el almacenamiento poscosecha de mandarina. Utilizaron tratamientos por inmersión en agua caliente a 52 ° C durante 2 min, 55 ° C durante 1 min y 60 ° C durante 20 s, y luego almacenamiento a 5 ° C durante 3 semanas, obteniendo como resultados una reducción de pudrición y mantuvo la calidad poscosecha durante el almacenamiento y la comercialización de la fruta.

Safizadeh et al. (2007) reportaron que el tratamiento de agua caliente (53 ° C durante 3 min) con CaCl₂ en la fruta de limón sometida a daño por frío, observando un aumentando de las actividades de CAT y SOD y una disminuyendo la actividad de Peroxidasas, lo que llevó al mantenimiento de la integridad de la membrana reflejada por un contenido de MDA reducida.

Bassal y El-Hamahmy (2011) reportaron que el tratamiento de agua caliente (41 ° C durante 20 min) sometido a DF en naranjas, tuvo una mejora de las actividades de CAT y contenido de fenólicos totales. Lo cual se lo atribuyeron a la reducción de la actividad del ácido ascórbico oxidasa (AAO).

III. JUSTIFICACIÓN

El mango es un producto hortofrutícola de gran importancia económica para México ya que ocupa el séptimo lugar en producción a nivel mundial, mientras que el estado de Sinaloa ocupa uno de los primeros tres lugares a nivel nacional. El almacenamiento y la distribución poscosecha del mango involucran el uso de temperaturas bajas, desafortunadamente este producto es susceptible al DF por lo que su vida de comercio se ve limitada al no poder utilizar temperaturas inferiores a 13 °C. Como parte de las estrategias propuestas para aminorar las pérdidas debido al DF, se ha optado por la aplicación de tratamientos hidrotérmicos previo al almacenamiento en frío. Estos tratamientos han sido efectivos en la reducción de los síntomas de este desorden fisiológico al conferirle al fruto una mayor tolerancia a las temperaturas bajas. Aunque no se conocen con precisión las causas por las que se manifiesta el DF, recientemente se han relacionado los síntomas de este desorden con el incremento del estrés oxidativo. Sin embargo, existen muy pocos estudios en frutos sensibles en los cuales se haya probado una aplicación secuencial de dos tratamientos hidrotérmicos para ver el efecto que pudieran generar sobre la actividad de enzimas antioxidantes. Por esta razón y en la idea de aportar información que ayude en el entendimiento del DF es que resulta interesante estudiar la evolución de la actividad de las enzimas antioxidantes de frutos de mango, que recibieron una aplicación secuencial de dos tratamientos hidrotérmicos, durante su almacenamiento a temperaturas de DF (5 °C); así como conocer el efecto sobre los parámetros de calidad del producto e índices fisiológicos que están relacionados con este desorden.

V. OBJETIVOS

A Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de dos tratamientos hidrotérmicos sobre la inducción de tolerancia al daño por frío, la calidad poscosecha y el sistema antioxidante en frutos de mango almacenados a temperaturas bajas.

B Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de dos tratamientos hidrotérmicos continuos sobre la inducción de tolerancia al daño por frío en frutos de mango.
2. Evaluar parámetros de calidad (color, firmeza, pH, acidez titulable, SST y Pérdida de peso) durante la maduración de frutos de mango sometidos a dos tratamientos hidrotérmicos continuos y almacenados a temperatura de daño por frío.
3. Determinar la relación de los índices fisiológicos (lixiviación de electrolitos, contenido de MDA) y el contenido de ácido ascórbico con la tolerancia inducida al daño por frío en frutos de mango sometidos a dos tratamientos hidrotérmicos continuos.
4. Determinar la relación de la actividad de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, APX) con la tolerancia al daño por frío en frutos de mango sometidos a dos tratamientos hidrotérmicos.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

A MATERIALES

1 Obtención de frutos

Los experimentos se realizaron utilizando mangos variedad Tommy Atkins adquiridos en una huerta local. Los mangos fueron seleccionados tomando en cuenta parámetros de madurez (color observado y textura al tacto). Se verificó que las piezas estuvieran libres de defectos y daños, golpes y heridas. Los mangos fueron transportados al laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

2 Diseño experimental

Los frutos fueron seleccionados, lavados y desinfectados. Se realizó una selección y clasificación, se asignaron al azar a 4 lotes con igual número de unidades. Después recibieron los distintos tratamientos hidrotérmicos empleando un baño de acero inoxidable modelo Winchester (Water Bath Precision, EUA) siguiendo la metodología de Shadmani y col. (2015) con algunas modificaciones. Así, los tratamientos a aplicar quedaron de la siguiente manera:

T1. Control

T2. TH1 (46.1 °C, 75-90 min)

T3. TH2 (55 °C, 5 min)

T4. TH1+TH2 (46.1 °C, 75-90 min + 55 °C, 5 min)

Una vez aplicados los TH, los frutos fueron enfriados en agua a 25 °C y escurridos en toallas de papel, para luego ser almacenados a temperatura sana (13°C) o de DF

(5 °C) durante 30 días. De este almacenamiento se hicieron retiros cada 15 días para transferir la fruta a temperatura de maduración (21 °C) donde se mantuvieron por 8 días para la manifestación de síntomas. La humedad relativa se mantuvo entre 85 y 90%, empleando charolas con agua y rociadores. Los análisis de este segundo almacenamiento se realizaron cada 4 días.

Los tratamientos hidrotérmicos continuos se aplicaron de la siguiente manera, primero los frutos se sometieron a una primera inmersión a temperatura de 46.1 °C durante 75-90 minutos (dependiendo del peso de la fruta) e inmediatamente después se sumergieron a una segunda temperatura de 55 °C durante 5 minutos. Posteriormente fueron enfriados en agua a temperatura de 25 °C.

B Métodos

1 Parámetros de calidad

Las evaluaciones de calidad se realizaron empleando 3 frutos por tratamiento y al menos tres repeticiones para cada fruto.

a Color

Se determinaron los valores *L (luminosidad), a* (rojo-verde), y ángulo Hue, en tres puntos equidistantes de la región ecuatorial de cada fruto utilizando un colorímetro CR 200 (Minolta, Japón) de acuerdo a lo reportados por Torres y col. (2013).

b Firmeza

La firmeza de la pulpa se determinó de acuerdo a lo reportado por López- López y col. (2013). Para ello se obtuvieron ambos cachetes de cada fruta los cuales fueron colocados sin el pericarpio en la base de un penetrómetro digital Chatillon E-DFE-100 (Ametek, EUA), adaptado con una punta plana de 11 mm de diámetro tocando ligeramente la superficie del fruto. La punta se introdujo en el tejido a una

profundidad de 5 mm y a una velocidad constante de 50 mm min⁻¹. La firmeza fue reportada como la fuerza de compresión máxima en Newtons (N).

c Sólidos solubles totales

Se determinó el contenido de sólidos solubles totales (SST) de acuerdo a la metodología de la AOAC (2012). Se colocó una gota de la muestra exprimida de la pulpa de mango en un refractómetro manual tipo Fisher. El contenido de sólidos totales (SST) fueron reportados como porcentaje de azúcar (° Brix)

d pH

Se determinó de acuerdo a la AOAC (2012), En un vaso de precipitado se homogenizaron 10 g de muestra con 100 mL de agua destilada neutra, posteriormente se realizó la inmersión directa del electrodo de vidrio de un potenciómetro Orion Star A111 (Thermo Electron Corporation, EUA) para obtener el valor. Los resultados se expresaron como concentración de iones de hidrogeno.

e Acidez titulable

Se determinó de acuerdo a la AOAC (2012). De la mezcla anterior se tomó una alícuota de 20 mL y se tituló con hidróxido de sodio 0.1 M hasta alcanzar un pH de 8.1 ± 0.1 . La acidez fue reportada como porcentaje de ácido cítrico.

f Pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Henríquez y col (2005). La determinación de pérdida de peso se realizó utilizando 10 frutos por cada tratamiento, registrándose el peso cada 3 días con el empleo de una balanza Sartorius modelo TE 4101 (Goettingen, Alemania). Los valores se expresaron como porcentaje de pérdida de peso en base al peso inicial del fruto, según la siguiente ecuación:

$$\%PP = \frac{P_{Inicial} - P}{P_{Inicial}} \times 100\%$$

Dónde:

%PP: Porcentaje de pérdida de peso

P_{inicial}: Peso inicial del fruto

P: Peso del fruto en el día de la evaluación

g Índices fisiológicos

1 Índice de daño por frío (IDF)

Se determinó de acuerdo a lo reportado por Vega-García y col. (2010) con algunas modificaciones. Los criterios que se utilizaron para evaluar los síntomas en cáscara fueron los siguientes: A = Oscurecimiento de lenticelas, B = Picadura de la cáscara, C = Escaldado, D = Maduración irregular y E = presencia de pudriciones. Se utilizó una escala hedónica que refleja el nivel de daño, en porcentaje, de cada fruto para cada criterio (0 = ausencia de daño; 1 = 1-25%; 2 = 26-50 %; 3 = 51-75 %; 4 = > 76 %) y el índice de daño por frío se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$IDF = \frac{NDA + NDB + NDC + NDD + NDE}{5}$$

Donde IDF es el índice de daño por frío y ND es el nivel de daño para cada uno de los síntomas.

2 Lixiviación de electrolitos

La evaluación de lixiviación se realizó siguiendo la metodología reportada por Malacrida y col. (2006). Se tomaron cilindros frescos de tejido de 5 mm. Estos se lavaron completamente con agua desionizada, se cubrieron con 25 mL 0.4 M de manitol y se incubaron a 25°C por 2 h. Se midió la conductividad de la solución de

suspensión a 25 °C con un conductímetro justo al concluir la incubación y después de ser sometida a una autoclave a 120 ° C en una autoclave, esto para liberar todos los electrolitos. La lixiviación se expresó como un porcentaje del total de electrolitos utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Lixiviación} = \frac{\text{Lixiviación inicial}}{\text{Lixiviación final}} \times 100$$

3 Contenido de Malondealdehído (MDA)

Para la cuantificación del contenido de MDA (peroxidación de lípidos), se siguió la técnica descrita por Hodges y col (1999). Se homogenizó 1 g de tejido congelado en una mezcla etanol:agua 80:20 (v:v). Después se centrifugo a 3000 x g durante 10 min. A continuación se tomó una alícuota de 1 mL de muestra apropiadamente diluida y se añadió en un tubo de ensayo junto con 1 mL de solución ya sea (i) –TBA, compuesta de 20 % (w/v) ácido tricloroacético y 0.01 % (hidroxitolueno butilado), o (ii) +TBA, que contiene todo lo anterior más 0.65% de ácido tiobarbitúrico. Después las muestras se agitaron vigorosamente, calentadas a 95 °C por 25 min, enfriadas y centrifugadas a 3000 x g durante 10 min. Se leyó las absorbancias a 440, 532 y 600 nm. Los equivalentes de MDA fueron calculados de la siguiente manera:

$$1) A = [(Abs\ 532_{+TBA}) - (Abs\ 600_{+TBA})] / [(Abs\ 532_{-TBA}) - (Abs\ 600_{-TBA})]$$

$$2) B = [(Abs\ 440_{+TBA}) - (Abs\ 600_{+TBA})] \times 0.0571$$

$$3) \text{Equivalentes de MDA (nmol} \cdot \text{mL}^{-1}) = (A - B) / 157,000 \times 10^6$$

j Actividad de enzimas antioxidantes

1 Superóxido dismutasa (SOD)

La actividad de SOD se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Wu y col (2008) con algunas modificaciones, la cual se basa en la capacidad que presenta esta enzima para inhibir la reducción química del NBT (azul de nitrotetrazolio)

inducida por la luz. Se tomó 1 g de muestra congelada y se homogenizó junto con 2 mL de buffer de fosfato de potasio 50 mM (pH 7.5) que contenía EDTA 1 mM y 2 % de PVP. El homogenizado se centrifugó a 12,000 x g durante 15 minutos a 4 °C en una centrifuga para microtubos (Labnet Inc. Modelo: Prism R, EUA). Se recuperó el sobrenadante, al cual se le denominó extracto proteico y que se utilizó para determinar la actividad de SOD. La mezcla de ensayo (1mL) contenía un buffer de fosfato de sodio 0.1 M (pH 7.8), L-Metionina 0.01 M, 0.025 % de Triton X-100, EDTA 0.11 mM, NBT 57 µM y el extracto proteico. La reacción de reducción del NBT inició simultáneamente al adicionar riboflavina 1.3 µM y al exponer las placas de ELISA que contenían la mezcla bajo un haz de luz blanca (26 W) durante 10 min. La actividad de la enzima se determinó a 550 nm en un espectrofotómetro de microplaca de 96 pozos. Una unidad de actividad de SOD fue definida como la cantidad de enzima para inhibir en un 50 % la reducción química del NBT inducida por la luz.

2 Catalasa (CAT)

La actividad de CAT fue evaluada siguiendo la cinética de consumo del H₂O₂ a 240 nm, durante 3 min a 25 °C, de acuerdo al método establecido por Aebi (1984) con algunas modificaciones. Se tomaron 2 g de muestra y se homogenizaron con 5 mL de buffer de fosfato de potasio 50 mM (pH 7.8) que contenía EDTA 0.5 mM 1 % PVPP. El homogenizado fue sometido a centrifugación a 12,000 x g (Labnet Inc. Modelo: Prism R) a 4 °C durante 20 min. El sobrenadante recuperado fue usado para evaluar la actividad CAT. La mezcla de reacción (volumen total de 0.5 mL) contenía buffer de fosfatos 50 mM (pH 7.0), H₂O₂ 50 mM y 50 µL del extracto enzimático. La actividad de CAT fue calculada en base al coeficiente de extinción molar (ε) de H₂O₂ de 28 mM⁻¹ cm⁻¹ y reportada como milimoles de H₂O₂ reducido min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

3 Ascorbato peroxidasa (APX)

La actividad de APX se determinó evaluando los cambios de absorbancia a 290

nm durante 3 min a 25 °C, de acuerdo con Malacrida y col. (2006). Se homogenizaron 2 g de muestra congelada con 5 mL de buffer de fosfato de potasio 50 mM (pH 7.8), que contenía ácido L-ascórbico 5 mM, EDTA 1 mM y 2 % PVPP. El homogenizado se centrifugó a 12,000 x g (Labnet Inc. Modelo: Prism R) durante 20 min a 4 °C y el sobrenadante recuperado se usó para evaluar la actividad de APX. La mezcla de ensayo (volumen total 0.5 mL) contenía buffer de fosfato de potasio 50 mM (pH 7.0), ácido L-ascórbico 5 mM, H₂O₂ 0.1 M y 50 µL del extracto enzimático. La actividad de APX se calculó en base al coeficiente de extinción molar del ascorbato ($\epsilon = 2.8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) y se reportó como milimoles de ascorbato oxidado min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A Parámetros de calidad

1 Color

a Luminosidad (L)

Uno de los parámetros para describir los cambios de coloración es la luminosidad (L) de la escala CIE LAB, el cual va desde 0 (oscuro, negro) a 100 (brillante, blanco), por esta razón puede representar numéricamente los cambios de color asociados al proceso de maduración del mango.

Los valores de L se muestran en las **figuras 2A y 2B**. El valor promedio del día inicial fue de 38.49, mostrándose en los cuatro tratamientos una disminución gradual durante los días de almacenamiento y periodo de maduración (21°C) a 5 y 13°C.

En la **figura 2B** los frutos almacenados a 5°C con sus respectivos tratamientos utilizados no fueron estadísticamente diferente ($p > 0.05$), se presentó una disminución constante durante los 30 días de almacenamiento, solamente en el día 15 se presentó diferencia significativa ($p > 0.05$) en el control respecto al día 0 con un valor de 36.61. Al transferir los frutos a temperatura de maduración de 21°C también se presentó diferencia significativa respecto al día 0, pero no entre los tratamientos, tanto los tratamientos TH1, TH2 y TH+TH2 se mantuvieron con una disminución constante sin presentar diferencias significativas ($p > 0.05$). Se puede apreciar que los tratamientos TH2 y TH1+TH2 fueron los que mantuvieron la menor pérdida de luminosidad con valores de 36.1 y 36; sin embargo no mostró diferencia significativa ($p > 0.05$). Estos datos parecen indicar que fue disminuyendo el brillo volviendo la fruta más opaca, efecto de la maduración y a la vez se pueden ver relacionados con el IDF y %PP, ya que como se puede observar en los valores de estos parámetros, nos indica que a medida que aumenta la pérdida de peso (pérdida de agua), disminuye el brillo proporcionado por esta, también entre más alto sea el IDF, por lo tanto mayores síntomas presentes, estos causan un cambio de color en el fruto volviéndolo más

oscuro. La disminución del parámetro L puede ser un indicador de oscurecimiento en frutos de mango (Dea y col., 2010), estos investigadores realizaron un estudio en frutos de mango cortados en fresco, con TH almacenados a 5°C donde observaron una disminución en el valor L, lo cual indico un oscurecimiento en la superficie, datos que concuerdan con nuestros resultados.

En la **figura 2A** se observó que a partir del día 15 se presentó un ligero aumento en los tratamientos control y TH1, sin embargo los tratamientos TH2 y TH1+TH2 permanecieron prácticamente constante. Al día 30 se observó una disminución para todos los tratamientos con excepción de la combinación TH1+TH2 el cual presento un incremento en dicho valor, sin presentar diferencia significativa ($p>0.05$) ningún tratamiento, Una vez transferidos a la temperatura de maduración 21°C, los 4 tratamientos presentaron una disminución en sus respectivos valores, los tratamientos Control y TH2 fueron los que presentaron una mayor disminución de L que el resto de los tratamientos con valores de 33.82 y 34.04, seguido por el tratamiento TH1+TH2 con un valor de 34.3, y el tratamiento que obtuvo el valor más alto fue el TH1 con un valor de 34.64.

Diversos autores como Salman y col. (2007) y Djioua y col. (2009) reportaron una disminución para todas la diferentes condiciones excepto para el TH a 50°C el cual se mantuvo, con un valor menor de oscurecimiento, estos investigadores sugirieron este tratamiento como alternativa para mantener el color. Otros investigadores como Lu y col. (2010) vieron que en frutos de tomate almacenados a 14 y 20°C utilizando aire caliente, había una disminución en el valor de L, dichos resultados coinciden con el presente estudio.

