



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Aplicación de un Tratamiento Hidrotérmico
Cuarentenario-Lactato de Calcio en Mango. Efecto
Sobre la Inducción de Tolerancia al Daño por Frío y la
Actividad de Enzimas Degradativas de Pared Celular**

TESIS

Que presenta

DENISSE AURORA DÍAZ CORONA

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores

DR. MISAEL ODÍN VEGA GARCÍA

DRA. MARTHA EDITH LÓPEZ LÓPEZ

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha perteneciente a la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa bajo la dirección del Dr. Misael Odín Vega García y la MC. Martha Edith López López y la asesoría del Dr. José Ángel López Valenzuela y la MC. Lidia Elena Ayón Reyna. Denisse Aurora Díaz Corona recibió beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán el día 22 del mes de noviembre del año 2017, el (la) que suscribe LN. Denisse Aurora Díaz Corona alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 0521754-7, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Misael Odín Vega García y Dra. Martha Edith López López cede los derechos del trabajo titulado “Aplicación de un tratamiento hidrotérmico cuarentenario-lactato de calcio en mango. Efecto sobre la inducción de tolerancia al daño por frío y la actividad de enzimas degradativas de pared celular”, 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.

Denisse Díaz Corona

Denisse Aurora Díaz Corona

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

A mi **mamá**, por todo su apoyo y palabras de aliento durante todo este proceso, por darme la motivación que en ocasiones me hacía falta recordándome lo orgullosa que esta de mí, por ser el mejor ejemplo y la mejor mamá que pude tener.

A mi hermano **Lenin**, por haberme convencido de mis capacidades cuando ni siquiera yo misma creía en mí y por ser el mejor ejemplo de hermano que cualquiera podría tener aun siendo el menor.

A mi **papá** y mi **abuela**, por todo el apoyo que me han brindado, por sus valiosos consejos y sus palabras de aliento. A mi **nana**, que aunque ya no está con nosotros siempre formará gran parte de mí.

A toda mi familia **Earving, Mónica, Dulce, tía Denise, Rosy, Alex, Zippy**, por el apoyo e interés prestado a mis estudios y todos los buenos momentos.

A mis amigos **Hugo, Dalia, Iz, Elia, Beth, Zule**, por escucharme siempre que lo necesité, por darme palabras de aliento y por su amistad.

A la **Universidad Autónoma de Sinaloa** y a la **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, por permitirme ser parte de su programa y brindarme los recursos necesarios para continuar con mi educación. Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT** por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

A mis directores de tesis **Dr. Misael** por todos sus excelentes consejos, paciencia y su disponibilidad para atenderme cada vez que tenía una duda, a la **Dra. Martha** por toda la grandísima ayuda que me brindo durante mi estancia en el laboratorio, sus regaños, consejos y sobre todo su amistad. Así como mis asesores **Dr. José Ángel** y **M.C. Lidia** por su apoyo en la realización de mi tesis.

A mis compañeros y amigos de laboratorio **Martha, Blanca, Jordi, Lidia, Yesenia, Eliza**, porque siempre estuvieron dispuestos a prestar su ayuda cuando se necesitó y por tener el mejor ambiente de trabajo que puede haber.

A mis compañeros de la MCTA por todos los buenos momentos vividos, en especial **Dennise, Erika y Agustín**, por ser los mejores amigos que pude tener durante este proceso, por las pláticas y risas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
I RESUMEN	1
II INTRODUCCIÓN	5
III REVISIÓN DE LITERATURA	7
A MANGO	7
1 Origen y distribución	7
2 Aspectos botánicos y clasificación taxonómica	8
3 Composición química y nutrimental	11
4 Producción e importancia económica	11
B MANEJO POSCOSECHA	13
1 Sistema de almacenamiento	16
a Daño por frío (DF)	18
b Respuesta enzimática al daño por frío	24
2 Tratamientos Poscosecha	29
a Tratamiento Hidrotérmico	30
b Sales de Calcio	31
IV JUSTIFICACIÓN	37

V	HIPÓTESIS	38
VI	OBJETIVOS	39
	A OBJETIVO GENERAL	39
	B OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
VII	MATERIALES Y MÉTODOS	40
	A MATERIALES	40
	1 Análisis Preliminar	40
	2 Obtención de la materia prima	40
	B MÉTODOS	41
	1 Índice de daño por frío (IDF)	41
	2 Índices fisiológicos de DF	41
	a Lixiviación de electrolitos	41
	b Contenido de malondialdehído (MDA)	42
	3 Parámetros de calidad	43
	a Color externo e interno	43
	b Índice de oscurecimiento (IO)	43
	c Firmeza	43
	d Sólidos Solubles Totales (SST)	44
	e pH	44
	f Acidez titulable (AT)	44

4	Determinación de la actividad de enzimas de la pared celular en respuesta al estrés abiótico	45
a	Preparación del extracto enzimático	45
b	Evaluación de la actividad de PME	45
c	Evaluación de la actividad de PG	46
d	Evaluación de la actividad de β -Gal	47
5	Diseño estadístico	47
VIII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
A	ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO	49
B	ÍNDICES FISIOLÓGICOS DE DF	52
C	ANÁLISIS DE CALIDAD	60
D	ANÁLISIS ENZIMÁTICO	93
1	Pectinmetilesterasa (PME)	94
2	Poligalacturonasa (PG)	98
3	β -Galactosidasa (β -Gal)	103
IX	CONCLUSIONES	109
X	BIBLIOGRAFÍA	110
	ABREVIATURAS	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1	Desarrollo de la maduración del mango.	10
2	Manejo poscosecha de frutos de mango.	17
3	Síntomas de daño por frío en frutos de mango.	19
4	Alteraciones en la integridad de la membrana celular y conformación debido al estrés por daño por frío.	23
5	Representación esquemática de gelificación de la pectina inducida por Ca^{2+} . (a) Moléculas de pectina después de la desesterificación con PME, (b) modelo de gelificación “Caja de huevo” después de la adición de Ca^{2+} .	35
6	Índice de daño por frío en cáscara de mango cv. Keitt, almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	50
7	Porcentaje de electrolitos lixiviados en pulpa de mango cv. Keitt, almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	53
8	Contenido de MDA en pulpa de mango cv. Keitt, almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	58
9	Cambios en luminosidad de la escala de color CIE en muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de	62

	maduración de 7 días a 21 °C (B).	
10	Cambios en el parámetro a^* de la escala de color CIE en muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) y un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	65
11	Cambios en el parámetro b^* de la escala de color CIE en muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	67
12	Cambios en luminosidad de la escala de color CIE en muestras de pulpa de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	70
13	Cambios en el parámetro b^* de la escala de color CIE en muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	73
14	Índice de oscurecimiento en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	76
15	Pérdida de firmeza de muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	80
16	Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de muestras de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	84

17	Cambios en pH durante el almacenamiento de muestras de mango cv. Keitt almacenadas a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	88
18	Cambios en el porcentaje de ácido cítrico durante el almacenamiento de muestras de mango cv. Keitt almacenados a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	91
19	Actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	95
20	Actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).	99
21	Actividad de la enzima β -galactosidasa (β -gal) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5°C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21°C (B).	104

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1	Clasificación taxonómica del mango.	9
2	Composición química del mango fresco.	12
3	Principales países productores de mango en el año 2013.	14
4	Principales estados productores de mango en México en el año 2014.	15

I RESUMEN

El mango es un producto hortofrutícola muy importante para la economía de diversos países. Es un fruto climatérico por lo que una vez recolectado aumenta su tasa de respiración y producción de etileno, lo que ocasiona una rápida maduración y deterioro. El almacenamiento a temperaturas bajas reduce el metabolismo del fruto prolongando su vida de anaquel. Desafortunadamente, el mango es susceptible a sufrir daño por frío cuando es almacenado a temperaturas menores a 10 °C. Estudios previos han demostrado que la aplicación de diversas tecnologías antes del almacenamiento refrigerado contribuye a disminuir la susceptibilidad a las temperaturas bajas. En este sentido, el tratamiento hidrotérmico ha resultado ser benéfico debido a que genera un estrés moderado en el fruto que provoca la activación de un mecanismo de respuesta que le permite tolerar un estrés mayor. Sin embargo, este tratamiento presenta la desventaja de activar enzimas de la pared celular, lo que genera un rápido ablandamiento del fruto. Este proceso podría ser retardado mediante el uso de sales de calcio ya que se ha observado que actúan como agentes reafirmantes en frutos como el mango. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH) cuarentenario (46,1 °C, 75 ó 90 min), sal de lactato de calcio (Ca 0.5% p/v) y su combinación sobre la la calidad poscosecha y la actividad de enzimas degradativas de pared celular (PME, PG y β -Gal) en frutos de mango cv. Keitt durante su almacenamiento a 5 °C, más un periodo de maduración a 21 °C. Los frutos fueron divididos en 4 lotes: Control, TH, Ca y TH-Ca, y almacenados durante 30 días a 5 °C. Se realizaron retiros cada 10 días para colocar la fruta en un segundo

almacenamiento por 7 días a 21 °C. Se evaluó el índice de daño por frío, la lixiviación de electrolitos, el contenido de malondialdehído, color externo e interno, el índice de oscurecimiento, la firmeza, los sólidos solubles totales, el pH, la acidez titulable y la actividad de las enzimas PME, PG y β -Gal. El menor desarrollo de síntomas de DF se observó en los frutos del TH, mientras que la combinación TH-Ca presentó los mejores resultados en calidad de los frutos, ya que mostró una mayor retención de firmeza y color, así como un retraso en la maduración que a su vez fue más uniforme. Estos tratamientos y el Ca lograron reducir la actividad enzimática (PME, PG y β -Gal) en la pared celular, lo cual propició una menor pérdida de la integridad de la misma y permitió extender la vida de anaquel de los frutos de mango. Los resultados indicaron que el tratamiento hidrotérmico cuarentenario en combinación con lactato de calcio (TH-Ca) fue más efectivo en reducir los síntomas de daño por frío en mango cv. Keitt, así como en mantener la calidad de los frutos durante el almacenamiento a 5 °C, disminuyendo la actividad de enzimas degradadoras de pared celular, lo que demuestra la utilidad de estos tratamientos para prolongar la vida de anaquel del fruto.