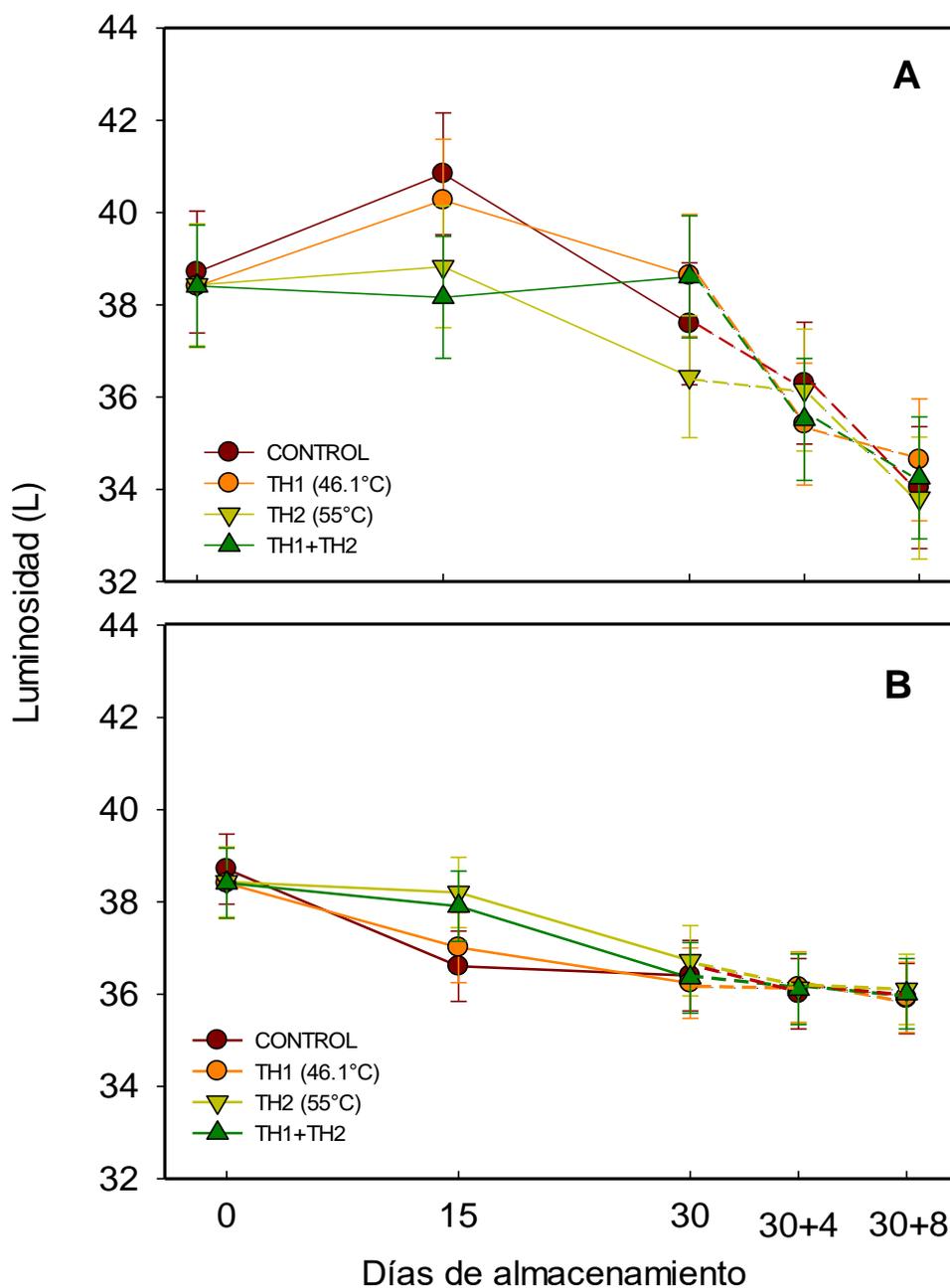


Figura 2. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre Luminosidad en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD= 2.64(A) y LSD= 1.53(B) con $\alpha=0.05$.

b Parámetro a*

En la escala CIE LAB, el parámetro a* va desde valores desde -60 hasta +60, con cifras negativas para tonos verdes y positivas para tonos rojos, por lo que es un buen parámetro para describir el cambio de coloración durante el proceso de maduración del fruto de mango variedad Tommy Atkins. Estos cambios en el valor a* se muestran en la **figura 3**.

Al inicio del almacenamiento el parámetro a* presentó un valor promedio de 20.31 y el cual fue aumentando conforme el periodo de almacenamiento para todos los tratamientos sin presentar diferencia significativa ($p > 0.05$). En la **figura 3B** la cual es sobre frutos almacenados a 5°C se presentó un incremento de dicho parámetro durante todos los días de almacenamiento sin llegar a observarse diferencia significativa ($p > 0.05$), siendo el tratamiento control el que presentó el valor más alto. Al transferir los frutos a temperatura de maduración (21°C) los valores siguieron aumentando para todos los tratamientos, de igual forma no se presentó diferencia significativa ($p > 0.05$), lo cual nos indica que a medida que iba aumentando dichos valores el color fue cambiando a rojo, provocando una degradación de clorofila y a su vez incrementando la síntesis de carotenoides.. Por su parte, Díaz-Pérez y col (2001) reportaron que la aplicación de TH en de mamey observaron un aumento en los valores obtenidos, haciendo que los frutos maduraran más rápido, este resultado concuerda con lo obtenido en este estudio ya que en todos los tratamientos se observó un aumento en el valor a*. Un comportamiento similar fue reportado por Vega-Espinoza (2010) al aplicar TH en tomate cv. Imperial ya que en sus resultados se observó un incremento en el valor a* en los frutos tratados con TH, que indicaba un color rojo más intenso.

En los frutos almacenados a 13°C (**figura 3A**) para el día 15 se presentó tal aumento en todos los tratamientos que hubo diferencia significativa en comparación con el día inicial, El proceso de maduración mostró efecto significativo ($p > 0.05$) durante este día, observándose que la coloración verde se pierde al avanzar los días de almacenamiento. La maduración de la fruta va

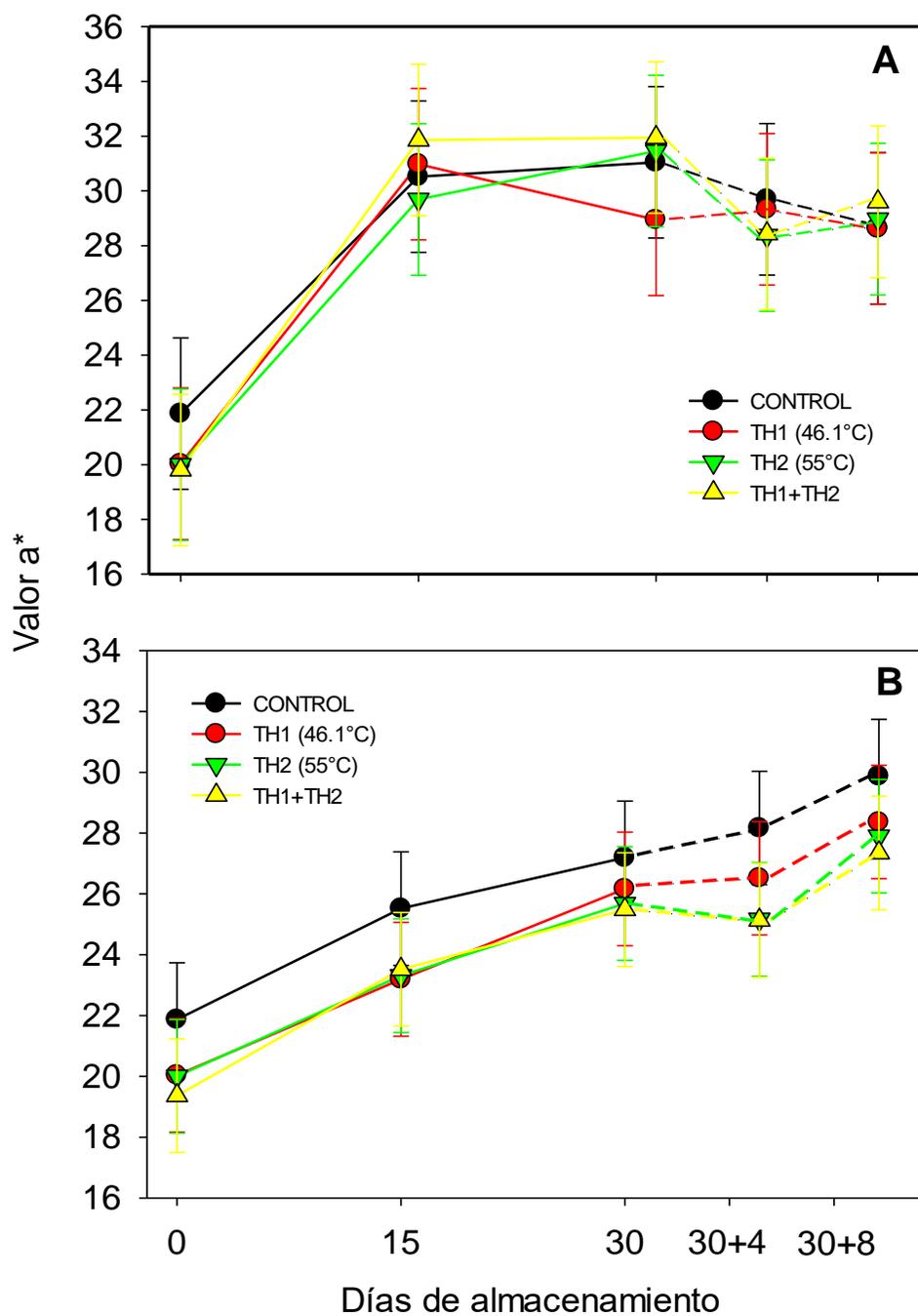


Figura 3. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el valor a* en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD= 5.53(A) y LSD= 3.74(B) con $\alpha=0.05$.

acompañada de un cambio en el color, la clorofila es degradada y se evidencia la presencia de otros pigmentos como antocianinas y los carotenoides (carotenos y xantofilas). El contenido de carotenoides se incrementa con la maduración (Tharanathan y col., 2006). A partir del día 30 los valores se mantuvieron constantes no volviéndose a presentar diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos ni en los días de almacenamiento aun cuando estos fueron trasladados a temperatura de maduración.

c Ángulo Hue (°H)

Otro parámetro favorable para describir los cambios de coloración es el ángulo Hue (°H) de la escala CIE LAB, el cual va desde cero (rojo) a 180 (verde) cruzando por el 90 (amarillo), por esta razón puede representar numéricamente los cambios de color asociados al proceso de maduración del mango; así los valores más bajos de °Hue, indicarían un mayor avance hacia el rojo.

Los valores de °H se muestran en la **figura 4**. El valor promedio del día inicial fue de 24.32 y en los cuatro tratamientos hubo una disminución progresiva durante los días de almacenamiento a 5 y 13°C, como era de esperarse a consecuencia de los cambios de color, producto del proceso de maduración. En la **figura 4B** los diferentes tratamientos utilizados no fueron estadísticamente diferente ($p>0.05$), solo se presentó una disminución constante, donde al día 15 fue donde se obtuvo la mayor disminución en el tratamiento TH1+TH2 con un valor de 20.40 que, comparado con el valor de 20.95 del Control, indicaba que en el TH1+TH2 hubo un mayor avance hacia el color rojo. Al mismo tiempo, el tratamiento TH1 presentó valores altos de °H para este mismo día sin presentar cambios significativos ($p>0.05$) a través de los días de almacenamiento a 5 °C. Estos datos parecen indicar que este tratamiento hizo más lenta la transición del color verde a rojo. A partir del día 30 fue donde se presentó la mayor disminución para todos los tratamientos, nuevamente sin presentar diferencia significativa entre ellos. Una vez que los frutos fueron transferidos al periodo de maduración de 8 días a 21 °C, los

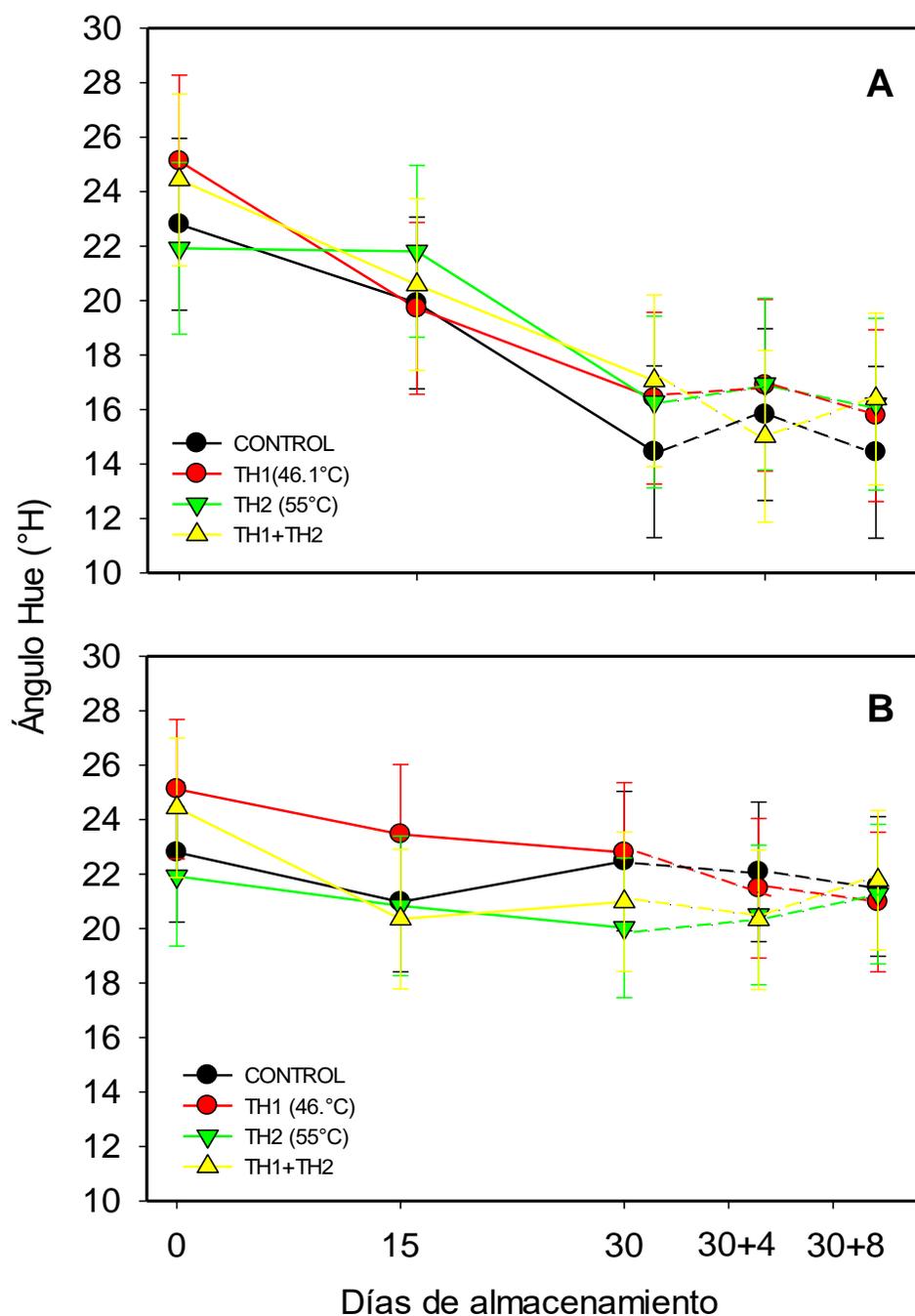


Figura 4. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el ángulo Hue ($^{\circ}$ Hue) en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican $LSD= 6.31(A)$ y $LSD= 1.53(B)$ con $\alpha=0.05$.

valores de °H permanecieron constantes. Donde se puede apreciar que el tratamiento TH1+TH2 fue el que tuvo la menor disminución con un valor de 21.78; sin embargo no mostró diferencia significativa ($p>0.05$) con respecto a los demás tratamientos, lo cual indicó que todos los tratamientos tuvieron un avance en el desarrollo del color rojo, al mismo tiempo que presentaron tonos de color más verdes. En el caso de TH1 fue el tratamiento que logró obtener un mayor avance hacia el color rojo, presentando el valor más bajo de °H de 20.98.

En cambio, en la **figura 4A** a partir del día 30 de almacenamiento a 13°C, fue donde se presentó la mayor disminución en todos los frutos con un valor promedio de 16.05 sin presentar diferencia significativa entre ellos. Una vez transferidos los frutos a la temperatura de maduración 21°C, el tratamiento Control fue el que obtuvo una disminución de °Hue más marcada que el resto de los tratamientos con un valor de 14.45, seguido por el tratamiento TH1 con un valor de 16.41, el tratamiento que obtuvo el valor más alto fue el TH1+TH2 con un valor de 17.05. El proceso de maduración de los frutos puede ser evidenciado por el cambio de color verde a rojo-amarillo debido a la rápida degradación de la clorofila y al aumento en la biosíntesis de carotenoides, principalmente β -caroteno y a antocianinas (Luna y col. 2006). Kim y col. (2007) indicaron que la aplicación de tratamientos con agua caliente y atmosferas controladas almacenados a 10°C resultaba en una coloración roja más uniforme, y una mayor concentración de carotenoides, aun sin embargo no reportaron en dicha disminución diferencias significativas, estos resultados obtenidos por estos autores coinciden con los obtenidos de este trabajo.

Diversos autores como Dea y col. (2010) reportaron una disminución en los valores de °H en frutos de mango cortados en fresco, almacenados a 5°C, ellos atribuyeron este comportamiento a que el uso de un TH provoco un aumento en la respiración por lo tanto acelero la maduración. Así mismo, Yahia y col (2007), al almacenar tomates a 4 y 20 °C, los valores de °H disminuyeron de forma más rápida en los frutos almacenados a 20 °C, lo cual se lo atribuyeron al incremento de las velocidades de maduración ocasionadas por las altas temperaturas; dicho

comportamiento mismo comportamiento coincide con el del presente estudio en los frutos de mango almacenados a 13°C.

2 Firmeza

En la **figura 5** se muestran los valores de firmeza obtenidos a lo largo del almacenamiento a 5 y 13 °C. El valor promedio de firmeza para el día 0 fue de 128.45 N, observándose que los valores de este parámetro disminuyeron de manera progresiva y que tanto el tiempo como el tratamiento tuvieron un efecto significativo sobre la firmeza del fruto, atribuible al periodo de maduración.

Después de 30 días de almacenamiento a 5 °C (**figura 5B**) los frutos tratados con TH1 presentaron la mayor disminución de firmeza alcanzando un valor de 90.26 N, en tanto que el Control disminuyó hasta un valor de 96.85 N. Por otra parte, en el mismo periodo de almacenamiento los valores de firmeza del tratamiento TH2 mostraron valores superiores con respecto al Control con un valor de 100.87 N, sin embargo, el tratamiento TH1+TH2 fue el que presentó una menor pérdida de firmeza a lo largo del almacenamiento a 5 °C, alcanzando al día 30 un valor de 105.23 N, que fue superior al valor de firmeza del control (96.85 N).

Al transferir los frutos a un periodo de maduración de 8 días a 21 °C no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre el Control y el TH1, lo que indica que no hubo un efecto negativo en la pérdida de firmeza del fruto como consecuencia de la aplicación de TH. Algunos autores como Ummarat y col. (2011), reportaron que al aplicar tratamientos con agua caliente en frutos de plátanos encontraron que favorecían una mayor retención de firmeza después de almacenar los frutos a bajas temperaturas. Por otra parte, Liu y col. (2015) reportaron que el TH mediante calentamiento intermitente ayudo a mantener la firmeza en frutos de pimiento almacenados a 4°C durante 6 y 13 días, así obteniendo el mejor éxito de almacenamiento en dichos frutos a largo plazo.

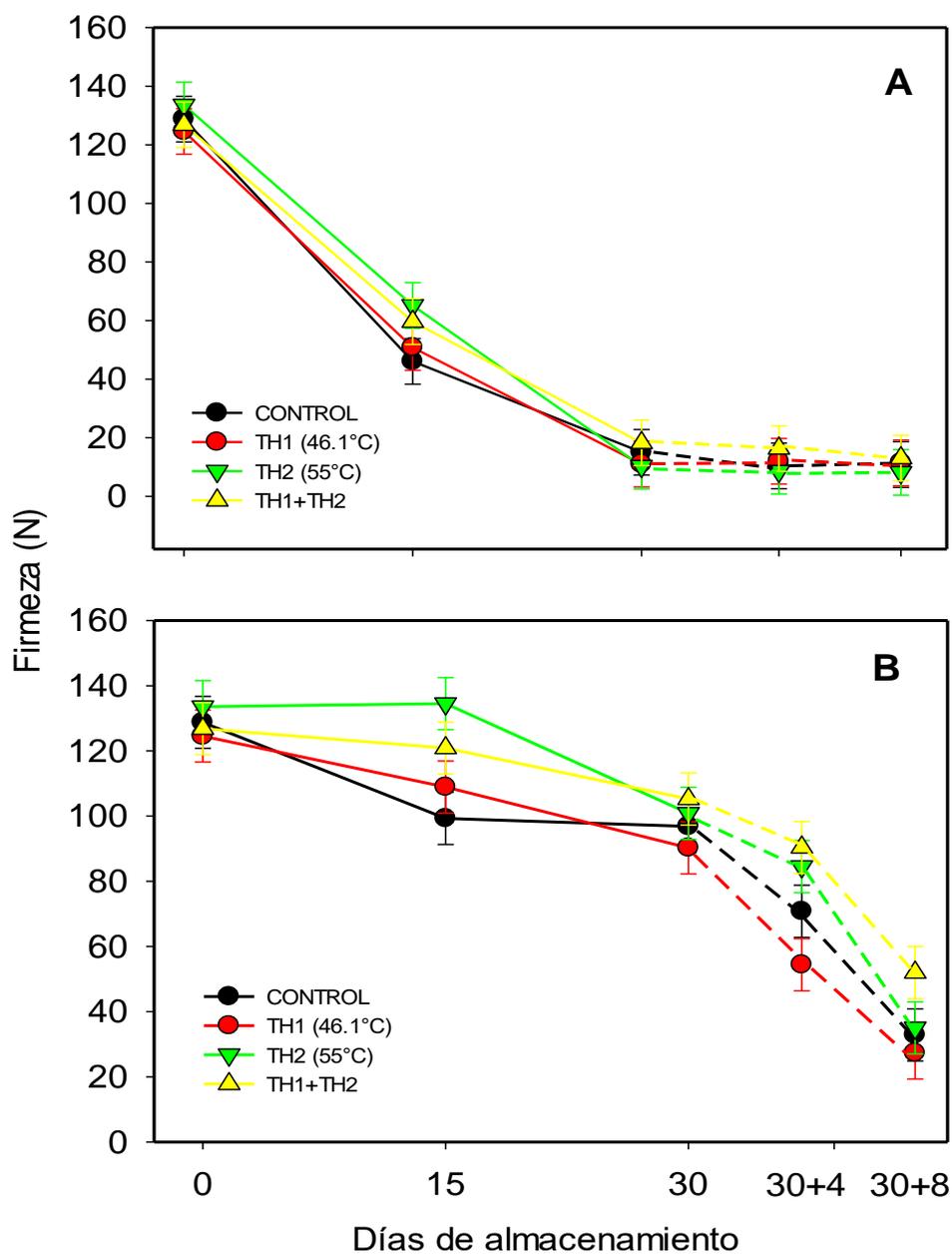


Figura 5. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre firmeza en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD= 15.55(A) y LSD= 15.98 (B) con $\alpha=0.05$.

El comportamiento observado en los frutos almacenados a 5 °C, presentaron valores de firmeza altos, la cual puede atribuirse a que la menor temperatura de refrigeración produce una disminución en la velocidad de maduración, y conforme este tiempo de exposición se va prolongando, aparecen zonas de mayor rigidez que, en ocasiones, no maduran adecuadamente lo cual podría considerarse como un síntoma de DF denominado maduración irregular. Aunque la retención de firmeza en frutos tratados con TH1+TH2 fue solo ligera y los resultados obtenidos no permitieron encontrar diferencias significativas, los valores más elevados de este parámetro se pueden atribuir al hecho de que los frutos tratados adquirieron cierta tolerancia al DF brindada por la aplicación de la combinación TH1+TH2. Así mismo, esto se evidenció en los valores de IDF obteniendo este tratamiento los valores más bajos, (**figura 10 y 11**).

Sin embargo, Dea y col. (2009) reportaron que el almacenamiento a bajas temperaturas en frutos de mango ayudo a mantener una mayor firmeza, a lo cual ellos supusieron que fue la respuesta primaria a temperaturas de refrigeración, la cual implica una disminución en la respiración, a su vez una disminución en la fluidez de las membranas celulares, y el daño a las proteínas de membrana críticos lo que aumenta la rigidez de la membrana.

La firmeza de los frutos disminuyó progresivamente a través de los días de almacenamiento, siendo significativamente ($p \leq 0.05$) mayor esta disminución en los frutos almacenados a 13 °C comparados con los frutos almacenados a 5°C (**figura 5A**).

La firmeza se puede ver influenciada por la aplicación de tratamientos térmicos desde el día inicial, sin embargo en este estudio no fue así, al día 0 los valores promedios de firmeza de los tratamientos fueron de 128.45 N, respectivamente, sin presentar diferencia significativa entre ellos. En el día 15 se presentó una disminución en los valores para todos los tratamientos teniendo los tratamientos, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) respecto al día inicial. Al día 30 se

observó la mayor pérdida de firmeza para todos los tratamientos comparado con el día inicial donde los valores variaron entre 18.26 a 11.02 N, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) respecto a este día, sin embargo no presentó diferencia entre los tratamientos. Después de transferirse los frutos al periodo de maduración a una temperatura de 21 °C, se mostró la misma tendencia presentándose los valores prácticamente constantes, donde al término de 8 días de este periodo, todos los tratamientos disminuyeron su firmeza hasta valores de 13.06 y 8.2 N, respectivamente, sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos, presentando la fruta una deterioración en la calidad para su consumo. A lo largo de todo el almacenamiento se observó en ambas temperaturas que la combinación TH1+TH2 logró una mayor tendencia de retención de la firmeza, sin embargo, no fue posible encontrar diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los demás tratamientos.

La pérdida de firmeza de los frutos puede ser atribuida, principalmente, a la depolimerización y solubilización de poliuronidos en la lámina media de las paredes celulares, conduciendo a la pérdida progresiva de la cohesión célula-célula. A su vez la conversión de moléculas orgánicas provocando un aumento en el proceso de maduración, el cual provoca una aceleración en la respiración y transpiración del fruto.

En estudios previos, se ha reportado que la aplicación de tratamientos térmicos incrementa de manera sustancial la retención de firmeza en diversos frutos sometidos a temperaturas de DF. Ghasemnezhad y col. (2008) al aplicar TH en mandarina cv. Satsuma encontraron que le confería una mayor retención en la firmeza. Por su parte, esta investigación presentó datos similares a lo reportado por Henríquez y col. (2005), los cuales encontraron valores mayores de firmeza en frutos tratados con TH y almacenados a temperaturas de DF, los resultados no fueron significativos.

Dado los resultados encontrados, el TH1+TH2 puede ser efectivo en la disminución de los síntomas de DF manteniendo incluso la firmeza del fruto, aunque los

resultados no permitieron encontrar evidencia de que el efecto fuese significativo. El efecto de mejora en la firmeza, tal vez se deba a que al disminuir la incidencia de síntomas como presencia de áreas sudadas o con pudriciones, los frutos pudieron conservar en mayor medida la firmeza.

3 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales evaluado en frutos de mango Tommy Atkins de los diferentes tratamientos durante su almacenamiento por 30 días a 5°C más 8 días a 21°C se muestra en la **figura 6**.

El contenido inicial promedio de SST fue de 8.99 °Brix (**figura 6B**) y al transcurrir los 30 días a 5 °C se presentó un incremento en todos los tratamientos. En este mismo día los tratamientos control y TH2 presentaron los valores más altos con 11.55 y 11.80 °Brix, seguidos de los tratamientos TH1 con 11.05 y TH1+TH2 con 10.85 °Brix, sin observar diferencias significativas entre ellos, valores que están por debajo de lo obtenido en condiciones normales. Una vez que los frutos fueron almacenados durante 8 días a una temperatura de maduración de 21 °C, se mostró un leve incremento para todos los diferentes tratamientos, no obstante, no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre los tratamientos durante el almacenamiento. Mohammed y col. (2002) reportaron en frutos de mango almacenados a 5°C, un incremento parcialmente constante en el contenido de SST, lo cual se lo atribuyeron al almacenamiento a temperaturas bajas, la cual provocó una respiración lenta, por lo tanto una baja producción de azúcares, y a su vez un lento proceso de maduración.

Los SST de los frutos aumentó progresivamente a través de los días de almacenamiento en los frutos almacenados a 13 °C (**figura 6A**). Al día 15 los valores de SST presentaron un incremento tal que se observó diferencia

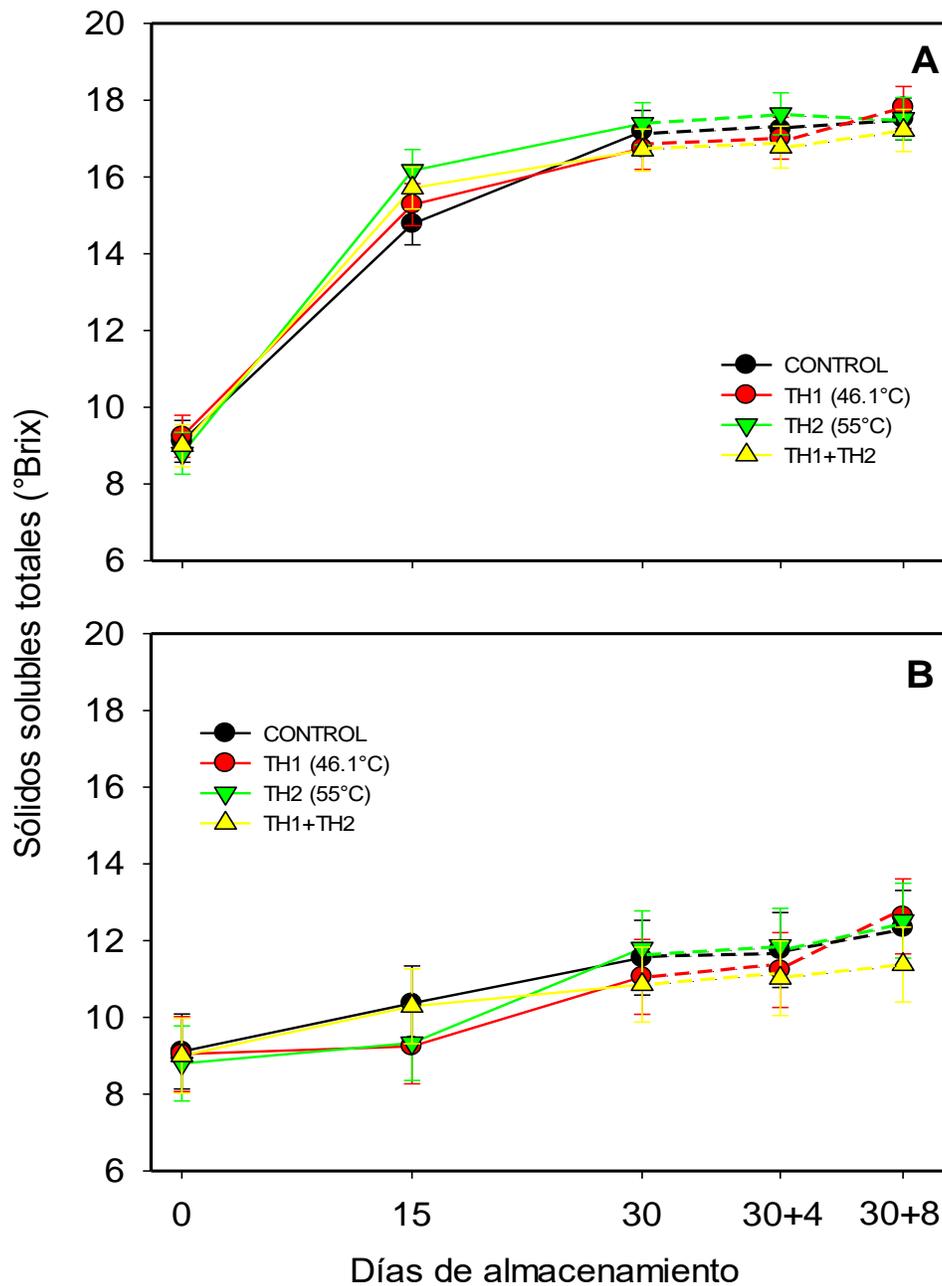


Figura 6. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre sólidos solubles totales en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=1.09(A) y LSD=1.95(B) con $\alpha=0.05$.

significativa ($p \leq 0.05$) con el día inicial sin embargo no se presentó diferencia entre tratamientos. En el día 30 de almacenamiento a 13 °C los SST de los tratamientos vario entre 16.4 a 17.7 ° Brix, no encontrándose diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos. Después de transferirse los frutos de ambos tratamientos al periodo de maduración a una temperatura de 21 °C, se mostró la misma tendencia, donde al término de 8 días de este periodo, todos los tratamientos tuvieron un leve aumento hasta valores de 17.2 y 17.8 °Brix, respectivamente, obteniendo una maduración normal.

El comportamiento observado en los frutos almacenados a 13 °C, mostraron valores de SST más altos que los correspondientes a los frutos de 5 °C, esto puede atribuirse a que la mayor temperatura de refrigeración produce un aumento en la velocidad de respiración, y conforme este tiempo de exposición se va prolongando, aparecen zonas con ablandamiento (Eskin y col., 2013).

Diversos autores como Hu y col. (2014), Ibarra y col. (2015), Nascimento y col. (2016) en frutos de mango, reportaron un incremento en el contenido de SST de diferentes variedades el cual se lo atribuyeron a la conversión del almidón a azúcares simples que se utilizan como sustratos durante maduración; dicho comportamiento se observó en el presente estudio. Así mismo, Morais y col. (2003) almacenaron mangos a 13°C observando que el contenido de SST presentó una progresiva evolución durante el almacenamiento. Cuando ellos trasladaron los frutos a temperatura ambiente, la evolución del contenido de SST no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), indicando que las reservas de almidón utilizadas para la conversión en azúcares solubles fueron prácticamente degradadas durante el almacenamiento a 13°C. Resultados que no concuerdan con este trabajo.

4 pH

Los valores obtenidos en los frutos de mango almacenados durante 30 días a 5 °C, seguido de 4 y 8 días a 21 °C se muestran en la **Figura 7**. En la **figura 7B** se puede ver como al día 15, todos los tratamientos incrementaron el pH, siendo el tratamiento

Control y TH1 los que obtuvieron los valores más elevados de 4.02 y 3.98 respectivamente sin presentar diferencia significativa ($p>0.05$). Al día 30 se observó un incremento constante siendo tal incremento el más elevado, presentando los tratamientos TH2 y la combinación TH1+TH2 los valores más bajos de 4.03 y 4.02 respectivamente, sin presentar diferencias significativas ($p>0.05$) entre ellos.

Al retirar los frutos del almacenamiento a 5 °C y pasarlos al periodo de maduración de 8 días a 21 °C se presentó un leve incremento en los valores de pH medidos, esto se debe que hubo un leve decremento en el contenido de ácidos orgánicos causa al cambio de temperatura. Los tratamientos control y el TH1 presentaron los mayores incrementos alcanzando valores de 4.22 y 4.23, respectivamente, pero sin mostrar diferencias significativas ($p>0.05$) entre ellos. Por su parte, el tratamiento TH1+TH2 obtuvo valor más bajo. El aumento del pH puede atribuirse a la degradación de los ácidos orgánicos en diversos procesos bioquímicos que se desarrollan durante el periodo de almacenamiento en frío y de maduración del mango. A este respecto, Dessalegn y col. (2013) y Dea y col. (2010) reportaron un aumento en los valores de pH en frutos de mango durante su maduración, lo cual coincide con este trabajo. Por su parte, Balonch y Bibi (2012) reportaron en frutos de mango almacenados a 20°C durante 21 días un aumento en el contenido de pH, lo cual se lo atribuyeron a la conversión del ácido cítrico a azúcares, lo cual también coincide con este trabajo.

De manera general para todos los tratamientos se observó un aumento estadísticamente significativo ($p>0.05$) en el pH, con respecto al día inicial, sin presentar diferencia significativa entre ellos durante todo el tiempo de almacenamiento. El valor promedio al momento de la cosecha de pH fue de 3.77. El contenido de pH en frutos de mango almacenados a 13°C se muestra en la **figura 7A** donde se observó un leve incremento hasta el día 15 con un valor promedio de 3.99 no encontrándose diferencia significativa entre los tratamientos. Después del día 30 el contenido de este tuvo un aumento en todos los

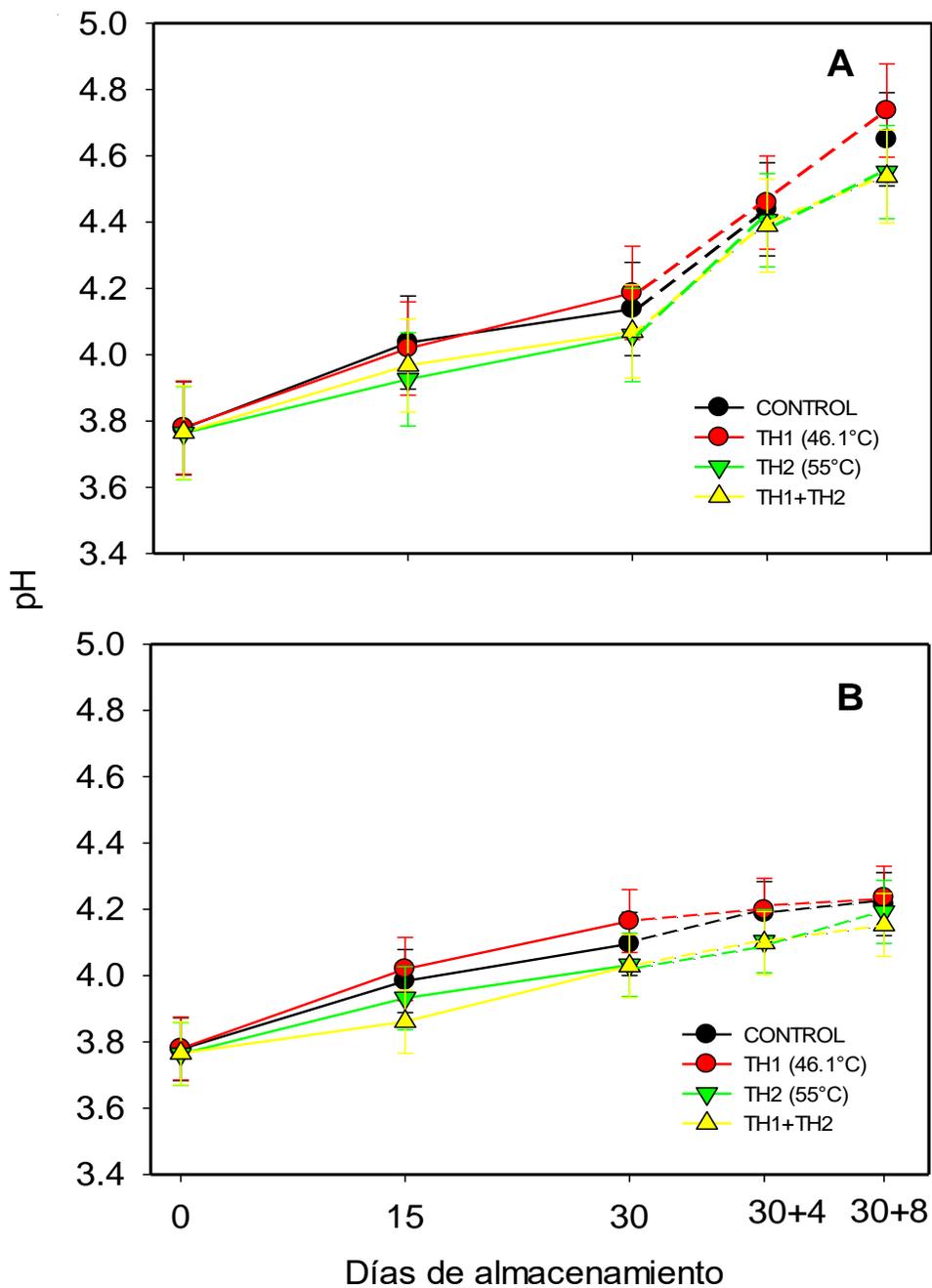


Figura 7. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre pH en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=0.28(A) y LSD=0.19(B) con $\alpha=0.05$.

tratamientos sin presentar diferencia significativa entre ellos, al transferir los frutos a temperatura de maduración de 21°C durante 8 días se observó un alto incremento en el contenido de pH, pudiéndoselo atribuir a que la fruta ya había llegado a un estado de madurez avanzado, debido a la utilización de los ácidos orgánicos que se da de manera natural durante el proceso de maduración, utilizándolos como sustratos respiratorios, provocada por el agotamiento de las reservas de carbono en el fruto. Djoua y col. (2009) encontraron que el pH para frutos de mango tratados hidrotérmicamente se mantuvo constante durante 9 días de evaluación, lo cual coincide con este estudio. Mohammed y col. (2008), reportaron un leve incremento en frutos de mangos almacenados a 4 y 8°C variedad Tommy Atkins, al cual se lo atribuyeron a que el almacenamiento a bajas temperaturas ocasiono una interrupción en la ruta de la conversión del ácido cítrico, el cual pudo haber provocado una maduración lenta.