ABSTRACT

Mango is a very important horticultural product for the economy of different countries. It is a climacteric fruit that shows an increase in respiration rate and ethylene production, which causes a rapid ripening and deterioration. The storage at low temperatures allows to reduce the metabolism of the fruit and to prolong its shelf life. Unfortunately, the fruit is susceptible to chilling injury when stored at temperatures below 10 °C. Previous studies have shown that the application of various technologies before cold storage helps to reduce the susceptibility to low temperatures. In this regard, the hydrothermal treatment has been beneficial because it generates a moderate stress in the fruit that activates a response mechanism that allows it to tolerate a greater stress. However, this thermal treatment has the disadvantage of activating enzymes of the cell wall, which generates a rapid softening of the fruit. This process could be delayed by the use of calcium salts since it has been observed that they act as firming agents in fruits such as mango. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of the application of a quarantine (46.1 ° C, 75 or 90 min) hydrothermal treatment (HT), calcium lactate salt (Ca 0.5% w / v) and its combination on the tolerance to chilling injury (CI), as well as on the post-harvest quality and enzymatic activity (PME, PG and β -Gal) of mango fruit cv. Keitt during storage at 5 ° C, plus a ripening period at 21 °C. Fruits were divided into four lots: Control, HW, calcium lactate and HW-calcium lactate, and then stored at 5°C for 30 days. Every ten days, fruit of each treatment were randomly removed and stored at 21°C for 7 days. Chilling injury index, electrolyte leakage, content of malondialdehyde (MDA), luminosity, browning index, firmness, soluble solids content

(SSC), pH, titratable acidity, and the activity of PME, PG and β -Gal enzymes were evaluated. In general, the less incidence of CI symptoms was observed in HT fruit, while the combination HT-Ca showed the best results in fruit quality, including greater retention of firmness and color, as well as a more delayed and uniform ripening process. In the same way, this treatment and Ca reduced the enzymatic activity (PME, PG and β -Gal) in the cell wall, which reduced the loss of the cell wall integrity and allowed to extend the shelf life of mango fruit. The results indicated that the quarantine hydrothermal treatment in combination with calcium lactate (HW-Ca) was more effective in reducing the symptoms of chilling injury in mango cv. Keitt, as well as maintaining the quality of the fruits during storage at 5 ° C, decreasing the activity of cellular degrading enzymes, which demonstrates the usefulness of these treatments to prolong the shelf life of the fruit.

II INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es un fruto tropical muy popular nativo del sur de Asia. Es muy importante para el comercio, tanto en su presentación en fresco como procesado, ya que forma parte de nuestra dieta como un alimento regular. La preferencia en su consumo se debe a sus atributos sensoriales como olor, sabor, apariencia y excelentes propiedades nutricionales, ya que al contar con una gran cantidad de antioxidantes, vitaminas y minerales es considerado como un alimento funcional (Tharanathan y col 2006).

Los frutos de mango son alimentos altamente perecederos por lo que sufren un rápido deterioro de su calidad si no son manipulados correctamente (Caparino y col 2012). El almacenamiento a temperaturas bajas se utiliza habitualmente con el fin de mantener la calidad de los frutos, sin embargo, la exposición a temperaturas por debajo de la crítica (10 °C) puede provocar la presencia de síntomas de daño por frío (DF). Se ha demostrado que la aplicación de tratamientos térmicos (aire caliente e hidrotérmico) previo al almacenamiento ha logrado reducir la incidencia de síntomas de DF (Lurie y col 1997). A este respecto, cuando el mango es cosechado y llevado al centro de empacado es sometido a un tratamiento hidrotérmico (TH, 46.1 °C) como parte de un protocolo para mantenerlo libre de la mosca de la fruta. Sin embargo, el TH genera cambios en el metabolismo del fruto que provocan su rápida deterioración sobre todo en la firmeza. El TH prolongado provoca la activación de las enzimas pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) (Muy-Rangel y col 2009), las cuales generan la desmetilación de los ácidos galacturónicos y el

rompimiento de las estructuras pécticas, respectivamente, lo que se ve reflejado en el ablandamiento acelerado del fruto (Carvajal y col 2015).

Otro de los tratamientos aplicados a diversos frutos hortofrutícolas son las sales de calcio, ya que este mineral mantiene la turgencia celular, firmeza de los tejidos y causa un retardo del catabolismo de lípidos de membrana y como consecuencia se extiende la vida poscosecha de diversos frutos (Adelaide y col 2013). El calcio juega un papel muy importante en la estabilización de la membrana celular mediante el mantenimiento de la permeabilidad selectiva y la integridad, las sales de calcio cumplen la función de agentes reafirmantes, debido a que los iones de calcio actúan sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre éstas, aumentando la fuerza de la pared celular en los productos hortofrutícolas (Contreras y col 2011).

La combinación de un TH con sales de calcio puede reducir la pérdida de firmeza en el tejido debido a la formación de pectatos de calcio, los cuales estabilizan la membrana, aumentan la rigidez de la lámina media y la pared celular (García-Martínez y col 2015). Por ello, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH) en combinación con lactato de calcio sobre la calidad y actividad de enzimas presentes en la pared celular de frutos de mango durante su almacenamiento a temperaturas de daño por frío.

III REVISIÓN DE LITERATURA

A MANGO

El mango es uno de los frutos tropicales más apreciados y de alta importancia económica, ya que presenta una gran demanda a nivel mundial gracias a su agradable sabor, atractivo color y valor nutricional (Petit-Jiménez y col 2009). Además, es utilizado por la industria alimentaria como materia prima para la elaboración de algunos productos como jugo, mermelada, conservas, dulces, fruto deshidratado, entre otros (SIAP 2012).

1 Origen y distribución

Las primeras noticias sobre el mango para el mundo occidental llegan con la narración de la expedición de Alejandro Magno (327 a. C.). En la literatura china del siglo VII, se le ha descrito como un cultivo frutal bien conocido en las partes más cálidas de China e Indochina (Galán-Saúco 2009).

Si bien los árabes y fenicios parecen haber sido responsables de la llegada de este fruto al este de África e incluso a Madagascar hacia el siglo X, la dispersión del mango hacia otras zonas tropicales fue muy lenta y llega de la mano de los marineros españoles y portugueses siguiendo dos rutas distintas. Aunque en Asia el cultivo comercial del mango alcanzó su punto más alto en el siglo XVI, no fue sino hasta el siglo XX cuando comenzó su desarrollo en el Hemisferio Occidental. Pese a que su introducción en el continente Americano fue tardía, hoy en día es uno de los

frutos más apreciados en los países latinoamericanos, convirtiéndose en una parte muy importante de nuestra cultura (Galán-Saúco 2009).

2 Aspectos botánicos y clasificación taxonómica

El Mango pertenece a la familia *Anacardiaceae* y a la especie *Mangífera indica* L. (**Cuadro 1**). Esta familia es numerosa ya que consta de más de 60 géneros con 500 especies de árboles, arbustos y bejucos leñosos. Regularmente son árboles frutales de gran valor económico y son plantas distribuidas en el trópico y sub-trópico (Correa y Carlos 2012).

El mango crece en un árbol que recibe el mismo nombre que el fruto. Este producto hortofrutícola es de forma variable, puede pesar de 200 g hasta 2 Kg, tiene la cáscara lisa de color variable, la cual presenta cambios a lo largo de la maduración, presentando colores que van desde un verde oscuro a verde claro y amarillo o rojo en su etapa madura (**Figura 1**), en la pulpa también se presentan cambios de coloración que van de amarillo verdoso al amarillo o anaranjado como consecuencia de la degradación de clorofilas y la síntesis de pigmentos como carotenoides y/o antocianinas (Magrama 2015).

El mango al crecer en climas tropicales y subtropicales, requiere un ambiente soleado y temperaturas entre 15 y 36 °C, siendo 25 °C la temperatura óptima de crecimiento y 30 °C la óptima de maduración (Magrama 2015). Se trata de un fruto climatérico, es decir, una vez recolectado aumenta su tasa de respiración y la producción de etileno, lo que ocasiona que siga madurando y que sufra algunos cambios bioquímicos, como son los cambios de color en la cáscara, el aumento en el

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del mango.

Reino: *Plantae*

Clase: *Equisetopsida*

Subclase: *Magnoliidae*

Orden: *Sapindales*

Suborden: *Rosanae*

Familia: *Anacardiaceae*

Género: *Mangifera*

Especie: *M. indica*

Trópicos (2015); The plant list (2013).

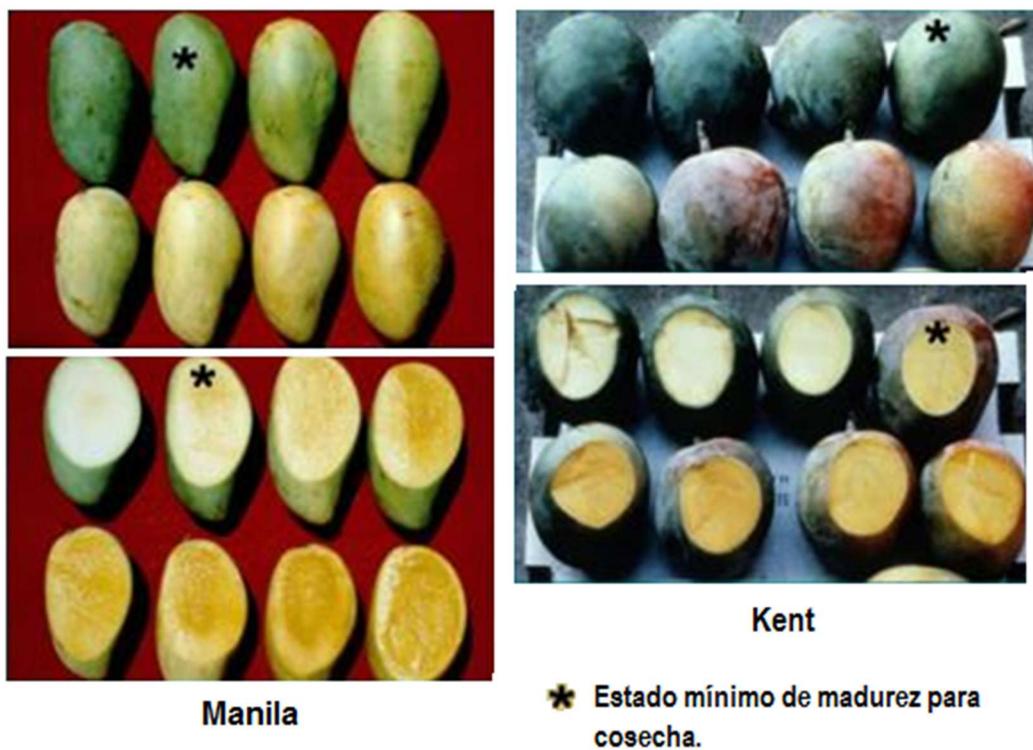


Figura 1. Desarrollo del color durante la maduración del fruto de mango (Cantwell 2015).

contenido de azúcares y el descenso en el de almidón, así como la disminución de ácidos orgánicos (Cantwell 2015).