5 Acidez titulable (AT)

En la **Figura 8** se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de la acidez titulable expresada en % de ácido cítrico. La acidez titulable promedio al momento de la cosecha fue de 0.59% de ácido cítrico para todos los tratamientos, y en general, su comportamiento fue variable y fluctuante durante el almacenamiento en frío (5 y 13°C) y el periodo de maduración.

En la **figura 8B** se observó cómo después de 30 días de almacenamiento a 5 °C, la acidez titulable correspondiente al control disminuyó hasta un valor de 0.37%, mientras que en el TH1 la fue de 0.40%, por su parte, los tratamientos TH2 y TH1+TH2 fue de un valor de 0.47 y 0.45% respectivamente, no encontrándose diferencias significativas ($p>0.05$) entre estos tratamientos. Una vez transcurridos 30 días de almacenamiento a 5 °C más 8 días a 21 °C, la AT del control no sufrió modificaciones significativas, mientras que en los tratamientos TH1, TH2 y TH1+TH2, la acidez disminuyó hasta valores de 0.35, 0.36 y 0.37%, respectivamente; presentando el valor más bajo el tratamiento control de 0.29%, sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo en este

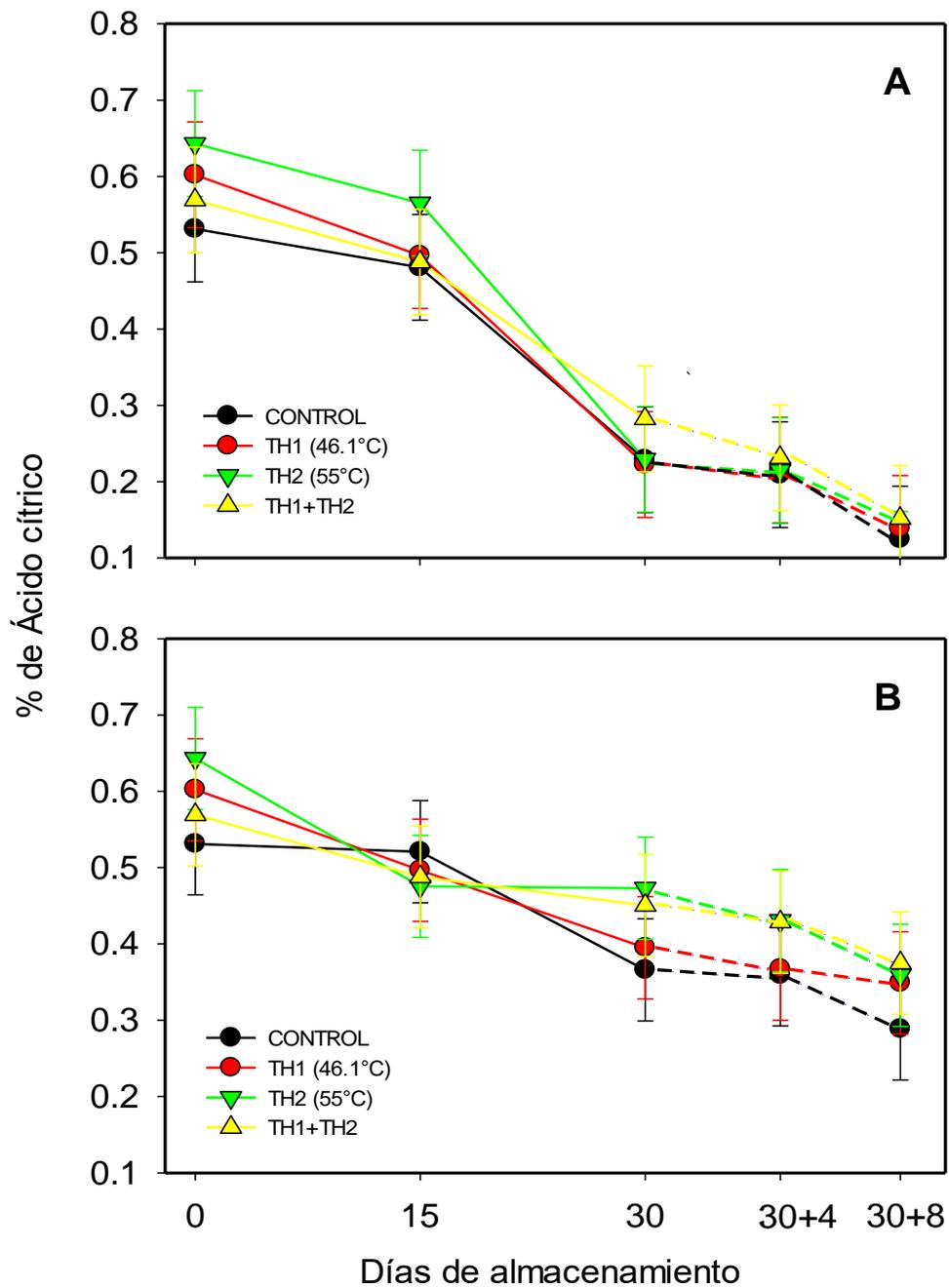


Figura 8. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre % de Ácido cítrico en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=0.14(A) y LSD=0.13(B) con $\alpha=0.05$.

trabajo se pudo observar una tendencia en la disminución de la AT por lo que puede ser evidencia suficiente en el cual se le puede relacionar con los síntomas de DF, como maduración irregular, ya que comparado con los frutos almacenados a 13°C, estos obtuvieron un menor valor. Djioa y col. (2009) reportaron en frutos de mango tratados hidrotérmicamente se mantuvo constante la AT a lo que concluyeron que este parámetro no fue afectado por los tratamientos impartidos. Luna y col. (2006) investigaron el tratamiento hidrotérmico en frutos de mango almacenados a 10 y 13°C donde observaron que los frutos almacenados a 10°C obtuvieron los valores más bajos de AT en comparación con los de 13°C, atribuyéndole este resultado a que se presentó un retraso en la maduración interrumpiendo rutas como la del ácido cítrico así como el proceso de respiración, también se observaron que en los frutos almacenados a 13°C el comportamiento fue diferente.

El contenido de AT en los frutos almacenados a 13°C se muestra en la **figura 8A** donde al día 15 se observó un decremento en todos los tratamientos, no obstante en el día 30 siguió disminuyendo este parámetro observando diferencia significativa ($p>0.05$) entre los días de almacenamiento anteriormente evaluados, mientras que entre tratamientos no se observó un valor promedio 0.24% siendo el tratamiento TH1+TH2 el que presentó el valor más alto de 0.28%. Esto pudo deberse a la conversión de ácidos orgánicos a azúcares, debido al proceso metabólico de la fruta (maduración). Al transferir los frutos a temperatura de maduración a 21°C durante 8 días se observó un descenso no significativo ($p>0.05$) entre ellos. Baloch y Bibi (2012) reportaron en frutos de mango almacenados a 20°C una disminución de AT atribuyéndoselo a la conversión de ácidos a azúcares con el proceso de maduración y cuya tasa de conversión se aumentó con la temperatura. Dicho comportamiento concuerda con lo obtenido en este, evidenciando una disminución de la acidez conforme avanza la maduración. Así mismo, algunos investigadores como Dea y col. (2010), Dessealegn y col. (2013) y Lu y col. (2010) reportaron que en frutos de mango, la acidez titulable disminuía conforme transcurría el tiempo de almacenamiento, lo cual podría atribuirse esta disminución en la acidez a la utilización de los ácidos orgánicos en diversos procesos fisiológicos y principalmente

como sustratos en la respiración, lo cual concuerda con este trabajo. Por su parte, Luna y col. (2006) investigaron el tratamiento hidrotérmico en frutos de mango almacenados a 10 y 13°C, observando que en los frutos almacenados a 13°C se presentó una aceleración en la maduración, lo cual se lo atribuyeron a que el tratamiento hidrotérmico provocó una aceleración en dicho proceso por lo tanto, provocando la síntesis de ácidos orgánicos como cítrico y málico los cuales sirvieron como sustrato en el proceso de respiración.

6 Pérdida de peso

La pérdida de peso es un parámetro de calidad crítico, ya que cualquier pérdida en peso puede ser transformada en una pérdida económica. Si el promedio de esta pérdida es mayor al 5%, el producto se considera no aceptable, debido a que tiene un efecto en la apariencia del fruto (Manríquez, 2010). El mecanismo básico de pérdida de peso de frutas y hortalizas frescas tiene relación con la transpiración, el número y tamaño de lenticelas, el metabolismo respiratorio acelerado por algún tratamiento estresante y una diferencia entre la presión de vapor del fruto y el medio ambiente en que se encuentra (Luna y col., 2006; Mamiro y col., 2007 y Ali y col., 2010).

En la **figura 9** se muestran los resultados de porcentaje de pérdida de peso obtenidos a lo largo del almacenamiento a 5 °C. De manera general, durante las evaluaciones se observó un aumento en el porcentaje de pérdida de peso en los 4 tratamientos, no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) durante 15 días de almacenamiento a 5 °C, mientras que después de 30 días, el tratamiento Control presentó diferencia significativa con la combinación TH1+TH2. Dicho tratamiento (TH1+TH2) fue el que presentó el menor porcentaje de pérdida de peso a partir del día 36 con un valor promedio de 2.37% presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos cuyo valor promedio de pérdida de peso fue de 2.95% (Control), 2.78% (TH1) y 2.79% (TH2). En contraste, al día

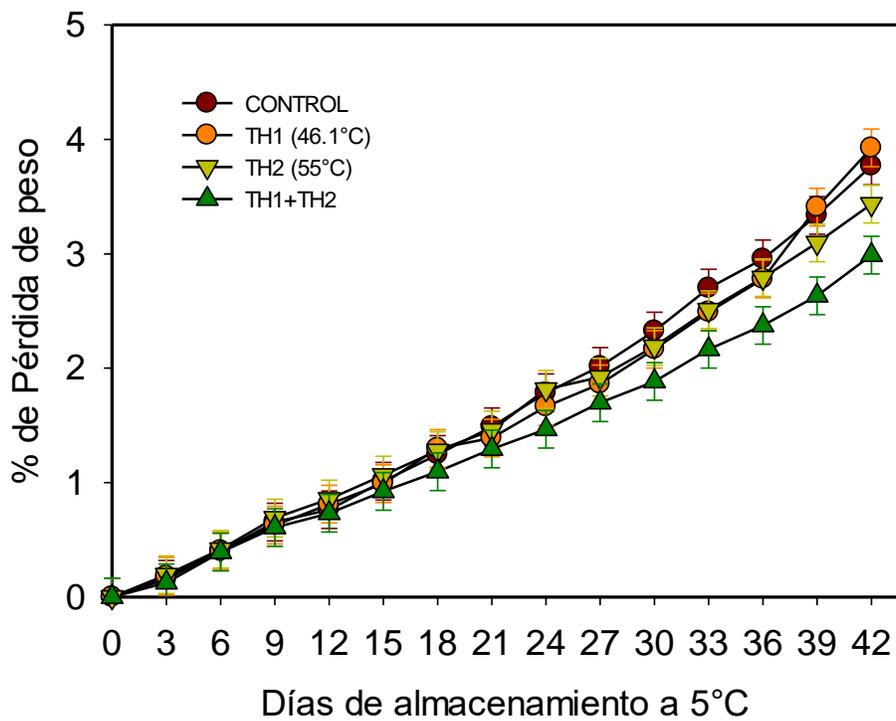


Figura 9. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el % de Pérdida de peso en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 42 días a 5 °C. Las barras verticales indican LSD=0.33 para la temperatura de 5 °C, con $\alpha=0.05$.

42 el tratamiento TH1 presentó la mayor pérdida de peso con un valor de 3.92%, presentando diferencias significativas con los tratamientos TH2 y TH1+TH2. Esto pueda deberse que cuando se aplicó el tratamiento TH2 como fue muy corto el tiempo de exposición en el agua caliente, esta no pudo ocasionar un daño y al aplicar un doble tratamiento hidrotérmico pudo a verle brindado cierta protección o interrumpiendo rutas metabólicas de maduración por lo tanto disminuya la tasa de respiración, comparado cuando se aplica solo un TH el cual puede ocasionar una apertura en los poros de la superficie de los frutos, y por consiguiente a lo largo del almacenamiento se presentaron mayores pérdidas de agua en forma de vapor.

A su vez esta mayor pérdida de peso que se presentó en los tratamientos Control y TH1, se podría atribuir a que el DF ocasiona un incremento en la velocidad de respiración del fruto de mango y al incrementarse esta tasa de respiración, ocasiona una aceleración en el metabolismo del fruto, incrementando la velocidad de conversión de moléculas de reserva tales como azúcares y ácidos orgánicos en moléculas simples tales como dióxido de carbono y agua, y consecuentemente perdiéndose estas especies en forma de gas y vapor, respectivamente, durante la respiración y transpiración (Laborem y col., 2002).

Se han realizado diversos reportes en frutos de mango por autores como Ornelas-Paz y Yahia (2014), también utilizaron aire caliente con diferentes humedades relativas en frutos de mango, donde vieron que el utilizar cierta humedad relativa en el aire caliente aumento la pérdida de peso en comparación al aire seco, ellos atribuyeron esta pérdida a una consecuencia en el contenido de humedad y presión. Ramyya y col. (2012) en el cual le aplicaron diferentes tratamientos hidrotérmicos para posteriormente someterlos a una atmosfera controlada almacenados a 10 °C, ellos observaron que la aplicación del tratamiento hidrotermico a 40°C obtuvo los valores bajos en comparación con el tratamiento de atmosfera modificada, a lo cual se lo atribuyeron a que el uso de tratamientos hidrotermicos inactivaron la enzima de etileno. Vega-Espinoza (2010) y Henríquez y col. (2005), al no encontrar diferencia estadística entre frutos de tomate control y TH, atribuyeron este comportamiento

como una consecuencia de la pérdida de vapor de agua a través del proceso de transpiración. Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por estos autores. Pérez y col. (2004), estudiaron el efecto de la aplicación de cera comestible en mango con tratamiento hidrotérmico sobre las características cuticulares del fruto durante el almacenamiento comercial y reportaron que a pesar que el contenido de ceras epicuticulares contribuye a impermeabilizar los frutos, la morfología y estructura de éstas varían favoreciendo la pérdida de agua. Jacobi y col. (2000) utilizaron aire caliente en frutos de mango en la respuesta al acondicionamiento de diferentes tratamientos hidrotérmicos almacenados a 21°C, donde observaron que la fruta tratada tenía un aumento en la pérdida de peso en comparación a la fruta sin tratar, a lo que concluyeron que la aplicación de TH aumentaba la maduración del fruto.

7 Índice de daño por frío

El índice de daño por frío (IDF) es un parámetro que ha sido utilizado ampliamente para evaluar el grado de daño, así como para poder juzgar la tolerancia adquirida contra este desorden (Vega-García y col 2010). Durante el experimento, el IDF fue evaluado durante un almacenamiento previo de 30 días a 5 °C, más un periodo de maduración de 8 días a 21 °C.

Los síntomas de DF que se presentaron como resultado del almacenamiento por 30 días a 5 °C, seguido de 4 y 8 días a 21 °C, fueron maduración irregular, oscurecimiento de lenticelas, picado superficial y presencia de pudriciones sobre la superficie (**figura 10A**). De manera general se presentaron síntomas en todos los tratamientos, es decir, aun en los tratamientos en los que se obtuvieron mejores resultados, por lo que la reducción de la presencia de los síntomas fue solo parcial. En la **figura 10A** se muestran las imágenes tomadas a través de los 30 días de almacenamiento a 5 °C, y a los 4 y 8 días a 21 °C después de 30 días de almacenamiento a 5 °C. Se puede observar al inicio de la cosecha los frutos presentaban una libertad de daño y en los diferentes días de almacenamiento a 5 °C, como en los tratamientos control, TH1, y TH2 los tonos rojizos en la superficie de los

frutos se iban tornando amarillos, lo cual es normal dentro del proceso de maduración. Para el TH1+TH2, en el mismo periodo de almacenamiento se observó una apariencia de madurez menor que en el resto de los tratamientos, siendo evidenciado este hecho por los tonos más rojos y verdes en la superficie del fruto. Como se había explicado anteriormente, estos tonos rojo y verdes más intensos pueden ser atribuidos a que los frutos sometidos al TH1+TH2 le brindo cierta protección o retraso cierta ruta metabólica de la maduración.

Por otra parte, los frutos tratados con TH1+TH2 fueron los que tuvieron un menor avance en su maduración, pudiéndose corroborar esto ya que mostraron una menor transición de color de verde-rojo hasta el amarillo a diferencia de los demás tratamientos. Para el caso del TH1 durante los 15 días de almacenamiento a 5 °C se observó que el cambio de color se mantuvo de manera muy cercana al Control, lo que se pudo comprobar con los datos obtenidos de color (a*).

Una vez que los 4 tratamientos fueron transferidos al periodo de maduración de 8 días a 21 °C; el tratamiento Control fue el que presentó una mayor incidencia de síntomas de DF. Para el caso de TH2 y TH1+TH2, el síntoma predominante fue la aparición de zonas con maduración irregular y muy pocas zonas con pudriciones. Cuando se observaron los frutos tratados con TH1, se encontraron algunas zonas con maduración irregular seguidas en mayor magnitud de áreas con oscurecimiento de lenticelas, picado superficial y pudriciones en el fruto, y fue evidente que había en los tratamientos Control seguido por TH1 hubo una mayor presencia de síntomas de DF en comparación con los demás tratamientos.

En general, el síntoma visual de mayor prominencia fue la pérdida de capacidad para alcanzar una madurez regular, oscurecimiento de lenticelas, y el desarrollo de pudriciones. Algunos investigadores como el de Phakawatmongkol y col. (2004) y Chongchatuporn y col. (2013) en frutos de mango almacenados a 4, 8 y 12°C, encontraron que la mayor presencia de síntomas era en las temperaturas de 4 y

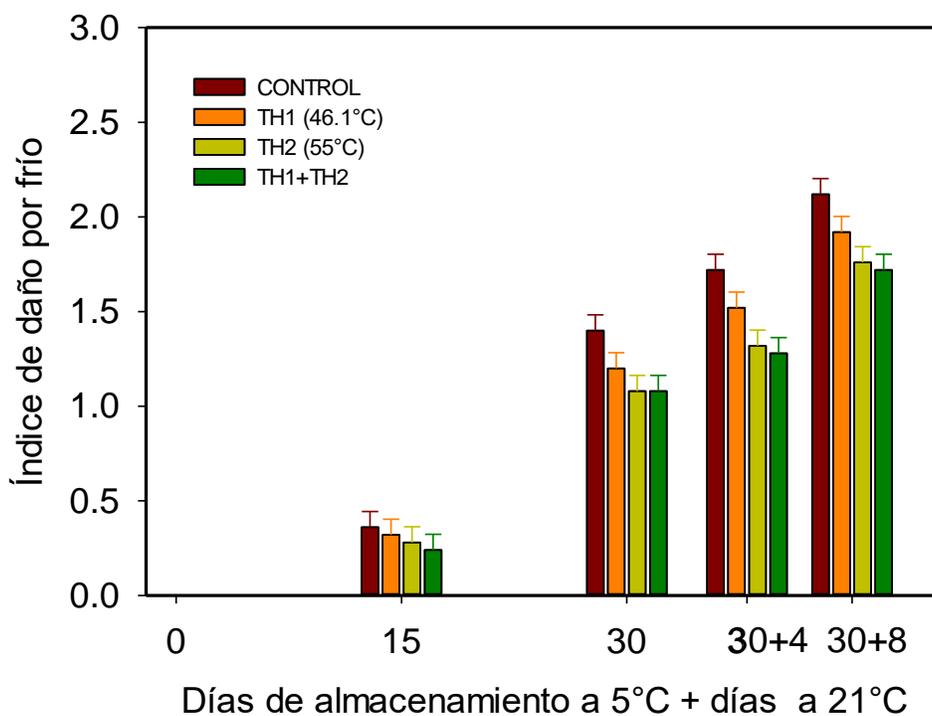
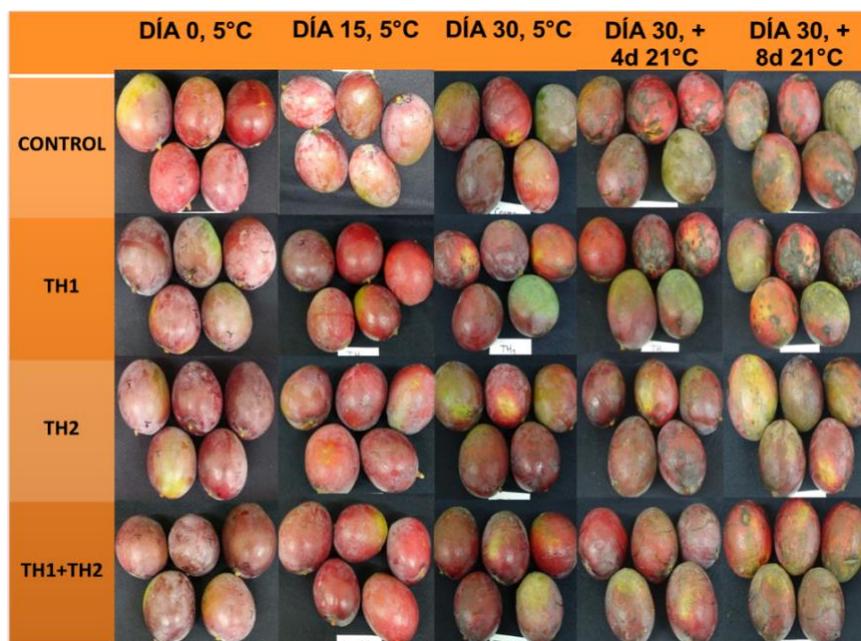


Figura 10. síntomas de DF (A) y Índice de daño por frío (IDF) (B) en frutos de mango Tommy Atkins durante el almacenamiento a 5°C por 30 días más un periodo de maduración a 21°C por 4 y 8 días. Los datos son las medias de 5 réplicas (LSD=0.166) con $\alpha=0.05$.

8°C, y el síntoma predominante era maduración irregular así como manchas oscuras en la cascara, lo cual también coincide con nuestros datos.

De acuerdo a los resultados encontrados tanto en la reducción de los síntomas de DF evaluados con el IDF y pérdida de peso, se decidió elegir como mejor tratamiento poscosecha los tratamientos TH2 y TH1+TH2. Encontrándose diferencia significativa entre el Control y el TH1, los tratamientos TH2 y TH1+TH2 fueron los tratamientos que obtuvieron un valor de IDF más bajo que el control de forma significativa ($p \leq 0.05$).

Los resultados del IDF se muestran en la **figura 10B**, al inicio de la cosecha los frutos presentaban una libertad de daño, no fue hasta el día 15 donde se puede observar que el IDF reflejó el grado de DF en los 4 tratamientos sin presentar diferencia estadística entre ellos. A partir del día 30 se presentó un incremento en los síntomas de DF en todos los tratamientos, siendo el tratamiento Control el que obtuvo el valor más alto, con un valor promedio de 1.4, seguido por el tratamiento TH1 con un valor de 1.2, ambos tratamientos presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$) con los tratamiento TH2 y TH1+TH2, y entre ellos mismos, siendo estos dos últimos tratamientos los que lograron reducir en mayor medida los síntomas hasta este día y al mismo tiempo ser significativamente menor ($p \leq 0.05$) que el tratamiento control. Al transferir los frutos al periodo de maduración a 21°C estos síntomas tuvieron un mayor incremento en los 4 tratamientos siguiendo el mismo comportamiento que el día 30. Los tratamientos TH2 y TH1+TH2 mostraron mayor tolerancia al DF lo que significa que la fruta podría haber adquirido la protección contra el estrés oxidativo mientras que la fruta control produce el exceso de ROS.

Los resultados indican que el mayor aumento en el IDF se presentó después del día 30 almacenamiento a 5 °C, por lo que probablemente bajo las condiciones del presente estudio sea en ese lapso cuando se da inicio a los primeros eventos que desencadenan los síntomas de este desorden. Resultados similares fueron observados por Singh y Singh (2012) al trabajar con ciruela almacenado durante 5

semanas a 2 °C y la aplicación de un TH, encontraron que a la segunda semana se presentaba un incremento en el IDF pero a su vez observaron que a partir de la 4 semana se potencializaron los síntomas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la aplicación de TH previo al almacenamiento en frío, otorgó un efecto de mayor tolerancia al DF en los frutos tratados, obteniéndose valores más bajos de IDF que en los frutos Control, datos que concuerdan con lo observado en este estudio.

Khaliq y col. (2016) reportaron en frutos de mango que los síntomas aparecieron después de 14 días almacenados a 6°C, cuando la fruta se pasó a temperatura de ambiente, los síntomas se hicieron más aparentes, datos que concuerdan con nuestros resultados. Otros investigadores como Shadmani y col. (2015) observaron en frutos de papaya almacenado a 6°C utilizando un doble tratamiento hidrotérmico secuencial, obteniendo una reducción notablemente en los frutos tratados con el doble tratamiento hidrotérmico en comparación con el control, lo cual se lo atribuyeron a varios factores como, pérdida de brillo y agua, así como también cierta tolerancia al almacenamiento en frío y a la relación con el mecanismo de defensa antioxidante. De igual forma Chongchatuporn y col. (2013) reportaron que el tratamiento control en frutos de mango almacenados a 12°C no mostraron síntomas, en cambio los frutos almacenados a 4°C los síntomas se presentaron a partir del día 15 para todos los frutos, y estos fueron incrementando respecto a los días de almacenamientos restantes, datos que también concuerdan con los nuestros. Mirdehghan y col. (2007) observaron que en frutos de granada tratadas hidrotérmicamente (45°C x 5 min) almacenadas a 2°C a partir del día 15 presentaron síntomas de DF, a su vez los frutos con TH mostraron una reducción de estos respecto al control a través de los días de almacenamiento, resultados que coinciden con los nuestros, a lo que se lo atribuyeron a que el TH pudo brindarle cierta tolerancia a temperaturas bajas y a su vez la activación de un mecanismo que implica un aumento tanto en los niveles de poliaminas y la proporción de ácidos grasos insaturados / saturados. Chidtragool y col. (2011) y Phakawatmongkol y col. (2004) reportaron en frutos de mango almacenados a 4 y 8 °C presentaron mayor

intensidad de presencia de síntomas, en comparación con los frutos almacenados a 12°C, esto coincide con los resultados encontrados en el presente estudio.

8 Lixiviación

La lixiviación de electrolitos (LE) es un parámetro que refleja de forma indirecta el daño de las membranas (Zhao y col., 2009) provocado por diversos factores; en el presente trabajo fue uno de los principales parámetros afectados por el DF.

En los gráficos de la **figura 11** se muestran los resultados del % de lixiviación de electrolitos evaluados a los días 0, 15 y 30 de almacenamiento a 5 y 13 °C. El valor promedio al día 0 de almacenamiento para los tratamientos fue de 22.23 %, no encontrándose diferencias significativas ($p>0.05$) entre ellos.

En el caso de los frutos que se almacenaron a 5 °C (**figura 11B**) se observó al día 15 como la LE se incrementó presentando diferencias significativas ($p>0.05$) con el día inicial, el valor de los tratamiento control y TH1 se elevó hasta un 36.07 y 35.84%, mientras que el TH2 y la combinación TH1+TH2 fue de 32.56 y 33.7%. al transferir los frutos a temperatura de maduración, los tratamientos control, TH1 y TH2 permanecieron parcialmente constante, mientras que la combinación TH1+TH2 tuvo un leve incremento, aun sin embargo este tratamiento quedo con el menor valor de LE sin presentar diferencia significativa con los demás tratamientos.

Analizando los resultados de la **figura 11B** se puede apreciar que el mayor daño a las membranas se da entre los días 30 de almacenamiento a temperaturas bajas y al transferir los frutos a temperatura de maduración (21°C), por lo que es probable que en ese lapso de tiempo se lleven a cabo los primeros eventos que ocasionan el DF. Este incremento en la LE coincide con lo reportado por Chongchatuporn y col. (2013) tras estudiar el daño por frio en la piel en frutos de mango a una temperatura de 4 °C. Estos autores encontraron que el % LE se incrementaba en

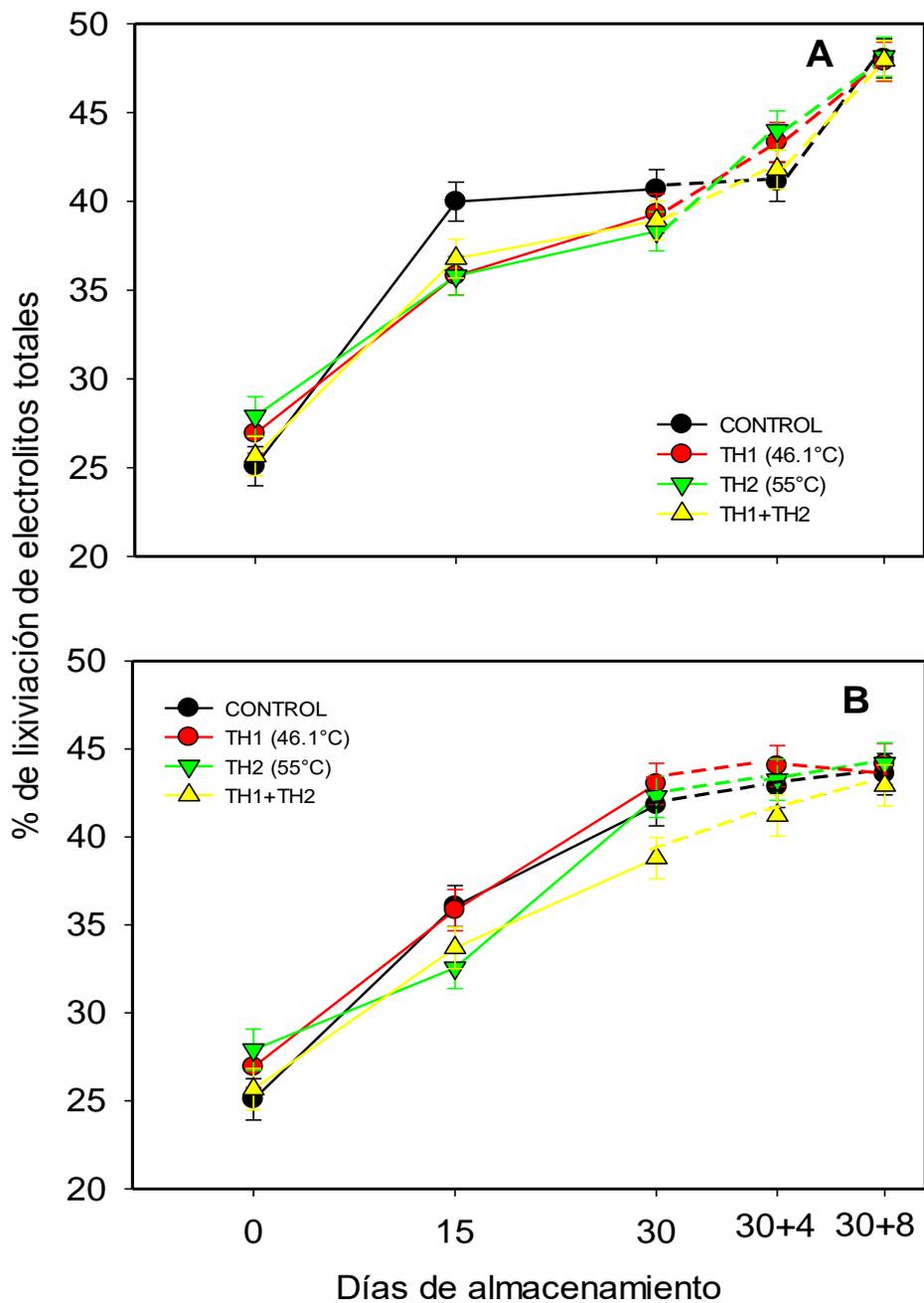


Figura 11. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre % lixiviación de electrolitos totales en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=2.20(A) y LSD=2.35(B) con $\alpha=0.05$.

los frutos sometidos a temperaturas bajas como consecuencia del DF y que a su vez esto guardaba una alta correlación con la elevación del IDF.

En cuanto a los resultados que hacen evidente la tolerancia que la combinación le confiere a los frutos, se puede sugerir que el TH1+TH2 brindó protección a los frutos evitando que el daño a las membranas no fuese tan elevado como el los frutos control. Por otro lado, Shadmani y col. (2015) reportaron en la aplicación de un doble tratamiento hidrotérmico secuencial en frutos de papaya almacenadas a 6°C, observando que el tratamiento control tuvo una mayor fuga de electrolitos que el tratamiento hidrotérmico secuencial, estos resultados se lo atribuyeron a que el tratamiento hidrotérmico secuencial tuvo un efecto protector en ciertas rutas metabólicas.

En otro estudio desarrollado por Khaliq y col. (2016) se encontró que la aplicación de bajas temperaturas confería a los frutos de mango una mayor protección al daño de membranas lo cual se traducía en una menor LE. Al mismo tiempo estos autores observaron que los frutos presentaban un menor daño en la membrana plasmática.

Se piensa que la pérdida de la funcionalidad de las membranas (ya sea la pérdida de la semipermeabilidad o de la actividad enzimática) es uno de los eventos primarios que finalmente inducen el DF (Lyons y col., 1973), por lo que se puede inferir que la protección brindada a las membranas, evidenciada por una menor LE, jugó un papel importante en la adquisición de la tolerancia al DF en los frutos tratados con TH.

Se ha reportado una amplia gama de estudios que se han realizado aplicando tratamientos que brindan tolerancia o reducen el DF en diversos productos en los que se observan comportamientos similares a los del presente estudio. Por ejemplo, en la aplicación de ácido acetilsalicílico en frutos de granada (Sayyari y col., 2011); la aplicación de MeJa en mango (González-Aguilar y col., 2000) y la aplicación de óxido nítrico en pepino (Yang y col., 2011). En todos estos estudios se presentó una reducción en el daño a las membranas evaluado de forma indirecta al medir el

porcentaje de electrolitos lixiviados. Zhao y col. (2009) al someter a estrés por frío a dos cultivares de tomate con diferente tolerancia al DF, reportaron que en el cultivar menos tolerante (Linchun) se presentaba un incremento mayor en cuanto a la LE que en el cultivar más tolerante.

La lixiviación de electrolitos se incrementó de manera significativa a partir del día 15 de almacenamiento. Los resultados mostraron como los valores de LE fueron más altos en los frutos almacenados a 13 °C (**figura 11A**), alcanzando un valor promedio al día 15 de 37.1 %, presentando diferencia significativa ($p>0.05$) el tratamiento control respecto a los demás tratamientos, a su vez también entre los días de almacenamiento. Al día 30, el tratamiento control permaneció constante, sin embargo los tratamientos TH1, TH2 y la combinación TH1+TH2 tuvieron un ligero incremento. Después de 8 días de ser transferidos a temperatura de maduración (21°C), estos tuvieron un incremento tal, el cual presentó diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los días de almacenamiento anteriormente evaluados. Este comportamiento es normal ya que durante el proceso de maduración, en especial en frutos climatéricos, se da un aumento en la permeabilidad de la membrana resultado de una modificación en la composición de los lípidos de la misma (Malacrida y col., 2006). Nukuntornprakit y col. (2015) reportaron en frutos de piña almacenados a 10°C por 21 días un aumento en LE a lo cual se lo atribuyeron a que las membranas de tejido ya estaban dañadas.

9 Contenido de MDA

La peroxidación de lípidos es causada por estrés abiótico, como el almacenamiento a temperaturas bajas, y puede ser medida con el contenido de MDA; el cual es uno de los productos finales de la oxidación de los ácidos grasos insaturados. La magnitud de la peroxidación de lípidos depende del grado de estrés por frío sufrido por los frutos y del tiempo de exposición a este (Pongprasert y col., 2011).

El almacenamiento a temperaturas bajas ocasionó un ascenso en el contenido de MDA conforme transcurrieron los días de almacenamiento en frío tal como se

muestra en la **figura 12**. En el caso de los frutos almacenados a 5 °C (**figura 12B**) presentaron un valor promedio inicial de 1.15 nmolmL⁻¹, cantidad que fue aumentando con el transcurso del almacenamiento, en el día 15 se observó que los valores tuvieron un ligero aumento, sin embargo el tratamiento TH1 presento diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los demás tratamientos. A partir del día 30 se presentó un valor promedio de 3.19 nmolmL⁻¹, observándose que el tratamiento TH2 permaneció constante, sin embargo los demás tratamientos tuvieron un incremento tan que el tratamiento control así como también el tratamiento TH1 presentaron diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los tratamientos TH2 y TH1+TH2. 8 días después del periodo de maduración a 21°C no se presentó diferencia significativa ($p>0.05$), estos resultados no concuerdan con Wongsheree y col. (2009) donde no se presentó diferencia significativa entre los diferentes días a evaluar en frutos de limón. Sin embargo si coincide con lo reportado por Zhang y col. (2013) donde por si solo el TH y el control no se presenta diferencias significativas pero al aplicar una combinación de TH con arginasa este parámetro se ve disminuido en frutos de tomate almacenados a 2°C, estos resultados sugieren que la aplicación de la combinación de TH logra disminuir la peroxidación de lípidos producto del estrés ocasionado por el almacenamiento en frío. Chun-Lu y col. (2013) reportaron en frutos de pepino almacenados a 2°C por 9 días más un periodo de maduración a 20°C por 2 días, observando que en frutos maduros tuvieron un mayor contenido de MDA en comparación con frutos de madurez comercial, los cuales presentaron valores bajos, a lo que concluyeron que en frutos maduros se presenta una mayor LE por la cual existe un aumento de en el estrés oxidativo ya que las membranas esta dañadas lo cual concuerda con nuestros resultados. Imahori y col. (2008) reportaron en frutos de ciruela china sometida a daño por frio almacenada a 6°C durante 15 días obteniendo valores entre 6 y 8 nmolmL⁻¹, ellos le atribuyeron estos resultados a que hubo un deterioro y alteración en la estructura de las membranas y al mismo tiempo a la inducción de la rigidez de esta, la cual puede ser un indicativo del DF. Estos datos concuerdan con los resultados de este trabajo.