3 Composición química y nutrimental

El mango tiene una cáscara y una pulpa de buen olor y sabor, muy digestivo, rico en nutrimentos tales como: ácidos orgánicos, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos, azúcares, etc. En promedio esta fruta está constituida por: 85% de cáscara y pulpa y 15% de semilla. En el **Cuadro 2** se muestra la composición química del mango fresco, donde podemos observar que presenta un contenido elevado de agua (83%), un aporte calórico moderado (59 kcal/100 g), el cual proviene en su mayoría del contenido de hidratos de carbono y un considerable aporte de fibra (2.3 g/100 g). Tiene un aporte alto de vitaminas como A, C, E y ácido fólico. En cuanto a su contenido mineral, destaca por su contenido elevado en potasio, seguido de un aporte destacado en fósforo y calcio (Correa y Carlos 2012).

Las frutas son una de las mayores fuentes dietarias de nutrimentos. Su ingesta diaria está asociada con un riesgo menor de cáncer, enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico y otras enfermedades degenerativas, así como con el mantenimiento normal de las funciones corporales (Boeing y col 2012). El mango, al igual que los cítricos, puede ser considerado una buena fuente de antioxidantes, como lo son el ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos (Ma y col 2011).

4 Producción e importancia económica

En los últimos años la producción de mango ha experimentado un aumento del 43% debido a sus atractivas propiedades sensoriales, así como por el

Cuadro 2. Composición química del mango fresco.

Componentes	Contenido por 100 g de fruto fresco
Energía Total	245/59 KJ/Kcal
Grasa Total	0.2 g
Carbohidratos	13.4 g
Fibra dietética total	2.3 g
Proteína total	0.6 g
Agua	83 g
Vitaminas	
Vitamina A	25 µg
Vitamina E	1.8 mg
Folato total	31 µg
Vitamina B-6	0.08 mg
Vitamina C	44 mg
Minerales	
Calcio	20 mg
Hierro	1.2 mg
Potasio	150 mg
Magnesio	9 mg
Fósforo	22 mg
Zinc	0.1 mg

Correa y Carlos (2012).

reconocimiento de sus propiedades nutricionales y sus beneficios para la salud, siendo los principales productores a nivel mundial, países como India, China, Tailandia, Indonesia, México, Pakistán, Brasil, Bangladesh, Egipto, Filipinas, Nigeria y Sudán (**Cuadro 3**) (Dorta y col 2014; FAOSTAT 2017).

El cultivo de mango en México genera un volumen de producción de 1.9 millones de toneladas (SAGARPA 2017) y es producido comercialmente en 23 estados, destacando Sinaloa, Guerrero, Nayarit, Chiapas, Michoacán, Oaxaca y Jalisco, en donde se concentra el 92% de la superficie cosechada (**Cuadro 4**). En el año 2016 Sinaloa fue el segundo productor de mango en el país con 334 mil toneladas, lo que representa el 16% de la producción nacional, aproximadamente, siendo en el 2017 el mayor productor de mango con 368 mil toneladas (SIAP 2017). La superficie de cultivo en Sinaloa abarca 28,421 hectáreas, la mayor parte (84%) concentrada en la zona sur y con un rendimiento de 11.6 ton/ha (SIAP 2017).

México produce numerosas variedades de mango, pero tradicionalmente se han comercializado Tommy Atkins, Haden, Kent, y Keitt. En el caso de Sinaloa, las variedades más importantes en la actualidad son Kent, Keitt, Ataulfo y Tommy Atkins (SIAP 2017).

B MANEJO POSCOSECHA

La calidad de los frutos de mango al momento de la cosecha y en la madurez de consumo depende en gran medida de la velocidad con la que ocurren los cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos durante la maduración (García-Martínez y col 2015).

Cuadro 3. Principales países productores de mango en el año 2014.

País	Toneladas
1. India	18,431,330
2. China	4,522,019
3. Tailandia	3,597,589
4. Indonesia	2,431,329
5. México	1,754,609
6. Pakistán	1,716,882
7. Brasil	1,132,463
8. Bangladesh	992,296
9. Egipto	927,352
10. Filipinas	899,014
11. Nigeria	875,000
12. Sudán	641,600

FAOSTAT (2017).

Cuadro 4. Principales estados productores de mango en México en el año 2017.

Estado	Toneladas
1. Sinaloa	368,302
2. Guerrero	361,792
3. Nayarit	323,052
4. Chiapas	264,507
5. Michoacán	151,542
6. Oaxaca	148,401
7. Jalisco	106,464
8. Veracruz	90,975
9. Colima	56,457
10. Campeche	30,212
Producción total:	1.9 millones

SIAP (2017).

El mango es un fruto altamente perecedero y la pérdida de su calidad puede ser reducida mediante el desarrollo y la aplicación de mejoras durante el manejo poscosecha. El fruto es cosechado en estado verde-maduro para poder soportar los efectos del embalaje y transporte y posteriormente se le aplica un tratamiento hidrotérmico cuarentenario, seguido por una clasificación, empaclado y almacenamiento (**Figura 2**). Las pérdidas poscosecha más fuertes en el mango ocurren debido a factores como daños mecánicos (golpes, raspones y magulladuras), daños por plagas (principalmente mosca de la fruta), daño por enfermedades (antracnosis y pudriciones) y daños por desórdenes físicos o fisiológicos (frío, látex, sol y altas temperaturas). El manejo poscosecha y la naturaleza climatérica del mango son los principales problemas para alcanzar una mayor vida de anaquel, por estas razones es importante contar con un sistema de almacenamiento adecuado para alargar lo más posible la vida poscosecha del mango manteniendo su calidad (Makwana y col 2014).

1 Sistema de almacenamiento

El almacenamiento en refrigeración es uno de los métodos más utilizados para reducir diversos procesos metabólicos que se llevan a cabo en los productos hortofrutícolas con la finalidad de alargar la vida poscosecha de los mismos (Ghasemnezhad y col 2008). Las temperaturas bajas disminuyen la actividad de las enzimas y el desarrollo de microorganismos responsables del deterioro de las frutas y hortalizas. De esta manera, se reduce el ritmo respiratorio, conservando las reservas que normalmente son consumidas en este proceso, se retarda la maduración y se minimiza el déficit de las presiones de vapor entre el producto y el

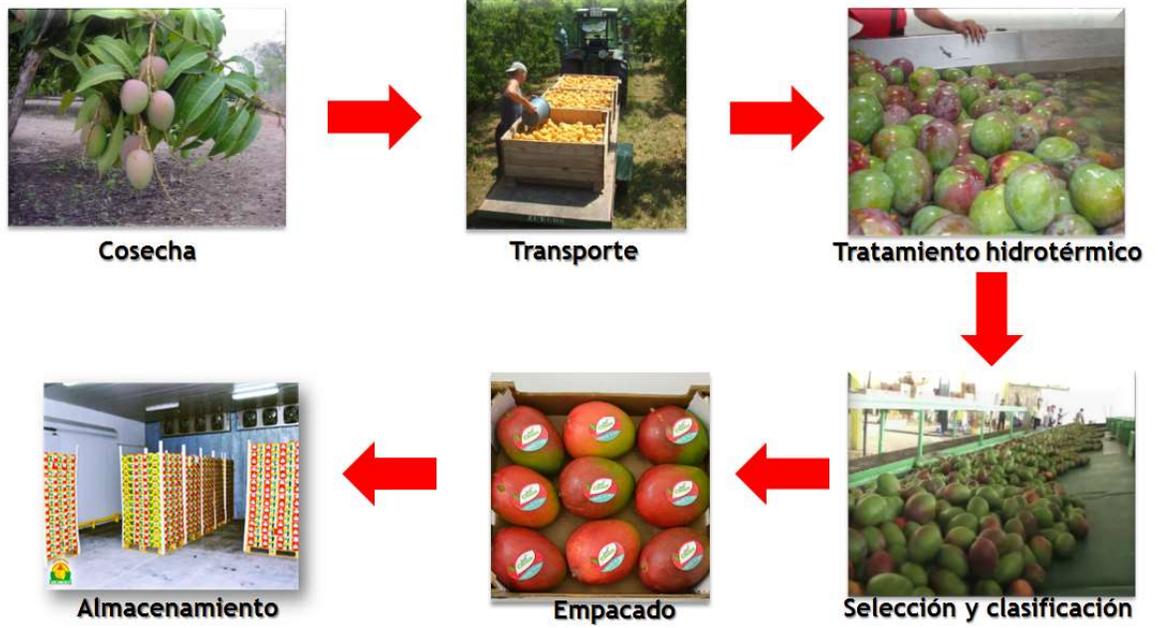


Figura 2. Manejo poscosecha de frutos de mango (Carrera y col 2009; Makwana y col 2014).

medio ambiente. La suma de estos factores favorece la conservación de la frescura del producto así como la preservación de la calidad y el valor nutritivo; aunque hay que tomar en cuenta el tiempo y la temperatura a la cual puede ser almacenado el fruto, lo cual dependerá de sus características intrínsecas, ya que algunos son más perecederos que otros (FAO 2017). De forma general las temperaturas de almacenamiento en frío recomendadas para retrasar la maduración en mango son de 7 a 9 °C para frutos maduros, y entre 13 y 15 °C para frutos verde-maduros; durante estas temperaturas pueden conservarse los mangos de 2 a 4 semanas (Zamora-Cienfuegos y col 2004). El uso de temperaturas por debajo de estos valores puede favorecer la presencia de daño por frío en frutos verde-maduros (Chongchatuporn y col 2013).

a Daño por frío (DF)

La mayoría de los frutos tropicales o subtropicales son susceptibles al DF, un desorden que se presenta cuando son expuestos a temperaturas por debajo de los 10 °C pero por arriba de temperaturas de congelación. 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 (Gómez y col 2009).

Los síntomas de daño por frío en mango incluyen maduración irregular, desarrollo pobre de color y sabor, picado de la superficie, color grisáceo de la cáscara parecido al escaldado, aumento en la susceptibilidad a las pudriciones, oscurecimiento de lenticelas, áreas necróticas (**Figura 3**) y, en casos severos, oscurecimiento de la pulpa. La incidencia y severidad de este desorden dependen



**Maduración
irregular**



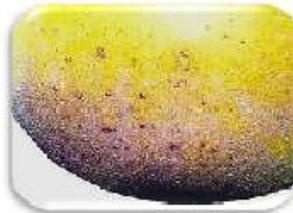
**Picado en la
superficie**



Pudriciones



Escaldado



**Oscurecimiento
de lenticelas**



Áreas necróticas

Figura 3. Síntomas de daño por frío en frutos de mango (Magrama 2015).

del cultivar, estado de madurez, estado metabólico del tejido, factores ambientales, luz, humedad relativa y de la temperatura y tiempo de exposición (Magrama 2015).