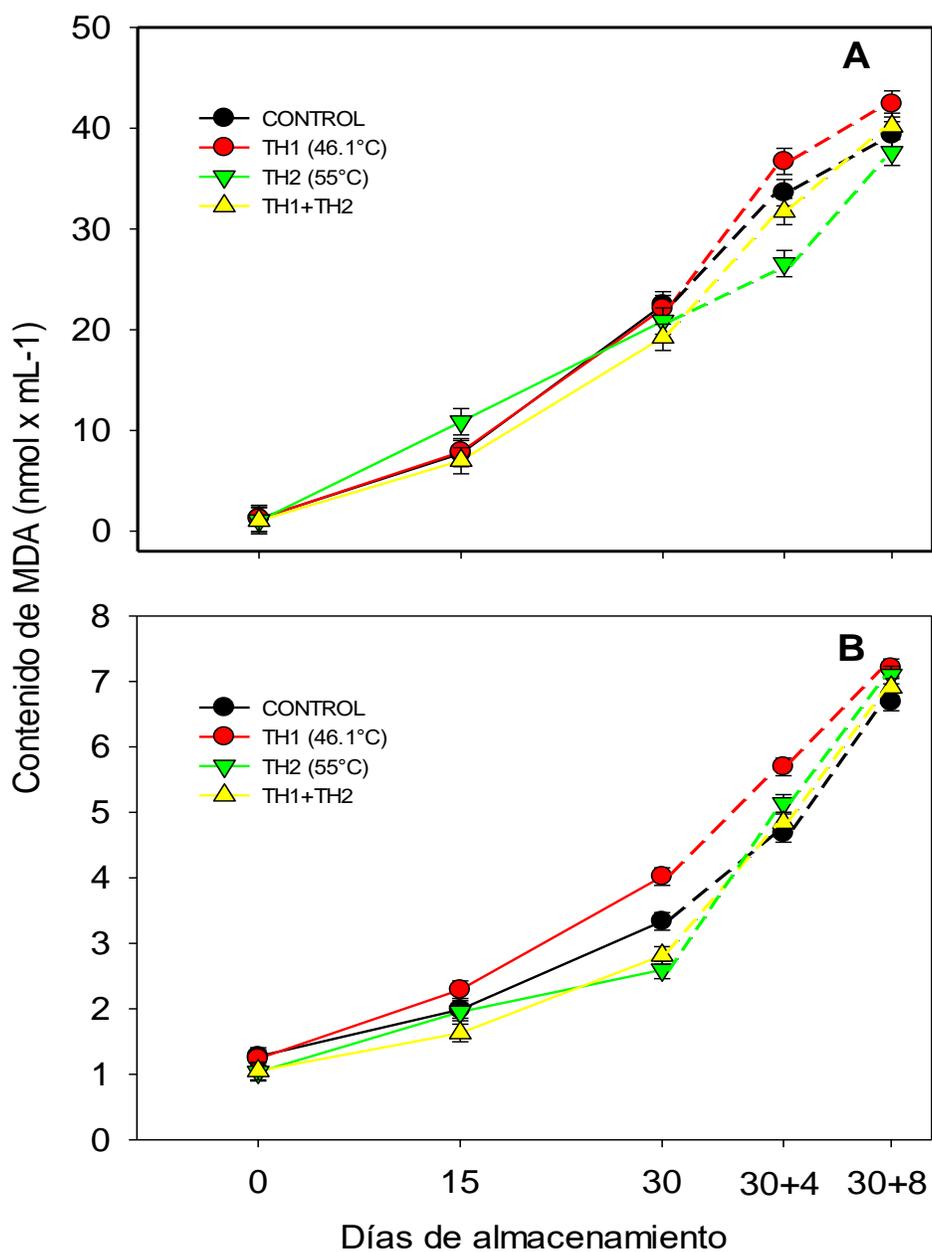


Figura 12. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre el contenido de MDA en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=2.61(A) y LSD=0.27(B) con $\alpha=0.05$.

Puesto que los lípidos de las membranas son altamente susceptibles a la peroxidación y las membranas forman la base de la célula misma y de muchos organelos, entre ellos mitocondrias, membranas plasmáticas, retículo endoplásmico, y cloroplastos, el daño causado por la peroxidación de lípidos es altamente deteriorativo en la función de la célula y en su supervivencia cuando los tejidos son sometidos a condiciones que propicien el DF (Devasagayam y col., 2003). Al haber un deterioro en las membranas hay una pérdida en la permeabilidad selectiva de las mismas (Zhang y col., 2010), lo cual se verifica en los resultados de LE, donde durante el almacenamiento a 5 °C los frutos tratados con TH1 resultaron más dañados y tuvieron una mayor LE en comparación con los frutos con TH1+TH2.

Anteriormente se ha relacionado una mayor tolerancia al DF con un contenido menor de MDA (Zhao y col 2009) y existen una serie de estudios que señalan un menor incremento en la peroxidación de lípidos en diversos productos que han sido tratados para adquirir dicha tolerancia, como es el caso de la aplicación de Brasinólido en pimiento verde a diferentes concentraciones (Wang y col. 2012), la aplicación de radiación UV en plátano (Pongprasert y col., 2011), la aplicación de 1-MCP en frutos de persimo (Zhang y col., 2010), el pre-acondicionamiento a temperaturas bajas en mango (Zhao y col., 2006).

Por otra parte, los frutos almacenados a 13 °C (**figura 12A**) se observó que a través de los días de almacenamiento el incremento fue en ascenso en la peroxidación de lípidos, en el día 15 se mostró un aumento en todos los tratamientos presentando diferencia significativa ($p > 0.05$) con respecto al día inicial, en el día 30 este valor siguió en aumento en todos los tratamientos con un valor promedio de 20 nmolmL⁻¹, presentando diferencia significativa con los días anteriormente evaluados ($p > 0.05$). A partir de los días de maduración a 21°C se encontró diferencia significativa en los tratamientos TH1 y TH2 respecto con los tratamientos control y TH1+TH2, lo cual concuerda con los resultados de Ummarat y col. (2011), donde el TH presento diferencia significativa durante los días de maduración con respecto al control en frutos de plátano. Existen reportes en donde se señala que el estrés por calor puede

originar un aumento en la peroxidación de lípidos (Lurie y Klein 1991), no obstante este comportamiento ocurrió en el presente estudio. El almacenamiento a 13 °C es la temperatura crítica a la cual no se desarrollan los síntomas de DF y estos frutos sufrieron una peroxidación mayor que los que fueron almacenados a 5 °C, evidenciado de forma indirecta valores más altos en el contenido de MDA.

10 Actividad de enzimas antioxidantes

a Superóxido dismutasa (SOD)

La enzima Superóxido dismutasa forma parte del sistema enzimático antioxidante y cataliza la conversión de los radicales superóxido produciendo peróxido de hidrógeno y oxígeno molecular, por lo que esta enzima es clave para la detoxificación de las especies reactivas de oxígeno (EROs). La actividad de SOD se expresó como unidades de actividad enzimática por mg de proteína y los valores obtenidos se presentan en **figura 13**.

Los resultados indicaron que tanto la temperatura de almacenamiento como la aplicación de TH, tuvieron un efecto significativo sobre la actividad de SOD, mostrándose diferencias en cuanto a su comportamiento a través de los días de almacenamiento en frío.

En el día inicial los frutos tuvieron un valor promedio de 8.66 U SOD/mg proteína, sin mostrar diferencia significativa ($p>0.05$) entre ellos. El almacenamiento a 5 °C (**figura 13B**) ocasionó que la actividad enzimática de SOD se fuera incrementando de manera progresiva conforme avanzaron los días de almacenamiento a dicha temperatura; lo cual podría estar reflejando un aumento en el estrés oxidativo como consecuencia de una mayor cantidad de EROs. En el día 15 un incremento en todos los tratamientos, siendo los tratamientos TH1 y TH1+TH2 los que obtuvieron los valores más altos de 10.65 y 11.39 U SOD/mg proteína respectivamente, presentando diferencia significativa con los tratamientos control y TH2 ($p>0.05$). El ascenso más dramático en la actividad de SOD se dio en el día 30, donde los frutos

tratados con la combinación TH1+TH2 obteniendo un valor promedio de 17.15 U SOD/mg proteína, presentando diferencia significativa ($p>0.05$) con los demás tratamientos para ese día. Sin embargo, al 4^{to} día de que los frutos se transfirieron a temperatura de maduración (21°C) los tratamientos TH2 y control siguieron incrementando, sin embargo los tratamientos TH1 y TH1+TH2 presentaron un decremento, sin embargo el tratamiento TH1+TH2 siguió por arriba de todos los valores de los diferentes tratamientos, mostrando diferencia significativas ($p>0.05$) entre ellos, al 8^{vo} día de maduración todos los valores de los diferentes tratamientos disminuyeron mostrando diferencia significativa ($p>0.05$) el tratamiento TH1+TH2 respecto a los demás tratamientos.

Tomando en cuenta que SOD es una de las enzimas clave en el sistema antioxidante de plantas y frutos para contrarrestar el desbalance de EROs, es probable que el aumento en la actividad de esta enzima en los frutos tratados con TH1+TH2 que adquirieron tolerancia al DF haya sido clave en la protección contra el estrés oxidativo al ayudar a eliminar el exceso de las EROs y así disminuir los daños que estas sustancias provocan en las membranas de los tejidos. Asimismo, considerando que los frutos control almacenados a 5 °C sufrieron un daño mayor en las membranas (mayor LE, peroxidación de lípidos e IDF) a lo largo del almacenamiento, es probable que una menor capacidad de contrarrestar EROs por la menor actividad de SOD haya sido una de las causas que dieron lugar al inicio del DF. Existe evidencia de cómo la enzima SOD actúa en la adquisición de tolerancia a diversos tipos de estrés. Para el caso del estrés ocasionado por frío, Shadmani y col. (2015) utilizaron la aplicación de un doble tratamiento

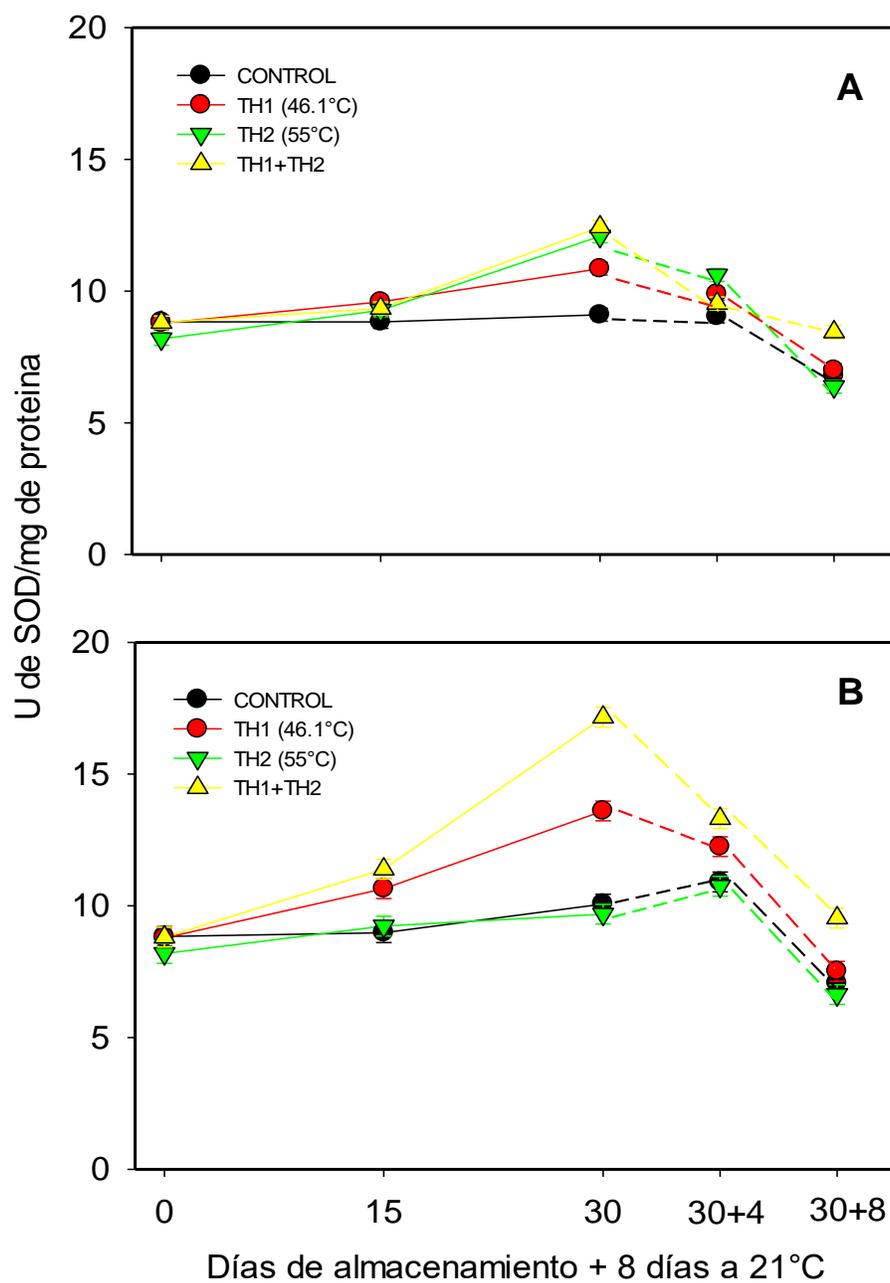


Figura 13. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de SOD en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican $LSD=0.49(A)$ y $LSD=0.75(B)$ con $\alpha=0.05$.

hidrotérmico secuencial en frutos de papaya almacenados a 6°C y 12°C, los cuales observaron que la actividad de la SOD en ambas temperaturas aumentaron en el tratamiento hidrotérmico secuencial, sin embargo los frutos almacenados a 6°C mostraron una mayor acumulación de SOD, a lo que concluyeron que dicha temperatura reduce el daño tisular, y a su vez que el TH pudo mejorar la capacidad de la fruta para la eliminación de los radicales libres, datos que concuerdan con nuestro trabajo. Zhao y col (2006) evaluaron la actividad de la enzima SOD en frutos de mango cv. Wacheng al aplicarle un tratamiento de shock a bajas temperaturas que le brindó tolerancia al DF y encontraron que la actividad de esta enzima presentó valores superiores en los frutos tratados con shock a bajas temperaturas en comparación de los frutos que no recibieron ese tratamiento.

Por su parte, Kumar y col. (2010) evaluaron el estrés oxidativo y sistema antioxidante en frutos de ciruela india, los cuales observaron que durante el almacenamiento los frutos disminuían su actividad de SOD, lo cual concluyeron que estos frutos no tienen la capacidad de eliminar las especies reactivas de oxígeno tóxicas acumuladas durante el almacenamiento. Wang y col. (2008) indicaron que la aplicación de ácido 2,4- diclorofenoxiacético en frutos de mango cv. Tainong previo a un almacenamiento de 7 días a 4 °C, le confería a los frutos una disminución en los síntomas de DF, y que a la vez la actividad de la enzima SOD mostraba valores más altos en comparación con los frutos sin este tratamiento.

Por otro lado, los frutos que fueron almacenados a 13°C (**figura 13A**) la actividad de SOD del tratamiento control permaneció constante, mientras que el resto de los tratamientos tuvieron un ligero aumento, no fue hasta el día 30 donde los tratamientos TH2 y TH1+TH2 alcanzando valores alrededor de 12.5 y a su vez presentaron diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los tratamientos TH1 y control, la cual este último siguió permaneciendo constante. A partir que los frutos fueron transferidos a temperatura de maduración (21°C), se observó un decremento en dichos valores para todos los tratamientos, sin embargo la combinación TH1+TH2 presento diferencia significativa respecto a los demás tratamientos obteniendo el

valor más alto de 8.45 U SOD/mg proteína respectivamente. A medida que la maduración de los frutos va avanzando, la actividad de las enzimas antioxidantes disminuye ocasionando un estrés oxidativo, posiblemente participando en cambios bioquímicos de maduración y ablandamiento (Gómez y col 2009), lo cual no coincide con lo encontrado en este estudio durante los 30 días de almacenamiento a 13°C; sin embargo, si coincide cuando los frutos son sometidos a temperatura de maduración.

b Catalasa (CAT)

La enzima catalasa forma parte del sistema enzimático antioxidante encargado de la remoción del exceso de EROs y trabaja en conjunto con SOD al capturar el peróxido de hidrógeno producido (H₂O₂). CAT cataliza la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno molecular (O₂).

Los resultados obtenidos para la actividad de CAT (mmol de CAT/mg de proteína) se muestran en la **figura 14**. Al observar el comportamiento de la actividad de CAT a lo largo del almacenamiento tanto a 5 como a 13 °C.

En el caso del almacenamiento a 5 °C (**figura 14B**) el comportamiento fue un tanto diferente, ya que se presentó una ligera tendencia de aumento en la actividad al día 15 de almacenamiento, presentando diferencia significativa ($p>0.05$) el tratamiento TH1+TH2 respecto al tratamiento control. En el día 30 la actividad para los frutos control permaneció constante con un valor de 82.85 mmol de CAT/mg de proteína sin diferencias significativas ($p>0.05$) con el TH2 con un valor de 88.64; sin embargo los tratamientos TH1 y TH1+TH2 tuvieron un alto incremento con valores de 106.44 y 103.14 mmol de CAT/mg de proteína respectivamente., presentando diferencia significativa ($p>0.05$) con los tratamientos control y TH2. Al transferir los frutos a temperatura de maduración todos los tratamientos presentaron una disminución en su actividad, donde el

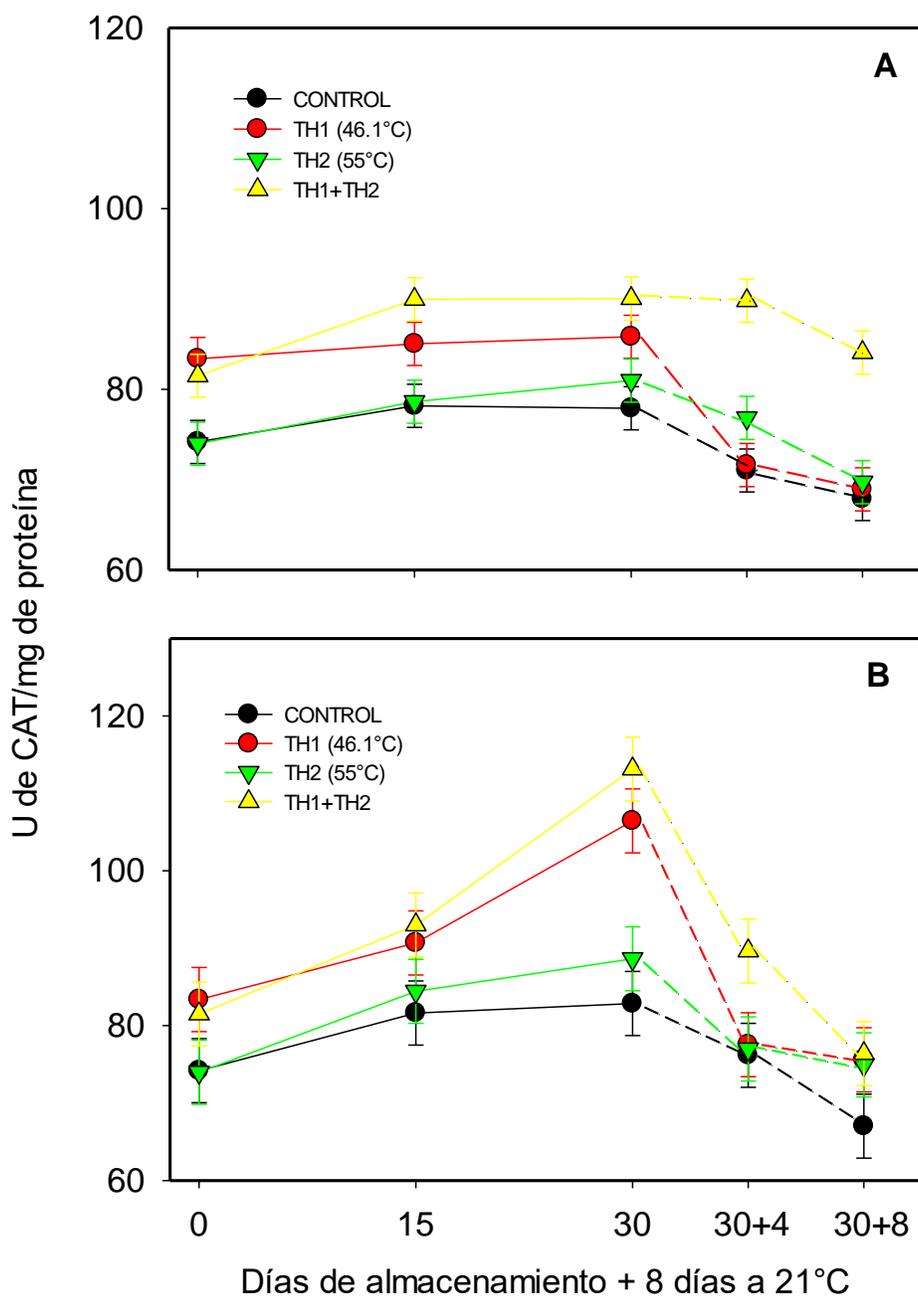


Figura 14. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de CAT en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=4.77(A) y LSD=8.27(B) con $\alpha=0.05$.

tratamiento TH1+TH2 presento diferencia significativa ($p>0.05$) respecto al control. Como se observa de la **figura 14B**, el TH1+TH2 mostró una actividad significativamente superior ($p\leq 0.05$) en comparación al tratamiento control a lo largo del almacenamiento. Este incremento quizás se deba a la labor que llevó a cabo CAT en la descomposición de H_2O_2 para disminuir el estrés oxidativo que sufrió el tejido de mango provocado quizás por un desbalance en las cantidades de EROs, y por consecuencia pudo en parte influir en la disminución de síntomas de DF que le brindó el TH a los frutos.

Diversos estudios han señalado que la actividad de esta enzima se incrementa a la par de la adquisición de tolerancia al estrés ocasionado por el almacenamiento a temperaturas bajas. Shadmani y col. (2015) los cuales aplicaron un doble tratamiento hidrotérmico secuencial en frutos de papaya almacenados a 6 y 12°C, los cuales observaron un aumento en la actividad de CAT a 6°C en el tratamiento hidrotérmico secuencial durante 3 semanas, a lo cual se lo atribuyeron a la descomposición del peróxido de hidrógeno, lo que causaría la formación de radicales hidroxilo y la reducción de daño inducida por enfriamiento, así como también la tolerancia al DF. Por su parte, Nukuntornprakit y col. (2015) utilizaron diferentes variedades de piña almacenadas a 10°C, los cuales observaron que la actividad de CAT estaba correlacionada con el DF, así como la acumulación de ERO's. A su vez, Bassala y El-Hamahmyb (2011) observaron una correlación directa entre la actividad de CAT y el IDF al almacenar durante 20 días a 1 °C frutos de naranja tratada previamente con TH, a lo que concluyeron que a menor DF mayor actividad de CAT, y que el TH induce tolerancia a las bajas temperaturas. En un trabajo llevado a cabo Ghasemnezhad y col. (2008) donde se evaluó el efecto de TH a diferentes tiempos y temperaturas sobre mandarinas cv. Satsuma almacenadas a 2 °C por 8 semanas, se encontró una mayor actividad de CAT en frutos tratados con respecto a los no tratados, lo cual se lo atribuyeron a que los frutos tratados adquirieron cierta tolerancia a DF. Wang y col. (2008) aplicaron ácido 2,4- diclorofenoxiacético en frutos de mango cv. Tainong para generar tolerancia al DF previo a su almacenamiento durante 7 días a 4 °C, y observaron que la actividad de CAT aumentaba en los frutos

tratados en contraste con la de los frutos que no fueron tratados. Por otra parte, Zhao y col (2006) realizaron un estudio en donde se aplicó un tratamiento de estrés a bajas temperaturas como método de inducción de tolerancia al DF en mango cv. Wacheng almacenado a 2 °C durante 12 días, encontrando que la actividad de CAT de estos frutos fue superior en comparación de aquellos frutos que no recibieron tratamiento.

En cuanto al comportamiento que se presentó en la actividad de CAT, donde primero se observó un aumento durante el almacenamiento a 5 °C hasta el día 30 y un posterior una disminución en el periodo de maduración, hay reportes previos que indican que esta enzima se activa como consecuencia de las bajas temperaturas y que los tratamientos que brindan tolerancia al DF ocasionan una actividad enzimática mayor al ser comparados con frutos de menor tolerancia (Malacrida y col., 2006; Zhao y col., 2009).

En los frutos almacenados a 13 °C (**figura 14A**) la actividad de CAT permaneció parcialmente constante al día 15 hasta alcanzar una actividad promedio de 82.96 mmol de CAT/mg de proteína, siendo los tratamientos TH1 y combinación TH1+TH2 los que presentaron los valores más altos de 85.04 y 89.97 mmol de CAT/mg de proteína respectivamente, presentando diferencia significativa ($p>0.05$) con los tratamientos control y TH2 con valores de 78.19 y 78.64 mmol de CAT/mg de proteína. Al día 30 los valores de todos los tratamientos permanecieron constantes siendo el tratamiento TH1+TH2 el que presentó diferencia significativa ($p>0.05$) con los tratamientos control y TH2. Al transferir los frutos a temperatura de maduración (21°C) los valores disminuyeron para los tratamientos control, TH1 y TH2, con excepción de la combinación TH1+TH2 la cual permaneció parcialmente constante significativamente ($p>0.05$) mayor que el resto de los tratamientos. Gómez y col (2009) indicaron que a medida que la maduración de los frutos va avanzando, la actividad de las enzimas antioxidantes disminuye ocasionando un estrés oxidativo, posiblemente participando en cambios bioquímicos de maduración y ablandamiento.

Los resultados de IDF, LE y peroxidación de lípidos indicaron que el inicio del DF se presentan a partir del día 15 de almacenamiento, a la vez que la actividad de SOD sufrió un incremento que coincide con el aumento del daño a las membranas; es probable que CAT haya aumentado en el día 15 debido al incremento constante de la actividad de SOD y la posible acumulación de H₂O₂. Como se muestra en la **figura 14**, la actividad de CAT fue siempre superior en el TH1+TH2 que en el tratamiento control, por lo que se sugiere que CAT jugó un papel importante para la adquisición de la tolerancia al DF. Las diferencias en la actividad de CAT entre las temperaturas de almacenamiento reflejan las diferencias fisiológicas relacionadas con la función del sistema antioxidante en la fruta (Shadmani y col., 2015).

c Ascorbato peroxidasa (APX)

La enzima ascorbato peroxidasa (APX) también forma parte del sistema antioxidante de las plantas y actúa en la eliminación de peróxido de hidrógeno con la ayuda de ácido ascórbico. En este estudio, la actividad de APX se midió siguiendo una cinética de eliminación de ácido ascórbico y fue expresada como U de APX/mg de proteína y los resultados se presentan en la **Figura 15**.

La actividad de APX durante el almacenamiento en frío se vio influenciada tanto por la temperatura de almacenamiento como por la aplicación de TH. El almacenamiento a 5 °C (**figura 15B**) al día 15 mostro un ascenso en el valor de la actividad de APX en todos los tratamientos, siendo el tratamientos TH1+TH2 el que obtuvo la mayor actividad en dicho día presentando diferencia ($p>0.05$) significativa con el control. La actividad de APX mostró una tendencia ascendente en el día 30 de almacenamiento para todos los tratamientos, siendo mayor el incremento en los frutos que fueron tratados con TH1+TH2 con un valor de 452.56 U APX/mg de proteína, presentado diferencia ($p>0.05$) significativa con lo demás tratamientos. Al transferir los frutos a temperatura de maduración estos mostraron un descenso en la actividad de APX al 8vo día, sin presentar diferencia significativa entre ellos ($p>0.05$).

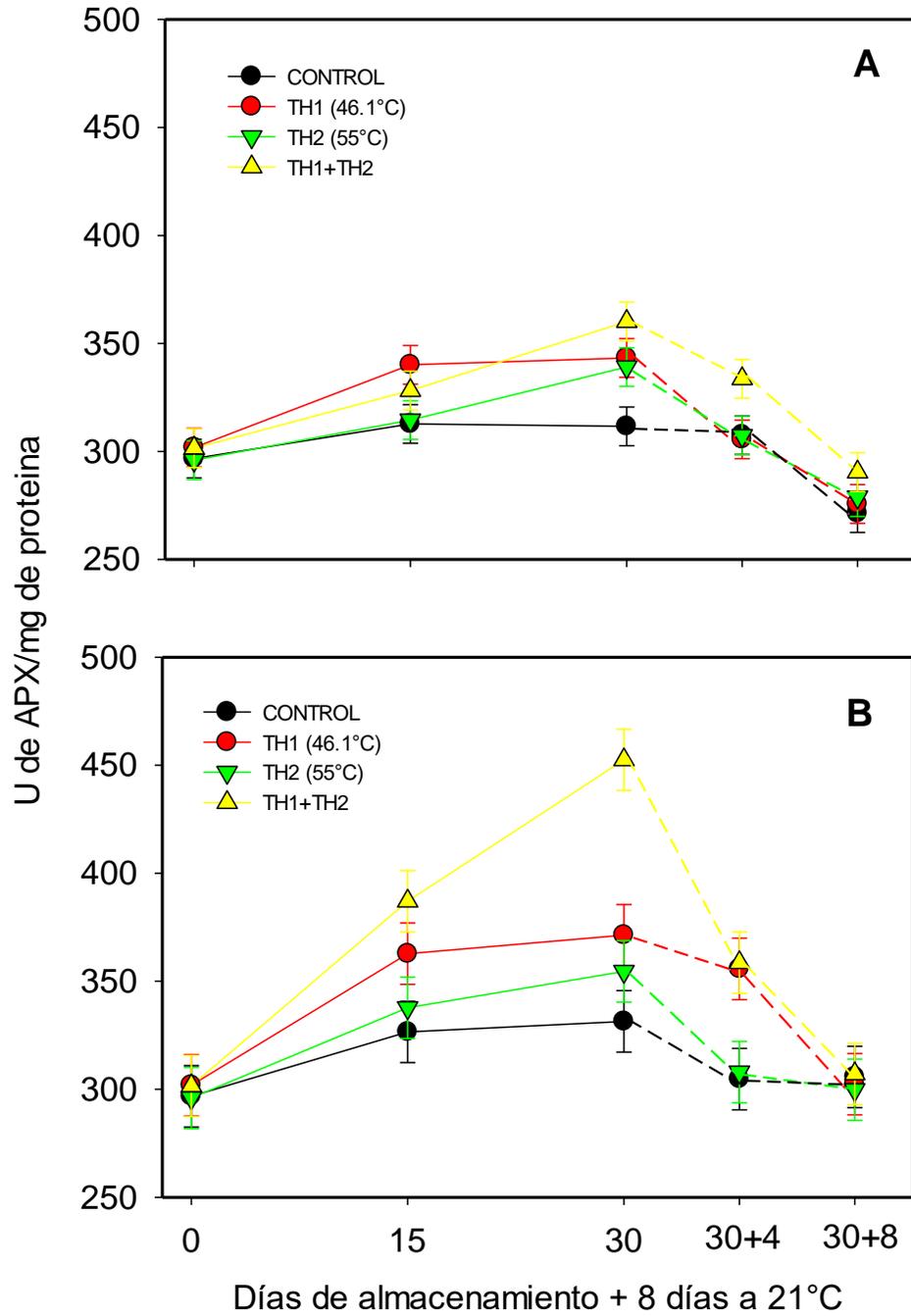


Figura 15. Efecto de los tratamientos control, TH1, TH2 y TH1+TH2 sobre la actividad de APX en frutos de mango Tommy Atkins. Los frutos fueron almacenados durante 30 días a 13°C (A) y 5°C (B) (líneas continuas) y madurados por 4 y 8 días a 21 °C (líneas discontinuas). Las barras verticales indican LSD=17.90(A) y LSD=28.41(B) con $\alpha=0.05$.

Los resultados muestran que la actividad de la enzima APX se incrementó en los frutos almacenados a 5 °C a lo largo de los 30 días de almacenamiento, y que este aumento es similar al comportamiento que tuvieron los índices fisiológicos relacionados con el daño a las membranas (LE y peroxidación de lípidos). En este sentido, el aumento de la actividad de esta enzima pudiera estar relacionado con la disminución de los síntomas de DF ya que los valores más bajos de IDF se observaron en los frutos que se sometieron a TH (Zhao y col., 2006, Shadmani y col., 2015)

Es probable que el fruto de mango haya sufrido un pre-acondicionamiento como consecuencia del estrés producido al aplicar el TH, y que este acondicionamiento haya permitido compensar el estrés posterior durante el almacenamiento a 5 °C y que como parte de una estrategia para compensar el estrés oxidativo ocasionado por las bajas temperaturas haya incrementado la actividad de APX.

La función de APX de eliminar H₂O₂, oxidando para ello al ácido ascórbico, juega un papel elemental en la detoxificación de EROs (Mittler, 2002), los cuales podrían ser los causantes del mayor daño que se produjo en las membranas de los frutos control almacenados a 5°C. Es posible que APX haya influido en la adquisición de la tolerancia al DF por parte de los frutos tratados al incrementarse su actividad a través de los días de almacenamiento como parte de la estrategia del tejido para contrarrestar el estrés oxidativo producido.

El aumento en la actividad de APX al adquirir tolerancia al DF ya se ha reportado previamente en diversos estudios. Por ejemplo, shadmani y col. (2015) aplicaron un doble tratamiento hidrotérmico secuencial, donde observaron en frutos de papa almacenadas a 6 y 12°C que la actividad de APX era mayor en los frutos almacenados a 6°C, lo cual se lo atribuían a que el doble tratamiento hidrotérmico secuencial le brinda cierta protección contra el estrés oxidativo, a su vez protegió al fruto contra el daño en las membranas celulares, así mismo tolerancia a las bajas temperaturas, resultados que coinciden con los obtenidos en este trabajo. Por su

parte, Chongchatuporn y col. (2013) investigaron el grado de daño por frío en el mango los cuales fueron almacenados a 4°C y 12°C, donde observaron que la actividad de APX aumento conforme al tiempo, sin embargo disminuyo al trasladarlos a la temperatura ambiente, ellos concluyeron a que la actividad de APX está relacionada con el DF, ya que los frutos almacenados a bajas temperaturas adquirieron cierta tolerancia al DF. A su vez Zhao y col. (2006) estudiaron el efecto de la aplicación de estrés por frío en mango cv. Wacheng como método de inducción de tolerancia al DF, almacenándolo durante 12 días a 2 °C y observaron como la actividad de APX se incrementaba comparándola con la de los frutos que no recibieron dicho tratamiento. También, Wang y col. (2008) reportaron que la actividad de APX era mayor en frutos de mango tratados con ácido 2,4-diclorofenoxiacético, previo al almacenamiento de 7 días a 4 °C, al mismo tiempo que dicho tratamiento logró reducir eficazmente los síntomas de DF.

Por otro lado, los frutos almacenados a 13 °C (**figura 15A**) mostraron valores de actividad de APX al día inicial de 296.72, 301.85, 295.95 y 301.54 U APX/mg de proteína para el control, TH1, TH2 y TH1+TH2, respectivamente, sin diferencias significativas ($p>0.05$) entre ellos. Al día 15 todos los tratamientos presentaron un incremento, siendo el tratamiento TH1 el que obtuvo el valor más alto de 340.14 U APX/mg de proteína, presentando diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los demás tratamientos.

En el día 30 el tratamiento control y TH1 permanecieron constante, sin embargo, los tratamientos TH2 y TH1+TH2 incrementaron su valor a 339.13 y 360.20 U APX/mg de proteína, respectivamente. El tratamiento control presento diferencia significativa ($p>0.05$) respecto a los demás tratamientos obteniendo el valor más bajo 311.6445 U APX/mg de proteína. Al ser transferidos los frutos a temperatura de maduración (21°C) después de 8 días, estos mostraron un decremento en todos los tratamientos sin presentar diferencia significativa ($p>0.05$). Se sabe que los radicales libres se producen durante la maduración de la fruta a una temperatura óptima, la cual es causa de cambios relacionados con la senescencia, pero el almacenamiento

a temperaturas de refrigeración retarda el proceso normal de maduración e inactiva la producción de radicales libres (Huang y col., 2008).

VIII. CONCLUSIONES

Los tratamientos TH2 (55°C x 5 min) y TH1+TH2 (46.1°C x 75-90 min + 55°C x 5 min) redujeron los síntomas de DF. El tratamiento TH1+TH2 (46.1°C x 75-90 min + 55°C x 5 min) presentó la menor pérdida de peso después de 36 días de almacenamiento.

No hubo un efecto significativo de los tratamientos sobre los parámetros de color (L, a* y °H) y parámetros químicos (SST, pH y AT). El tratamiento TH1+TH2 (46.1°C x 75-90 min + 55°C x 5 min) fue el que obtuvo la mayor retención de firmeza de los frutos almacenados a 5°C.

La aplicación de TH1+TH2 favoreció un menor daño a las membranas y una menor peroxidación de lípidos en los frutos almacenados a 5 °C, mientras que en el almacenamiento a 12 °C no hubo modificaciones.

El TH1+TH2 indujo un incremento en la actividad de las enzimas SOD, CAT y APX en los frutos almacenados a 5 °C a la vez que les confirió una mayor tolerancia al daño por frío.

La aplicación de TH1+TH2 incrementó la tolerancia al DF y activó enzimas antioxidantes que posiblemente brindaron protección a la membrana celular evidenciada por una menor permeabilidad a la lixiviación de electrolitos, una peroxidación de lípidos menor y un IDF más bajo.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Y. 2013. Tesis: Maduración y frigoconservación de frutos de mango Tommy Atkins con diferentes dosis de fertilización. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Pp. 88.

Akbudak B. Akbudak N. Sniz V. y Eris A. 2007. Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes. *Journal of Food Quality*. 30:869-910.

AOAC. 2012. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 16th ed. Washington DC, USA.

Avena J. 1997. Manejo postcosecha del Mango. Empacadoras de Mango de Exportación A.C. México. 47 p.

Baloch M. and Bibi F. 2012. Effect of harvesting and storage conditions on the postharvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *South African Journal of Botany* . 83:109–116.

Bassal, M., y El-Hamahmy, M. 2011. Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 186–191

Bhattacharjee S. 2012. The language of reactive oxygen species signaling in plants. *Journal of Botany*, pp. 1–22.