El origen del cultivo es un factor que puede determinar si la especie de la planta será sensible o resistente al DF. En las especies sensibles la temperatura crítica podría variar dependiendo de la etapa de desarrollo o de la madurez. Por ejemplo, los aguacates, melones, mangos, papayas y tomates, son más sensibles al daño por frío cuando están en etapas tempranas de maduración (Paull 1990).

El estado metabólico y la composición química del tejido al momento de la exposición a temperaturas bajas pueden afectar la resistencia del tejido al daño. Los tejidos resistentes tienden a tener un grado de insaturación de ácidos grasos mayor en la membrana lipídica en comparación con los tejidos más sensibles (Tabacchi y col 1979). También, Purvis (1981) reportó una correlación positiva entre niveles altos de azúcares reductores y prolina con respecto a la resistencia al daño por frío en frutos de uva.

Entre los factores ambientales, la temperatura es obviamente el principal elemento que puede influenciar en la severidad del daño por frío. La luz es otro factor que puede intervenir bajo ciertas circunstancias ya que las alteraciones estructurales inducidas por el daño por frío de las proteínas asociadas con el fotosistema II podría ser el evento primario del daño causado por luz (Moll y Steinback 1986). La humedad relativa durante el almacenamiento también afecta la severidad del daño por frío. Generalmente, los daños ocasionados por este desorden

son más severos bajo humedad relativa baja en comparación con la presencia de humedades relativas altas (Wang 2010).

La exposición prolongada de los frutos tropicales y subtropicales a temperaturas bajas resulta en varias alteraciones bioquímicas y fisiológicas las cuales conllevan una variedad de síntomas del daño por frío. Existen dos hipótesis para explicar cómo las temperaturas de daño inducen varias respuestas y causan efectos negativos a los frutos. La primera sugiere que hay una sola respuesta primaria en respuesta a las temperaturas bajas para todas las especies susceptibles al daño. Esta respuesta primaria dirigiría hacia eventos secundarios y después se desarrollaría en una variedad de síntomas de daño por frío. Varios eventos han sido propuestos como posibles candidatos para la respuesta primaria incluyendo una transición de fase en la membrana lipídica, una alteración en la cinética o la especificidad del sustrato de una enzima reguladora, un cambio en la estructura del citoesqueleto, o un incremento en el calcio citosólico (Raison y Orr 1990). Después de una exposición prolongada al daño por parte de especies sensibles, la respuesta primaria dirigiría hacia los eventos secundarios, los que incluirían la pérdida de la integridad de la membrana, la lixiviación de solutos, la pérdida de compartimentalización, una disminución en el rango de la actividad oxidativa mitocondrial, un incremento en la energía de activación de las enzimas asociadas a la membrana, el cese del flujo protoplasmático, una disminución de la velocidad fotosintética, la desorganización de la estructura celular y subcelular, la acumulación de sustancias tóxicas, la estimulación en la producción de etileno, un incremento en

la velocidad de respiración y la manifestación de una mayor variedad de síntomas de daño por frío (Wang 2010).

El segundo concepto propone la idea de que el daño por frío se origina de una multitud de respuestas a las temperaturas bajas. Debido a la diversidad de frutos tropicales y subtropicales, es difícil creer que una sola respuesta primaria universal puede encender una cadena de eventos y escalar a un rango amplio de síntomas de daño por frío. Por lo tanto, el segundo concepto sugiere que existen múltiples respuestas sobre un rango amplio de condiciones (Lyons y Breidenbach 1987; Shewfelt 1992).

También se presenta un fenómeno llamado estrés secundario, siendo el estrés oxidativo uno de los más comunes y puede ocurrir debido al estrés tanto abiótico como biótico, y el daño por frío no es la excepción. La pérdida en la integridad de la membrana se ve impulsada debido al estrés oxidativo ya que el estrés por frío incrementa los niveles de ERO's (especies reactivas de oxígeno) las cuales estimulan la peroxidación en las membranas celulares (**Figura 4**) (Sevillano y col 2009).

Saltveit (2000) indica que son diversos los mecanismos involucrados en el desarrollo de síntomas de daño por frío. A temperaturas de enfriamiento, se presenta la peroxidación de los ácidos grasos de la membrana, el incremento del grado de saturación de estos ácidos grasos y la degradación de fosfolípidos y galactolípidos, los cuales conducen a una reducción de la fluidez de la membrana y su rendimiento, así como también se presentará una afectación del metabolismo de

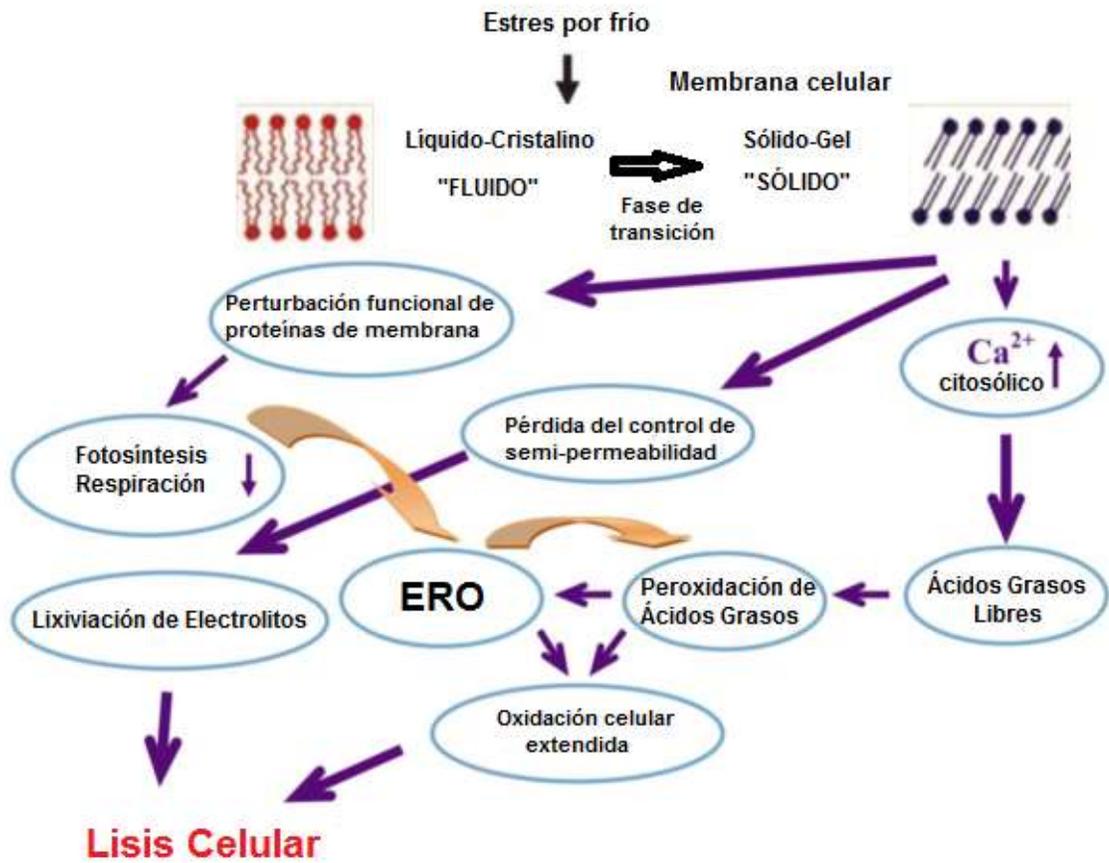


Figura 4. Alteraciones en la integridad de la membrana celular y conformación debido al estrés por daño por frío (Marangoni y col 1996).

la pared celular, ya que el almacenamiento de frutos susceptibles al DF en temperaturas bajas está caracterizado por una pulpa con poco jugo y una textura seca ya que el fruto ha madurado. Por lo tanto, si el fruto es expuesto a temperaturas muy bajas por periodos largos de tiempo ocurrirá una ruptura celular, causando filtraciones de agua intracelular, iones y metabolitos (Aghdam y Bodbodak 2013), así como el incremento en la actividad de algunas enzimas degradadoras de pared celular, asociadas con el ablandamiento de los frutos durante la maduración (Roe and Bruemmer 1981).

b Respuesta enzimática al daño por frío

La pared celular de las plantas es metabólicamente activa, controla la forma, tamaño y el rango de crecimiento de la célula, la textura y la fuerza del tejido, y la resistencia de la célula hacia ataques microbianos. Se compone principalmente de celulosa (25-40% de su peso seco), mientras que el resto está compuesto por otros polisacáridos como pectinas y hemicelulosa. También se encuentran presentes algunas glucoproteínas estructurales y otros polímeros, así como enzimas (PME, PG, β -Gal, entre otras) y metabolitos secundarios (fenoles, ligninas, flavonoides, entre otros) (Fry 2017).

Unos de los constituyentes primarios de la pared celular y la lamina media son las pectinas. En conjunto con las microfibras de celulosa contribuyen con la textura del fruto mientras que pueden estar virtualmente ausentes en las paredes secundarias de la célula. El contenido de pectina varía de fruto a fruto (Thakur y col 1997). Las pectinas son heteropolisacáridos estructuralmente diversos que contienen ácidos galacturónicos parcialmente metilados, los cuales carecen de una columna

vertebral de galacturonanos (arabinasas, galactanos y arabinogalactanos) (Aspinall 1980).

Durante la maduración los frutos pierden firmeza, y a menos que el fruto sea deshidratado, las propiedades osmóticas de la célula y la presión de turgor se mantienen usualmente constantes. En el tejido de plantas se asume que la presión de turgor por sí misma no contribuye a una pérdida de firmeza, en su lugar es el resultado de cambios en los polisacáridos de la pared celular (Van Buren 1979). Muchos trabajos relacionados con los cambios químicos en la pared celular en cuanto al ablandamiento de los frutos se han enfocado hacia la caracterización de los cambios en las sustancias pécticas (Krall y McFeeters 1998). Al ser solubles en agua, las pectinas pueden ser desesterificadas y despolimerizadas más que nada por reacciones enzimáticas. El retraso en el ablandamiento por medio de la adición de iones de Ca^{++} está asociado con la habilidad de los cationes divalentes para formar puentes de calcio entre las cadenas de polisacáridos pécticos. En algunos casos, la degradación limitada de los polímeros pécticos puede ser debido a la desmetilación de los grupos de ácido galacturónico. La pérdida de firmeza durante el tratamiento hidrotérmico de frutas ácidas ha sido atribuida a la hidrólisis de uniones glicosídicas en los polisacáridos de la pared celular (Tharanathan y col 2006). Aunque todos estos procesos se pueden ver alterados debido a la presencia de diversos tipos de daños al fruto durante su manejo poscosecha, incluido el daño por frío.