Brecht J. Do Nascimento N. y Maul F. 2012. Condiciones de temperatura- tiempo que inducen los daños por frío en mangos. Reporte final. Center for Food Distribution and Retailing. University of Florida.

Brezmes J. Saiz G. Llobet E. Vilanova X. y Correig X. 1999. Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta dulce. *Fruticultura Profesional* 105, 6-16.

Brummell D. 2006. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology* 33: 103-119.

Cárdenas W. Vélez R. Siller J. Osuna T. Muy-Rangel M. y Sañudo J. 2012. Chapingo serie horticultura. 18(1): 5-19.

Chidtragool S. Ketsa S. Bowen J. Ferguson I. van Doorn W. 2011. Chilling injury in mango fruit peel: Cultivar differences are related to the activity of phenylalanine ammonia lyase. *Postharvest Biology and Technology*. 62:59–63.

Chongchatuporn U. Ketsa S. van Doorn W. 2013. Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. *Postharvest Biology and Technology*. 86:409–417.

Chun-lu Q. Hong-bo M. Yu-ying Z. Zhi-ping H. and Lin-chun M. 2013. Effect of Maturity Stage on the Gene Expression of Antioxidative Enzymes in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Fruits Under Chilling Stress *Journal of Integrative Agriculture*. 12(8): 1495-1500.

Cohen E. y Rosenberger I. 1990. Postharvest ethanol build up and off-flavor in 'Murcott' tangerine fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115(5), 775-778.

Come D. 1998. Cellular and metabolic effects of cold on fruits and vegetable. *Procc. of Madrid 98- Cost 915. Conference Physiological and Technological aspects of gaseous and thermal treatments of fresh fruits and vegetable*.

Cunha F. Florencio A. Barbosa M. Elesbao A. y Barbosa C. 2000. Características da fruta para exportação: In: *Manga Pós- colheita*. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. EMBRAPA. PP: 14-21.

Dantas de Morais P. y Simão de Assis J. 2004. Quality and conservation of mango cv. Tommy Atkins as affected by maturity stage and storage temperature. *Acta Horticulturae* 645: 639-643.

Dea S. Brecht J. Nunes M. Baldwin E. 2010. Occurrence of chilling injury in fresh-cut 'Kent' mangoes. *Postharvest Biology and Technology*. 57: 61–71.

Dessalegn Y. Ayalew A. Woldetsadik K. 2013. Integrating plant defense inducing chemical, inorganic salt and hot water treatments for the management of postharvest mango anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*. 85: 83–88.

Devasagayam T, Bolor K, Ramasarma T. 2003. Methods for estimating lipid peroxidation: An analysis of merits and demerits. *Indian Journal of Biochemistry y Biophysics Indian Journal of Biochemistry & Biophysics* 40:300-308.

Díaz-Pérez J. Mejía A. Bautista S. Zavaleta R. Villanueva R. López Gómez R. 2001. Response of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore&Stearn] fruit to hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 22: 159–167.

Djioua T. Charles F. Lopez-Lauri F. Filgueiras H. Jr. Ducamp-Collin M. Sallanon H. 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 52:221–226.

El-Zoghbi M. 1994. Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *Food Chemistry*. 49(1), 33-37.

Fallik E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 125-134.

FAOSTAT.FAO. statistical databases agricultura. 2015. [Http://www.fao.org/corp/statistics/](http://www.fao.org/corp/statistics/). Consultado en Abril del 2015.

Galán-Saúco V. 1999. El cultivo del mango. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 298pp.

Galán V. 2009. Libro: el cultivo del mango. 2ª Edición. Instituto canario de investigaciones agrarias. Printed in Spain.

Ghasemnezhad M. Marshal K. Shilton R. y Babalar M. Woolf A. 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'satsuma' mandarins:

Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 364-371.

Gómez-Lim M. 1993. Mango fruit ripening: physiology and molecular biology. *Acta Horticulturae*. 341:484-499.

Gómez P. Ferrer M. Fernández-Trujillo J. Calderón A. y Artés F. Egea-Cortines M y Weiss J. 2009. Structural changes, chemical composition and antioxidant activity of cherry tomato fruits (cv. Micro-Tom) stored under optimal and chilling conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89: 1543–1551.

Guillén-Moreno L. Calderón A. y Ferrer M. 2007. Evolución de metabolitos antioxidantes en frutos de tomate Micro-Tom almacenados a baja temperatura. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Pp 535-542.

Guha S. Ghosal S. y Chattopadhyay U. 1996. Antitumor, immunomodulatory and anti-HIV effect of mangiferin, a naturally occurring glucosylxanthone. *Chemotherapy*. 42: 443–451.

Hatton T. 1990. Reduction of chilling injury with temperature manipulation. *Chilling injury on Horticultural crops*. Ed. Boca Raton, CRC Press. Florida. U.S.A. p. 269-280.

Henríquez C, González R, Krarup C. 2005. Tratamientos térmicos y progresión del daño por enfriamiento y de la pigmentación de tomates en postcosecha. *Ciencia e Investigación Agraria*. 32(2):113-12.

Hong S. Lee H. y Kim D. 2007. Effects of hot water treatment on the storage stability of satsuma mandarin as a postharvest decay control. *Postharvest Biology and Technology*. 43:271-279.

Hu M. Yang D. Huber D. Jiang Y. Li M. Gao Z. Zhang Z. 2014. Reduction of postharvest anthracnose and enhancement of disease resistance in ripening mango fruit by nitric oxide treatment. *Postharvest Biology and Technology*. 97:115–122.

Huang R. Liu J. Lu Y. Xia R. 2008. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. *Postharvest Biol. Technol.* 47, 168–175.

Ibarra I. Ramos P. Hernández C. Jacobo D. 2015. Effects of postharvest ripening on the nutraceutical and physicochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt). *Postharvest Biology and Technology.* 103:45–54.

Infoagro. 2015. El cultivo del mango. http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm. Consultado en Abril 2015.

Imahori Y. Takemura M. y Bai J. 2008. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in Mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology.* 49, 54–60.

Itoh K. 2003. Combined effects of hot water treatment and modified atmosphere packaging on quality tomatoes. *Pack Tech Sci* 16:171-178.

Jacobi K. y Gowanlock D. 1995. Ultrastructural studies of Kensington mango (*Mangifera indica* L.) heat injuries. *HortScience* 30:102-103.

Jacobi K. MacRae E. Hetherington S. 2000. Effects of hot air conditioning of 'Kensington' mango fruit on the response to hot water treatment. *Postharvest Biology and Technology.* 21:39–49.

Jiang T. Jahangir M. Jiang Z. Lu X. y Ying T. 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. *Postharvest Biology and Technology.* 56: 209-215.

Kader A. 1992. Modified atmospheres during transport and storage. *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Division of Agriculture Natural Resources, University of California 3311, 85-92.

Kader A. 2012. *Postharvest technology of horticultural crops.* University of California.

Kader A. Lu M. y Arpaia M. 2000. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha de aguacate. // [index.html/](#) Postharvest Technologies Research and Information Center.

Kalra S. Tandon D. y Singh B. 1995. Mango. Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage and Processing. Ed. D.K. Salunkhe and S.S. Kadam. pp 123-169.

Khaliq G. Mohamed M. Ghazali H. Ding P. Ali A. 2016. Influence of gum arabic coating enriched with calcium chloride on physiological, biochemical and quality responses of mango (*Mangifera indica* L.) fruit stored under low temperature stress. *Postharvest Biology and Technology*. 111:362–369.

Kim Y. Brecht J. Talcott S. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry* .105: 1327–1334.

Kosterman A. y Bompard J. 1993. The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Academic Press. Londres. 233 p.

Kumar S. Yadav P. Jain V. and Malhotra S. 2010. Evaluation of oxidative stress and antioxidative system in ber (*Ziziphus mauritiana* L.) fruits during storage. *Journal of Food Biochemistry*. ISSN 1745-4514.

Labib A. El-Ashwah F. Omran H. y Askar A. 1995. Heat inactivation of mango pectinesterase and polygalacturonase. *Food Chemistry*. 53(2), 137-142.

Laborem G. Marín C. Rangel L. and Espinoza M. 2002. Influencia del pre-enfriamiento sobre la maduración de 27 cultivares de mango (*Mangifera indica* L.). *Bioagro*. 14:113-118.

Lanzan H. Mohd Z. Soh J. y Talkh Z. 1993. The biochemical basis of differential ripening in mango. *Acta Horticulturae* 341:500-509.

Leyva López N. Heredia J. Contreras Angulo L. Muy Rangel M. Campos Saucedo J. González Lizarraga I. 2011. Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad

general de papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 001-015.

Li M. 2003. Peroxidase and superoxide dismutase activities in fig leaves in response to ambient air pollution in a subtropical city. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 45, 168–176.

Li X. Zhu X. Zhao N. Fu D. y Li J. Chen W. 2013. Effects of hot water treatment on anthracnose disease in papaya fruit and its possible mechanism. Postharvest Biology and Technology. 86:437–446.

Liu L. Wei Y. Shi F. Liu C. Liu X. Ji S. 2015. Intermittent warming improves postharvest quality of bell peppers and reduces chilling injury. Postharvest Biology and Technology. 101:18–25.

Lizada C. 1993. Mango. Biochemistry of fruit ripening. Chapman & Hall. London. 255-271.

Lizada M. C. 1991. Postharvest physiology of the mango: a review. Acta Horticulturae. 291:437-453.

López-López M. Vega-Espinoza A. Ayón-Reyna L. López-Valenzuela J. y Vega-García M. 2013. Combined effect of hot water dipping treatment, N-acetylcysteine and calcium on quality retention and enzymatic activity of fresh-cut apple. Journal of Food, Agriculture & Environment. 11: 243-248

Luna G. Arévalo S. Anaya A. Villegas M. y Leyva G. 2006. Calidad de mango 'Ataulfo' sometido a tratamiento hidrotérmico. Revista fitotecnia mexicana. 29:123-128.

Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments. Postharvest Biology and Technology 14: 257–269.

Lurie S, Klein J. 1991. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. Journal of the American Society for Horticultural Science 116(6):1007-1012.

Lyons JM. 1973. Chilling injury in plants. Annual Review of Plant Physiol. 24: 445-466.

Maalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S., y Fallik, E. 2006. The relationship between water loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. Postharvest Biology and Technology, 42, 248–255.

Malacrida C. Valle E. y Boggio S. 2006. Postharvest chilling induces oxidative stress response in the dwarf tomato cultivar Micro-Tom. Physiologia Plantarum 127: 10–18.

Martínez C. Sánchez A. y Hernández C. 2006. Tecnología del manejo poscosecha del mango (*Manquifera indica* L.) para el mercado fresco. Centro agrícola. Año 33. No.2

Martínez- Jávega, J. Cuquerella J. Del Río M. A. y Navarro P. 1993. High temperature conditioning of fortune mandarins to reduce chilling injury during low temperature storage. Institute International do. Froid. Reunion Commune des Commissions C2, D1, D2/D3. Fes. Royaume du Maroc.

Martínez V. 2006. Propiedades de los mangos. El mundo de las plantas. <http://www.botanical-online.com/mangospropiedadesalimentarias.htm>

Martínez-Jávega J. Navarro P. Cuquerella, J. y Del Río, M. 1999. Aplicaciones del frío en postcosecha de cítricos: panorama actual. Rev. Levante Agrícola, nº348, Especial postcosecha, pp. 253-262.

Møller, M. 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 52, 561–591.

Mora J. Gamboa J. y Elizondo R. 2002. Guía para el cultivo del mango. Instituto nacional de innovación y transferencia de tecnología agropecuaria. Costa rica.

Morais P. Filgueiras H. Pinho N. Alves R. Assis J. 2003. Vida útil de mangos cv. tommy atkins recolectados en el estadio de maduración comercial. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 5:26-32.

Nascimento E. Tonetto de Freitas S. Pimentel M. Pasquini C. 2016. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer. *Food Chemistry*. 197:1207–1214.

Nukuntornprakit O. Chanjirakul K. van Doorn G. Siriphanich J. 2015. Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism. *Postharvest Biology and Technology*. 99: 20–26.

Ornelas-Paz J. and Yahia E. 2014. Effect of the moisture content of forced hot air on the postharvest quality and bioactive compounds of mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Manila). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94:1078–1083.

Oquendo T. 2007. Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesamiento de mango. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.

Ovando L. 2005. Recomendaciones en el manejo de postcosecha para mango de la república dominicana. Chemonics international inc. Pp. 119.

Perez B. Bringas E. Cruz L. y Baez R. 2005. Evaluación de cera comestible en mango "tommy atkins" destinado a la comercialización para el turismo parte i: efecto en las características físicoquímicas. *Iberoamericana de tecnología postcosecha*. 7(1):24-32.

Phakawatmongkol W. Ketsa S. Van Doorn W. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology*. 32:115–118.

Pongprasert N, Sekozawa Y, Sugaya S, Gemma H. 2011. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel. *Scientia Horticulturae* 130:73-77.

Raison J. y Orr G. 1990. Proposals for a better understanding of the molecular basis of chilling injury. *Chilling Injury of Horticultural Crops*. pp. 145–164.

Ritenour M. Dou H. McCollum G. 2015. Horticultural sciences Department. UF/IFAS Extension. HS 935. <http://edis.ifas.ufl.edu/hs191>.

Sairam R. Srivastava G. y Saxena D. 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biology Plant*. 43, 245–251.

Sala J. y Lafuente M. 2004. Antioxidant enzymes activities and rind staining in 'Navelina' oranges as affected by storage relative humidity and ethylene conditioning. *Postharvest Biology and Technology* .31: 277–285.

Salman A. Goupil P. Filgueiras H. Charles F. Ledoigt G. Sallanon H. 2007. Controlled atmosphere and heat shock affect PAL1 and HSP90 mRNA accumulation in fresh-cut endive (*Cichorium intybus* L.). *Eur. Food Res. Technol.* 227: 721– 726.

Sánchez G. Re L. Giuliani A. Nunez-Selles A. Davison G. y Leon- Fernández O. 2000. Protective effects of *Mangifera indica* L. extract, mangiferin and selected antioxidants against TPA-induced biomolecules oxidation and peritoneal macrophage activation in mice. *Pharmacology Research*. 42: 565–573.

Sánchez-Bel P. Egea I. Sánchez-Ballesta M. Martínez C. Fernández N. y Romojaro F. 2012. Understanding the mechanisms of chilling injury in bell pepper fruits using the proteomic approach. *Journal of Proteomics*, 75, 5463–5478.

Santoyo J. y Martínez C. 2000. Nuevas variedades de mango con potencial para el sur de Sinaloa. Fundación produce Sinaloa A.C.

Schirra M. y D'Hallewin G. 1997. Storage performance of 'Fortune' mandarins following hot water dips. *Postharvest Biology and Technology*. 10: 229- 238.

Shadmani N. Ahmad H. Saari N. Ding P. y Tajidin N. 2015. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Caricapapaya* L. 'Frangi' as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*. 99: 114-119.

Sharp L. 1986. Hot-water Treatment for control of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) in mangos. *J. Economic Entomol.* 79: 706-708.

Shigeoka S. Ishikawa T. Tamoi M. Miyagawa Y. Takeda T. Yabuta Y. Yoshimura K. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. J. Exp. Bot.53, 1305–1319.

Singh P. and Singh Z. 2012. Role of Membrane Lipid Peroxidation, Enzymatic and Non-enzymatic Antioxidative Systems in the Development of Chilling Injury in Japanese Plums. Journal American. Society. Horticulturae. SCI. 137:473–481.

Slaughter D. 2009. Métodos para manejo de la maduración en mango. Biological and Agricultural Engineering. Revisión Bibliográfica.

Soleimani M. y Bodbodak S. 2014. Postharvest Heat Treatment for Mitigation of Chilling Injury in Fruits and Vegetables. Food Bioprocess Technology . 7:37–53

Tassadit D. Florence C. Félicie L. Filgueiras H. Coudret A. Murillo F. Ducamp-Collin M. y Sallanon H. 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. Postharvest Biology and Technology. 52: 221-226.

Tharanathan R. Yashoda H. y Prabha T. 2006. Mango (*Mangifera indica* L.) “The king of Fruits” an overview. Food Rev. Int. (22): 95-123.

Torres R. Montes E. Pérez O. y Andrade R. 2013. Relación de color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. Información tecnológica. 24(3): 51-56.

Ummarat N. Matsumoto T. Wall M. Seraypheap K. 2011. Changes in antioxidants and fruit quality in hot water-treated ‘Hom Thong’ banana fruit during storage. Scientia Horticulturae. 130:801–807.

USDA 2006. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18.

Vega-Espinoza A. 2010. Aplicación de métodos secuenciales para la conservación poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Imperial. Tesis de

Maestría. Culiacán, México: Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa. 176 p.

Vega-García MO. López-Espinoza G. Chávez-Ontiveros J. Caro-Corrales JJ. Delgado-Vargas F. y López-Valenzuela JA. 2010. Changes in protein expression associated with chilling injury in tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 135 (1): 83:89.

Vela G. León D. M. García H. y De La Cruz J. 2003. Polyphenoloxidase activity during ripening and chilling stress in “Manila” mangoes. *Journal Horticulturae Science Biotechnology*. 78(1): 104-107.

Vela-Gutiérrez G. 2000. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y enzimáticas del mango (*Mangifera indica* cv Manila) y temperaturas de refrigeración. Tesis de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Villalobos- Acuña M. 2008. Parametros de calidad y estándares de clasificación en mango: revisión de información disponible y futuras necesidades de investigación. Department of sciences.

Wall-Medrano A. Olivas-Aguirre F. Velderrain G. Gonzales A. de la Rosa L. Lopez J. y Alvarez E. 2015. El mango: Aspectos agroindustriales, valor nutritivo/funcional y efectos en la salud. *Nutricion Hospitalaria*. 31: 67-75.

Wang B. Wang H. Liang J. Yi J. Zhang L. Lin Y. Wu X. Feng J. y Jiang W. 2008. Reduced chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and the antioxidant response. *Postharvest Biology and Technology*. 48:172–181.

Wang C. y Adam D. 1982. Chilling-induced ethylene production in cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Plant Physiol*. 69:424-427.

Wills R. Mc Glasson W. Graham D. Lee T. y Hall E. 1989. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. Hong Kong, China: BSP Professional Books. 174 p.

Wongsheree T, Ketsa S, Van Doorn W. 2009. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum×citriodourum*) leaves. *Postharvest Biology and Technology* 51: 91–96.

Yahia E. Carrillo L. Rivera D. 1997. Manejo poscosecha del mango. Ed. Universidad de Colima, México.

Yahia E. Soto-Zamora G. Brecht J. Gardea A. 2007. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 44:107–115

Zhang Z. Nakano K. y Maezawa S. 2009. Comparison of the antioxidant enzymes of broccoli after cold or heat shock treatment at different storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 54: 101-105.

Zhang X, Shen L, Li F, Meng D, Sheng J. 2013. Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling injury and activation of antioxidant enzymes in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 79:1-8.

Zhang X. Shen L. Li F. Zhang Y. Meng D. y Sheng J. 2010. Up-regulating arginase contributes to amelioration of chilling stress and the antioxidant system in cherry tomato fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90: 2195–2202.

Zhao D. Shen L. Fan B. Liu KL. Yu M. Zheng Y. Ding Y. y Sheng J. 2009. Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in chilling tolerance at cold storage. *Journal of Food Science*. 74(5): 348-352.

Zhao Z, Jiang W, Cao J, Zhao Y, Gu Y. 2006. Effect of cold-shock treatment on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Wacheng') fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86:2458-2462.