El daño por frío ocasiona modificaciones en la estructura de la pared celular. La relación entre dichas modificaciones y el desarrollo del daño en la superficie del

fruto ha sido estudiada previamente. Mercer y Smittle (1992) describieron que el rompimiento del tejido en pepino resultaba en un incremento en la concentración de pectinas solubles en agua. Otros desórdenes como la picadura en la cáscara afectan a frutos cítricos y provoca la apariencia de áreas colapsadas en el flavedo (Cajuste and Lafuente 2007), estas lesiones han sido asociadas con cambios composicionales y estructurales en la pared celular (Cajuste y col 2011; Vicente y col 2013). Estos síntomas son atribuidos parcialmente a los cambios en la solubilización y despolimerización de la pectina. El proceso de solubilización incrementa la capacidad de la pectina para ser extraída de la pared celular por medio de solventes acuosos, mientras que la despolimerización representa una disminución en la masa molecular debido a la actividad de las enzimas degradadoras de pared celular (Redgwell y col 1997).

Las enzimas degradadoras de la pared celular son un grupo de enzimas en las que se incluyen pectinmetilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG) y β -galactosidasa (β -Gal) (Paull y Chen 1983). Éstas experimentan un incremento en su actividad durante la maduración del fruto y se les considera como las responsables de la acumulación de pectinas solubles en agua y la disminución de pectinas unidas iónica y covalentemente a la fase fibrilar (Lazan y col 1995). La actividad de estas enzimas dirige a la solubilización de las pectinas de la pared celular que contribuyen al ablandamiento de los frutos (Cosgrove 2001).

1) Pectinmetilesterasa (PME) y Poligalacturonasa (PG)

La función principal de la enzima PME es remover los grupos metil de los galacturonanos de la pared celular, convirtiendo las pectinas esterificadas a pectinas

desesterificadas, las cuales son sustratos para la enzima PG. Esta enzima adhiere los enlaces α -1,4 entre los residuos de ácidos galacturónicos de los galacturonanos (Carvajal y col 2015). La actividad de estas enzimas explica los cambios de textura que colectivamente contribuyen al ablandamiento del fruto, incrementando la susceptibilidad hacia el ataque por patógenos y finalmente al deterioro del tejido (Carrillo-López y col 2002). Durante el desarrollo del fruto y maduración la desmetilación de pectina catalizada por PME podría retrasar la pérdida de firmeza, ya que los grupos carboxilo desmetilados pueden entrecruzarse con cationes divalentes como el calcio, reforzando así la red de pectinas en la pared celular y reduciendo su porosidad (Brummell y col 2001; Voragen y col 2009). Debido a esto se han realizado diversos estudios donde se ha evaluado el comportamiento de estas enzimas. Al respecto, Carvajal y col (2015) observaron un incremento en las actividades de PME y PG durante el almacenamiento de calabazas a temperaturas bajas, lo cual correlacionaron positivamente con el daño por frío y el ablandamiento del fruto. Asimismo, en un estudio realizado por Brummell y col (2004) se confirmó una baja solubilización de pectinas de alto peso molecular asociada a la maduración, sin mostrar el incremento característico de jugo lixiviado en el fruto. Aun así, este reporte también mostró que la naturaleza del proceso de maduración de frutos con daño por frío era más compleja que una simple alteración en el balance entre PME y PG.

Con respecto al comportamiento de estas enzimas cuando se les aplica un tratamiento térmico a los frutos, se ha reportado un efecto reafirmante cuando los tratamientos se aplican en forma individual o en combinación con calcio, lo cual se

atribuye a la activación de pectinmetilesterasa como consecuencia de la aplicación de calor (Rico y col 2007).

2) β -Galactosidasa (β -Gal)

La enzima β -Galactosidasa resulta muy importante para la estabilidad de la pared celular en frutos de mango ya que el incremento en su actividad está asociado con un aumento en la solubilidad y despolimerización de la pectina de la pared celular. Esta enzima actúa en las cadenas adyacentes de los galacturónidos de la columna vertebral, degradando las sustancias pécticas (Ali y col 1995). Al respecto, Muy-Rangel y col (2009) observaron un incremento en la actividad de esta enzima en frutos de mango a medida que transcurrían los días de almacenamiento a 12 °C más un periodo de maduración a 20 °C; comportamiento que atribuyeron a que los componentes de la pared celular de los frutos de mango son más ricos en galactanos. También Ketsa y col (1998), observaron que la actividad de esta enzima en frutos de mango aumentaba en frutos tratados hidrotérmicamente, y para el día 4 de almacenamiento presentaban el doble de actividad en comparación con los frutos Control. Por otro lado, Ortiz y col (2011) observaron en frutos de manzana almacenados a 20 °C que un tratamiento con calcio solo o en combinación con niveles ultra bajos de oxígeno reducía la actividad de esta enzima a lo largo del almacenamiento (14 días).

La aplicación de tratamientos poscosecha es una alternativa efectiva para evitar la acción de las enzimas degradativas de pared celular. Estos tratamientos favorecen un retraso en el ablandamiento del tejido del fruto y pueden incluso servir para disminuir la sensibilidad del mango al DF.

2 Tratamientos Poscosecha

Existen diversos tratamientos para prolongar la calidad y elevar la vida poscosecha de los productos hortofrutícolas (Báez y col 2001). Para el caso del mango se han desarrollado diversos tratamientos como es el caso de las películas de recubrimiento, almacenamiento en atmósferas controladas, aplicación de calcio y tratamientos térmicos. Estos últimos son tratamientos físicos no contaminantes que se emplean para conservar la calidad en productos frescos. Se pueden realizar con aplicaciones de vapor caliente o aire caliente forzado y agua caliente a temperaturas por encima de 35 °C. Destaca el tratamiento hidrotérmico que se aplica para controlar el desarrollo de antracnosis y la mosca de la fruta en mango (Akbulak y col 2007).

Los efectos benéficos del tratamiento poscosecha con temperaturas altas pueden atribuirse al desarrollo de medios por parte de los tejidos para controlar los desórdenes poscosecha, así como un efecto positivo al mejorar la uniformidad de la maduración. Zambrano y Materano (1999) reportaron que el tratamiento con calor a temperaturas entre 38 y 46 °C aumentó la tolerancia al daño por frío y redujo la podredumbre de los frutos de mango. También se ha señalado que la exposición de las plantas a un estrés puede proteger a la misma de otro estrés mayor (Petit-Jiménez y col 2009).

Otro de los tratamientos ampliamente utilizados en la poscosecha de frutos es la aplicación de sales de calcio, las cuales tienen la capacidad de disminuir la permeabilidad de las membranas celulares, reducir la absorción de agua y aumentar la dureza de la pulpa y retrasar la senescencia (Sharplest y col 1977). Asimismo, se ha demostrado que la combinación tiempo y temperatura de almacenamiento es

particularmente importante en la extensión de la vida útil de los frutos en términos de textura, pérdida de peso, pH y otros cambios en cuanto a su calidad (Castellano y col 2005).

a Tratamiento Hidrotérmico

El tratamiento hidrotérmico incluye condiciones específicas de calentamiento y enfriamiento del fruto, indicadas en protocolos de operación acordados entre los países. Por lo común se aplican durante pocos minutos ya que el agua es un medio de transferencia de calor más eficiente que el aire. Estos tratamientos se aplican previo al almacenamiento a temperaturas bajas y consisten en sumergir los frutos en agua caliente durante tiempos cortos (Fallik 2004). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) tiene como condición para los exportadores de mango que deseen enviar su producto a ese país utilizar un tratamiento hidrotérmico a 46.1 °C por tiempos prolongados para el combate de antracnosis y mosca de la fruta. La duración del tratamiento depende del cultivar y peso del fruto, se recomienda la aplicación del tratamiento hidrotérmico a una temperatura de 46.1 °C de la siguiente manera: ≤375 g por 65 min; 376-500 g por 75 min; 500 g por 75 min; 501-700 g por 90 min; 701-900 g por 110 min (USDA-APHIS 2014). De acuerdo a Báez y col (2001) y Seok-In y col (2007), la aplicación de un tratamiento hidrotérmico no tuvo efecto perjudicial en la calidad sensorial de mango y mandarina (respectivamente) durante el almacenamiento a temperatura ambiente; mientras que Petit-Jiménez y col (2009) observaron que el tratamiento hidrotérmico (46.1 °C por 75 min) disminuyó la vida de almacenamiento debido a que se facilitó la oxidación y la madurez prematura del mango.

El proceso de pudrición del fruto inicia por el ablandamiento del tejido, este proceso está relacionado con la degradación enzimática de la lámina media de la pared celular y la pérdida de adhesión de la célula. Enzimas como la PME, PG y β -Gal juegan un papel importante en el ablandamiento del tejido como es el caso del mango (Silveira y col 2011). En el estudio realizado por Zhang y col (2012) la actividad de PME tanto en frutos con y sin TH (55 °C por 10 min) incrementó después de 3 semanas de almacenamiento a temperaturas bajas (5 °C). Al transferir los frutos a una temperatura de 20 °C, la actividad de PME fue más baja en aquellos mangos que se les aplicó TH, mientras que la actividad de PG fue mayor en los frutos no tratados. También, Promyou y col (2008) reportaron en frutos de plátano que su proceso de oscurecimiento se vio retrasado debido a la aplicación del tratamiento hidrotérmico.

Por otro lado Chávez-Sánchez y col (2013) reportaron que al aplicar un tratamiento hidrotérmico (55 °C) en papaya por 3, 6 y 9 min, este tratamiento no afectó el proceso de ablandamiento en el fruto debido a que la actividad de enzimas de la pared celular (PME y PG) no fue alterada, así como tampoco se vio afectado la calidad del fruto.

Silveira y col (2011) sugieren que una alternativa para evitar el ablandamiento del fruto como consecuencia de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos es su combinación con agentes reafirmantes como el calcio.

b Sales de Calcio

Es bien sabido que este mineral ayuda a mantener la calidad de los productos hortofrutícolas ya que el incremento de su contenido en la pared celular del tejido ayuda a retrasar el ablandamiento del mismo y disminuye la incidencia de presentar

desordenes fisiológicos (Abd-Elhady 2014). El carbonato de calcio y el citrato de calcio son las principales sales de calcio añadidas a productos hortofrutícolas para mejorar su valor nutricional. Existen otras sales utilizadas en la industria de alimentos cuyo objetivo es la preservación y/o el mejoramiento de la firmeza del producto como es el caso del cloruro de calcio, el lactato de calcio y el gluconato de calcio, entre otras (Silveira y col 2011).

Se han realizado diversos estudios donde se han aplicado tratamientos en los que se incluyen ya sea cloruro de calcio o lactato de calcio, ambos han mostrado ser efectivos para mantener la firmeza durante el almacenamiento de diversas frutas y hortalizas. Los iones de calcio pueden difundirse pasivamente dentro de la estructura de la pared celular debido a que la porosidad de ésta tiene un espesor de 3.5 a 9.2 nm aproximadamente, mientras que los iones de calcio son de 0.1 nm aproximadamente (Ngamchuachit y col 2014). Al sumergir las células del parénquima del fruto en la solución de sal de calcio, los iones de calcio son transportados principalmente por el apoplasto o espacios intercelulares, donde son atraídos por grupos carboxilos cargados negativamente en el homogalacturonano, el cual constituye la pectina en la lámina media y pared celular (Hasegawa 2006; Ngamchuachit y col 2014).

La inmersión poscosecha de sales de calcio puede incrementar considerablemente el contenido de este mineral en el fruto, comparado con su aplicación precosecha, esto, sin causar daño al fruto dependiendo del tipo de sal de calcio y su concentración. La aplicación de calcio poscosecha mantiene la turgencia

de la célula, la firmeza del tejido y retrasa el catabolismo de la membrana lipídica, extendiendo de esta manera la vida de anaquel del fruto (Manganaris y col 2007).

Hewajulige y col (2003) reportaron que el calcio está involucrado en la regulación de muchos aspectos del metabolismo, incluyendo la integridad de la membrana y la permeabilidad selectiva en células, la división celular, el consumo iónico y el ensamblaje de micro túbulos. Además, las sales de calcio cumplen la función de agentes reafirmantes debido a que los iones actúan sobre las cadenas de pectina para formar puentes entre éstas, aumentando así la fuerza de la pared celular en diversos productos hortofrutícolas (Rincón-Pérez y Martínez-Quintero 2015).

Estudios previos han demostrado que el uso de sales de calcio como el lactato de calcio (LacCa) presumiblemente estabilizan la estructura original en fresas y retardan los cambios fisicoquímicos de las propiedades del fruto, aún en combinación con antioxidantes como el ácido cítrico, el cual inhibe las reacciones de oscurecimiento y mantiene el contenido de antocianinas durante el congelamiento (Abd-Elhady 2014). En manzana "Golden Reinders", la aplicación por inmersión de cloruro de calcio (2%) presentó efectos directos sobre la integridad de la lámina media, inhibiendo la actividad de las enzimas α -L-arabinofuranosidasa, pectatoliasa, β -galactosidasa, que son importantes en la preservación de la firmeza después de la cosecha. Manganaris y col (2007) observaron que el contenido de calcio en frutos sumergidos en una solución con Ca en dos concentraciones (62.5 y 187.5 mM) incrementó en duraznos, y se reportaron sus efectos positivos en términos de reducción de síntomas de daño por frío y actividad de PG y PME. Romero y col

(2006) observaron que la firmeza en frutos de mango Haden fue mayor en aquellos a los que se les aplicó un tratamiento con calcio. Esto fue atribuido a que este elemento se encuentra en la pared celular adherido a las pectinas teniendo como función la regulación de la permeabilidad de las membranas y el fortalecimiento de la pared celular, por ello los tejidos deficientes en calcio resultaban ser suaves.

Asimismo, se ha reportado una buena correlación entre el contenido de calcio en el tejido de frutos y la susceptibilidad de los mismos al daño por frío. Como es el ejemplo del fruto de lima, en el cual se observó que aquellos frutos con el menor contenido de calcio en su jugo desarrollaron los porcentajes más altos de daño por frío (Slutzky y col 1981). La aplicación de calcio ha demostrado reducir significativamente la severidad del daño por frío en diversos frutos como aguacate, durazno y tomate (Wang y Baker 1979).

Con respecto al efecto que presenta el TH en combinación con calcio, al aplicar el tratamiento hidrotérmico en los frutos se favorece la acción de la enzima PME, la cual desmetila las cadenas de pectina; por lo tanto, si hay mayor desmetilación hay mayores sitios de unión para que los iones de calcio se adhieran a las pectinas generando pectatos de calcio los cuales otorgan estabilidad y firmeza a la pared celular y podrían proteger a la columna vertebral péctica de la despolimerización mediada por PG. Este proceso de gelificación se representa en un modelo llamado “caja de huevo” (**Figura 5**), (Hewajulige y col 2003; Silveira y col 2011; Abd-Elhady 2014; Rincón-Peréz y Martínez-Quintero 2015).

Algunos reportes indican diferentes efectos de la combinación TH-sal de calcio. Aguayo y col (2008) demostraron que el sumergir trozos de melón Amarillo en

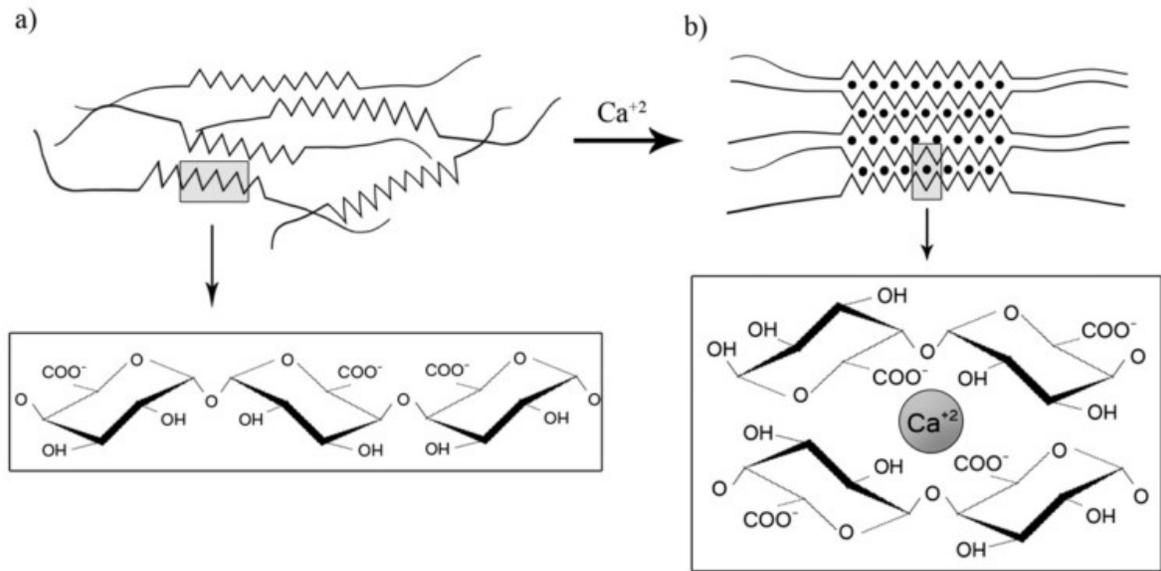


Figura 5. Representación esquemática de gelificación de la pectina inducida por Ca^{2+} . (a) Moléculas de pectina después de la desesterificación con PME, (b) modelo de gelificación “Caja de huevo” después de la adición de Ca^{2+} (Kirtil y col 2014).

sales de calcio por 1 minuto a 60 °C resultaba en distintas respuestas en cuanto a la calidad sensorial, química y microbiana del fruto. Observaron que el cloruro de calcio y el lactato de calcio incrementaron la concentración de Ca en promedio en un 50% y minimizaron la velocidad del ablandamiento del fruto, la inmersión del fruto en propionato de calcio redujo significativamente la actividad metabólica y el crecimiento microbiano. Por su parte, Silveira y col (2011) aplicaron un tratamiento de cloruro de calcio y lactato de calcio (0.15 g Ca g^{-1}) en combinación con un TH a 60 °C y reportaron que estos tratamientos pueden ser utilizados exitosamente para retener la calidad de frutos de melón hasta 10 días de almacenamiento a 5 °C. De igual forma, Dessalegn y col (2013), aplicaron un tratamiento en combinación con cloruro de sodio (3% p/v) y un TH (51.1 °C) en frutos de mango y observaron que esta combinación podía incrementar la calidad de los frutos y suprimir ataques por parte de *C. gloeosporioides*.

IV. JUSTIFICACIÓN

El mango es un producto de gran importancia económica para México ya que es uno de los principales productores a nivel mundial, ocupando el estado de Sinaloa el primer lugar nacional. La distribución y almacenamiento poscosecha del mango requiere el uso de temperaturas bajas para su conservación, pero desafortunadamente este fruto es susceptible al daño por frío, por lo que su vida de comercio es limitada al no poder ser almacenado a temperaturas inferiores a 10 °C. Para reducir los efectos negativos del daño por frío y las pérdidas que ocasiona, se han implementado una serie de estrategias entre las que se encuentra el uso de tratamientos hidrotérmicos, que han resultado sumamente efectivos al ser aplicados antes del almacenamiento a temperaturas bajas. Sin embargo, el estrés provocado por las temperaturas altas induce la activación de enzimas como pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y β -galactosidasa que en conjunto favorecen el ablandamiento acelerado del fruto. El uso de sales de calcio ha sido documentado ampliamente como una alternativa efectiva para retrasar la pérdida de firmeza en frutos; no obstante, no existen reportes en los cuales se haya estudiado el efecto que podría tener el utilizar sales de calcio en combinación con el tratamiento hidrotérmico cuarentenario (que se aplica por norma en mango destinado a exportación) sobre la actividad de enzimas degradativas de pared celular. En este trabajo se propone el uso de la combinación tratamiento hidrotérmico-lactato de calcio como una alternativa para inducir tolerancia al daño por frío en mango, que favorezca además la retención de la firmeza durante el almacenamiento a temperaturas bajas.

V. HIPÓTESIS

La aplicación de un tratamiento hidrotérmico cuarentenario en combinación con lactato calcio en frutos de mango previo a su almacenamiento a temperaturas bajas induce una mayor tolerancia al daño por frío y disminuye el daño por frío, pérdida de firmeza y la actividad de enzimas degradativas de la pared celular.

VI. OBJETIVOS

A OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la combinación tratamiento hidrotérmico cuarentenario y lactato de calcio sobre la calidad poscosecha y la actividad de enzimas degradativas de la pared celular en frutos de mango cv. Keitt almacenados a temperatura de daño por frío.

B OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Evaluar el efecto de la combinación tratamiento hidrotérmico cuarentenario-lactato de calcio sobre el desarrollo de síntomas de daño por frío en frutos de mango cv. Keitt.
- 2 Determinar la relación de índices fisiológicos (lixiviación de electrolitos, contenido de MDA) con el desarrollo del daño por frío en frutos de mango cv. Keitt tratados con la combinación tratamiento hidrotérmico cuarentenario-lactato de calcio.
- 3 Evaluar parámetros de calidad (color, índice de oscurecimiento, firmeza, SST, pH y AT) en frutos de mango cv. Keitt sometidos a tratamiento hidrotérmico en combinación con lactato de calcio y almacenados a temperatura de daño por frío.
- 4 Evaluar la actividad de las enzimas poligalacturonasa (PG), pectinmetilesterasa (PME) y β -Galactosidasa (β -Gal) en frutos de mango cv. Keitt sometidos a tratamiento hidrotérmico cuarentenario y lactato de calcio durante su almacenamiento a temperaturas bajas y durante el periodo de maduración.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A MATERIALES

1 Análisis Preliminar

Con base en un estudio previo realizado por nuestro equipo de trabajo en el que se evaluó el efecto de diferentes sales de calcio en distintas concentraciones sobre la retención de firmeza en mango, se determinó que la sal de lactato de calcio en una concentración de 0.5% era la más efectiva para retener la firmeza de los frutos durante su almacenamiento a baja temperatura y durante su maduración (López-López 2017).

2 Obtención de la materia prima

Los frutos fueron obtenidos de un huerto ubicado en la colonia Aguaruto, perteneciente al municipio de Culiacán en el estado de Sinaloa. Se realizó una preselección de los frutos en el huerto con base en tamaño y llevados al laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha del Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, donde se lavaron con jabón y se sumergieron en hipoclorito de sodio (200 ppm, 3 min). De allí se hizo una segunda selección para descartar aquellos frutos que presentaran algún defecto o daño. Posteriormente se dividieron en cuatro lotes para la aplicación de los tratamientos de la siguiente manera: Control, TH, Ca y TH-Ca. Todos los frutos fueron almacenados a 5 °C por 30 días con retiros cada 10 días para pasarlos a un segundo almacenamiento a 21 °C por 7 días (periodo de maduración).

B MÉTODOS

1. Índice de daño por frío (IDF)

La evaluación se realizó visualmente de acuerdo a lo reportado por Vega García y col (2010) con algunas modificaciones. Se determinó el nivel de daño tomando en cuenta los siguientes síntomas de DF: O= oscurecimiento de lenticelas, P= picaduras en la cáscara, E= escaldado, M= maduración irregular y PP= presencia de pudriciones. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos basada en el porcentaje de tejido afectado para cada síntoma 0= no daño, 1= 1-25%, 2=26-50%, 3=51-75%, 4=>76%. El IDF fue calculado en cada fruta mediante la siguiente ecuación:

$$IDF = \frac{NDO + NDP + NDE + NDM + NDP}{5}$$

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

2. Índices fisiológicos de DF

a Lixiviación de electrolitos

Esta evaluación se realizó siguiendo la metodología reportada por Malacrida y col (2006). Para cada tratamiento se usaron en total 18 cilindros del mesocarpio del tejido (7mm de diámetro) (6 por réplica), los cuales fueron obtenidos utilizando un sacabocados. Las muestras fueron lavadas tres veces con agua desionizada para eliminar cualquier electrolito producido durante la obtención de los cilindros, se mezclaron con 25 mL de manitol (0.4 M) y se incubaron a 25 °C por 2 h en agitación constante. Posteriormente se midió la conductividad de la solución con un

conductímetro manual (HI 98311, Hanna instruments, Mauritius, EUA). Las muestras se colocaron en una autoclave a 121 °C por 20 min para liberar todos los electrolitos, midiendo de nuevo la conductividad cuando alcanzaron una temperatura de enfriamiento de 25 °C. Los resultados se expresaron como porcentaje de electrolitos lixiviados y se obtuvieron de la siguiente manera: %EL= (electrolitos iniciales/total de electrolitos) x100.

b Contenido de malondialdehido (MDA)

Para la determinación de la peroxidación de lípidos se evaluó el contenido de MDA; se utilizó la prueba del ácido tiobarbitúrico (TBA) de acuerdo a la metodología descrita por Hodges y col (1999). Un gramo de extracto de mango congelado fue homogeneizado con 30 mL de una solución de etanol:agua (80:20) y posteriormente se centrifugó a 3,000 x g por 10 min a 4 °C. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se combinó con 1 mL de solución A (-TBA) conteniendo 20% (p/v) de ácido tricloroacético (TCA) + 0.01% butil hidroxitolueno (BHT) o solución B (+TBA) que contenía 20% TCA+0.01% BHT+0.65% de TBA. La solución fue agitada y calentada (95 °C/25 min), después se enfriaron las muestras para ser posteriormente centrifugadas a 3000 x g por 10 min. La absorbancia fue leída a 3 longitudes de onda (440, 532 y 600 nm) en un espectrofotómetro UV-VIS (Unico SQ2800 NJ, USA). La cantidad del complejo MDA-TBA (pigmento rojo) fue calculada de la siguiente manera:

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

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

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

3. Parámetros de calidad

a Color externo e interno

Para la evaluación de color se utilizó un colorímetro Minolta CR 200 (Minolta, Osaka, Japan). Para el color externo se marcaron tres puntos en la superficie del fruto para que el color fuera medido siempre en el mismo lugar durante el periodo de almacenamiento a 21 °C. En el caso del color interno, se tomaron dos lecturas de las partes superior e inferior de cada cachete. Se evaluaron los parámetros L^* , a^* , b^* , C y ángulo de matiz.

b Índice de oscurecimiento (IO)

Se evaluó visualmente de acuerdo a la metodología propuesta por Buera y col (1985) con algunas modificaciones utilizando una escala en donde 0= ninguna señal de oscurecimiento, 1= $\leq 10\%$ de oscurecimiento en pulpa, 2= 11-25% oscurecimiento en pulpa, 3= 26-40% de oscurecimiento en pulpa; 4= 41-50% oscurecimiento en pulpa, 5= $\geq 51\%$ de oscurecimiento. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$IO = \frac{\sum (\text{Nivel de oscurecimiento} \times \text{número de frutas en cada nivel})}{\text{total de frutas en el tratamiento}}$$

Donde IO es el índice de oscurecimiento.

c Firmeza

Se determinó de acuerdo a lo reportado por Marangoni y col (1995) con algunas modificaciones. Se cortaron los cachetes del mango, se eliminó la cáscara en forma longitudinal de la porción central del cachete y se colocó la punta en tres partes (centro y extremos), obteniéndose 6 puntos por fruto. Se utilizó un

penetrómetro (Chatillon DFE100, AMETEK Inc, Largo, FL) equipado con una punta plana de 11 mm de diámetro a una velocidad de penetración constante (50mm/min-5mm de penetración).

d Sólidos Solubles Totales (SST)

Se determinaron de acuerdo al método oficial 22.014 de la AOAC (2012) utilizando un refractómetro manual (Atago, Fisher Scientific, Ga., USA). La evaluación se realizó colocando una gota de jugo de cada muestra directamente sobre el refractómetro. El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue reportado como porcentaje de azúcar ($^{\circ}$ Brix).

e pH

Se determinó utilizando el método 981.12 de la AOAC (2012); que consiste en homogenizar 20 g de muestra con agua destilada neutra, posteriormente se filtró en tela de organza y se aforó a 100 mL. El pH se evaluó mediante la inmersión directa del electrodo de vidrio de un potenciómetro Thermo Scientific Orion STARA2110 (Orion research Inc, Boston, MA, EU) en la solución aforada. Las determinaciones se realizaron por triplicado, expresándose los resultados como iones hidrógeno.

f Acidez titulable (AT)

La acidez titulable se determinó de acuerdo al método oficial 942.15 de la AOAC (2012). A partir de la solución aforada para la determinación del pH, se tomaron alícuotas de 20 mL y se titularon con NaOH 0.1 N hasta un pH de 8.1 ± 0.2 . Se realizó por triplicado y se reportó como porcentaje de ácido cítrico y se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{V \text{ NaOH} * N \text{ NaOH} * \text{meq ácido} * 100}{V}$$

donde: V NaOH = volumen de NaOH usado para la titulación; N NaOH= normalidad del NaOH; meq ácido X = miliequivalentes de ácido. Los valores equivalentes de base a ácido para el ácido cítrico es: 0.064

4. Determinación de la actividad de enzimas de la pared celular en respuesta al estrés abiótico.

a Preparación del extracto enzimático

Las enzimas de la pared celular fueron extraídas de acuerdo a la metodología reportada por Carrillo-López y col (2002), con algunas modificaciones. Se mezclaron 15 g de pulpa de mango con 25 mL de NaCl 1 M (4 °C, 1 min) utilizando un homogenizador T18 basic (IKA Works, Inc. Wilmington, NC, USA). El homogenizado se centrifugó a 17,000 x g por 45 min a 4 °C y se filtró con papel Whatman No. 4. El sobrenadante se saturó al 80% con sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) y se colocó en agitación por 1 hora bajo refrigeración para precipitar la proteína, seguido de una segunda centrifugación a 17,000 x g por 20 min. El precipitado conteniendo la proteína se re-suspendió en 15 mL de agua destilada a 4 °C y se usó para medir la actividad enzimática de PME, PG y β-Gal.

b Evaluación de la actividad de PME

La actividad de PME se determinó de acuerdo a Hagerman y Austin (1986) con base en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por PME. Debido a que los enlaces éster de las pectinas son hidrolizados, se

producen grupos ácidos y el pH baja, causando que el colorante indicador cambie su color. Este cambio fue monitoreado continuamente con un espectrofotómetro.

Se mezclaron 2 mL de pectina cítrica (0.5 %) con 0.5 mL de azul de bromotimol (0.01 %) en buffer de fosfato de potasio (0.003 M) y 4 mL de agua destilada. La mezcla se ajustó a pH 7.5 y se inició la reacción al añadir 100 μ L del extracto enzimático de PME.

La reacción se llevó a cabo a 30 °C y fue monitoreada durante 5 min a 620 nm. Se utilizó una curva estándar de ácido galacturónico (0.5 %). Las unidades de PME fueron expresadas como μ moles de H⁺ liberados/100 g ff-min. Se obtuvieron cuatro lecturas por réplica.

c Evaluación de la actividad de PG

Se determinó la actividad específica de PG de acuerdo con la metodología reportada por Chávez-Sánchez y col (2013) con algunas modificaciones, en la que se evaluó la formación de grupos reductores del ácido poligalacturónico.

Se mezclaron 2 mL del extracto enzimático y 2 mL de ácido poligalacturónico (0.5 %) en buffer de acetato de sodio (pH 4.6) y se incubaron por 1 hora a 37 °C. La medición de la actividad se realizó mezclando 400 μ L del extracto incubado, 4 mL de buffer de tetraborato de sodio 0.1 M (pH 9) y 400 μ L de 2-cianoacetamida al 1%. Esta mezcla se agitó y se calentó en baño maría a temperatura de ebullición durante 10 min, posteriormente se enfrió a temperatura ambiente y se registró el cambio de absorbancia a una longitud de onda de 276 nm. El blanco se preparó de la misma manera, pero sin agregar el extracto enzimático. La curva estándar se construyó con ácido galacturónico (0.5 %). La actividad de la PG se reportó como μ moles de ácido

galacturónico formado por hora sobre la base de 100 g de fruta fresca. Se obtuvieron cuatro lecturas por réplica.

d Evaluación de la actividad de β -Gal

Se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Hossain y col (2014) con algunas modificaciones, determinando la actividad enzimática a partir de la estimación de la liberación de p -nitrofenol.

Se utilizaron 50 μ L del sustrato (p -nitrofenil- β -D-galactopiranosido), posteriormente se mezclaron en tubos de ensayo con 100 μ L de buffer de fosfato (pH 6.0). Se añadieron 50 μ L de extracto crudo a cada tubo y fueron incubados a 37 °C por una hora. Para detener la reacción, se añadieron 1.3 mL de buffer glicina-NaOH (pH 10.5) a cada tubo. La cantidad liberada de p -nitrofenol por parte de los sustratos fue medida espectrofotométricamente a una absorbancia de 420 nm. Una unidad de actividad enzimática fue definida como la cantidad de enzima requerida para liberar 1 nmol de p -nitrofenol por minuto a 37 °C.

5. Diseño estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 factores. Quedando de la siguiente manera:

Tiempo de almacenamiento a 5 °C	0, 10, 20 y 30 días
Tiempo de maduración a 21 °C	0 y 7 días
Tratamientos	Control, TH, Ca ,TH-Ca

Se utilizó la prueba de Fisher con un nivel de significancia con un $\alpha= 0.05$ y se utilizó un paquete estadístico Statgraphics plus 5.1.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO

En la **Figura 6A** se muestran los resultados del índice de daño por frío (IDF) en mango “Keitt” durante su almacenamiento a 5 °C. Los frutos de todos los tratamientos presentaron un incremento en el IDF a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento. Al final del mismo, los frutos de los tratamientos TH y TH-Ca mostraron la menor incidencia de síntomas de DF (1.4 y 1.6, respectivamente), mientras que el Control presentó el mayor IDF (2.7) con síntomas como oscurecimiento de lenticelas, picado superficial y maduración irregular. La efectividad de los tratamientos TH y TH-Ca para reducir el IDF podría deberse a que promovieron una modulación del sistema antioxidante, inhibiendo la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Promyou y col (2012) en el fruto de jujube, donde el tratamiento control mostró un incremento en la presencia de daño por frío durante el almacenamiento al compararse con los frutos tratados hidrotérmicamente. Los autores atribuyeron el efecto positivo del tratamiento hidrotérmico a una reducción en el daño a la membrana evidenciada por una menor lixiviación de electrolitos durante el almacenamiento, ya que ha sido aceptado que el daño por frío está asociado con un incremento en la permeabilidad de la membrana (Gómez-Galindo y col 2004) y con una disminución en la proporción de ácidos grasos no saturados/saturados de la membrana celular (Mirdehghan y col 2007). Asimismo coinciden con los resultados reportados por Shadmani y col (2015) cuando aplicaron un tratamiento hidrotérmico en frutos de papaya previo a su almacenamiento a 6 °C,

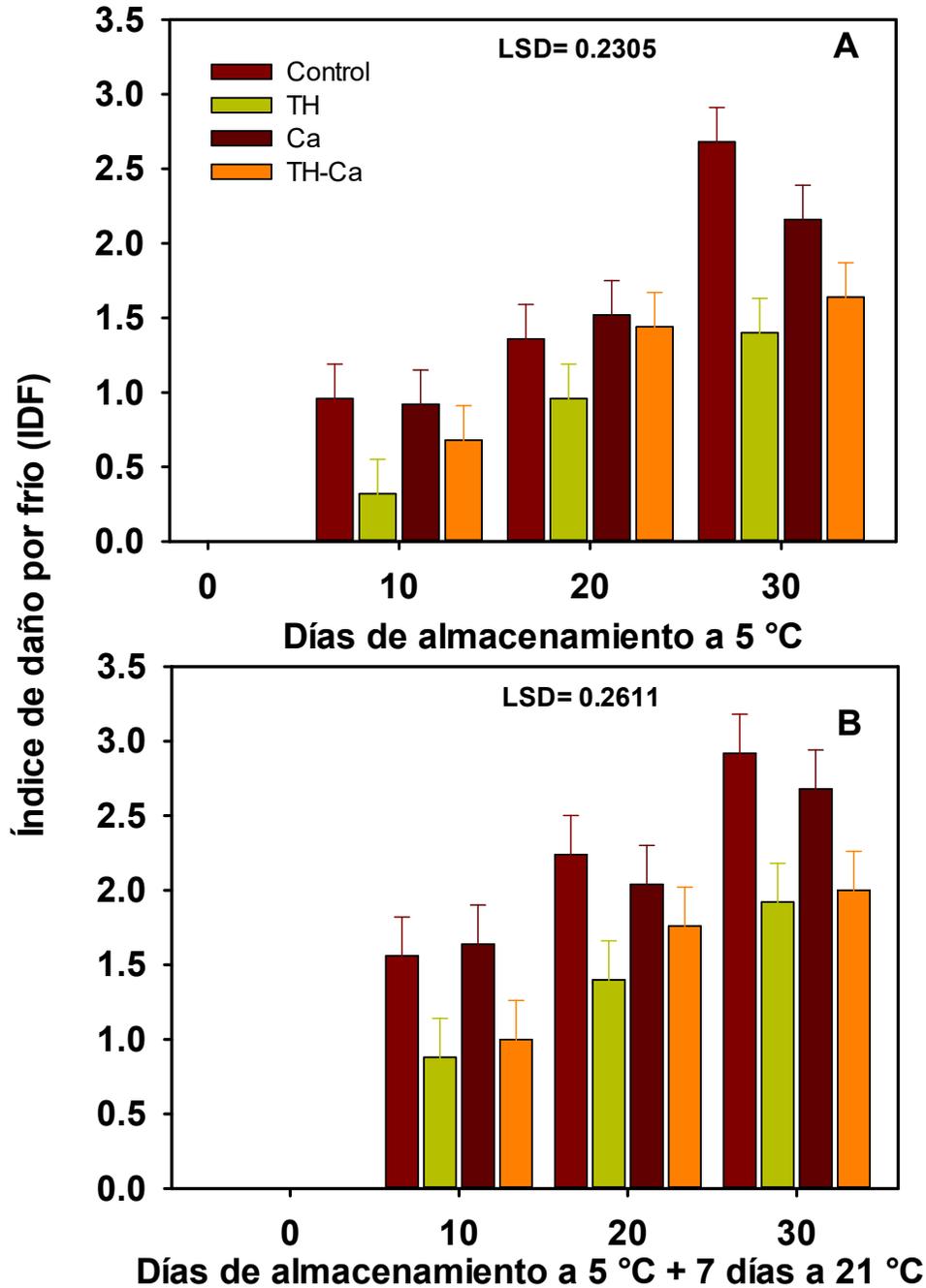


Figura 6. Índice de daño por frío en cáscara de mango cv. Keitt, almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

debido a que ellos observaron que los frutos tratados presentaron una menor incidencia de daño por frío con respecto al Control.

Han y col (2006) observaron síntomas de DF en mango cv. Red 6 después de 14 días de almacenamiento a 5 °C. Al igual que en nuestro caso, los síntomas aumentaron gradualmente en los frutos Control a medida que transcurría el tiempo de almacenamiento. Wang (2010) atribuyó este comportamiento durante una exposición prolongada del fruto de mango a temperaturas bajas, a que la respuesta primaria del daño desarrolla eventos secundarios que incluyen pérdida de la integridad de la membrana, lixiviación de solutos, pérdida de compartimentalización, estimulación de la producción de etileno y un incremento en la velocidad de respiración.

El IDF observado durante el almacenamiento a 5 °C fue mayor cuando los frutos fueron almacenados en un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (**Figura 6B**). A partir del día 10+7 el IDF resultó significativamente menor para aquellos frutos a los cuales se les aplicó el tratamiento hidrotérmico (TH y TH-Ca). En este estudio se observó que la aplicación individual de Calcio no indujo ningún efecto positivo en la tolerancia al DF, ya que los frutos de este tratamiento presentaron niveles de IDF estadísticamente similares a los del Control a lo largo de las evaluaciones, donde se observaron síntomas de DF como oscurecimiento de lenticelas, áreas necróticas, maduración irregular y pudriciones. Asimismo, se observó un incremento muy pequeño para los tratamientos TH y TH-Ca en los días 20+7 y 30+7.

Yang y col (2009) observaron que los síntomas de DF en tomate cherry se manifestaban como lesiones en la cáscara y maduración irregular cuando el fruto era

expuesto a temperatura ambiente posterior al almacenamiento a temperaturas bajas; sin embargo, la intensidad de los mismos disminuía cuando el fruto recibía un tratamiento hidrotérmico previo al primer almacenamiento. Según Wang y col (2004) estos tratamientos son aplicados con la finalidad de inducir resistencia en los frutos al daño fisiológico que ocurre durante la exposición a temperaturas bajas, ya que favorecen la síntesis de proteínas de choque térmico (HSP), las cuales actúan como chaperonas que podrían ser responsables del plegamiento de proteínas, ensamblaje, translocación y degradación de muchos procesos celulares, así como participan en el replegamiento de proteínas bajo condiciones de estrés

B. ÍNDICES FISIOLÓGICOS DE DF

1. Lixiviación de electrolitos

La lixiviación de electrolitos es un indicador de la pérdida de la integridad de la membrana celular atribuida a la maduración, es esperado el incremento de este parámetro al final de la maduración o cuando el fruto es expuesto a condiciones de estrés severo (procesamiento/corte y/o exposición a altas o bajas temperaturas) (Nyanjage y col 1999; Saltveit 2002; Vicente y col 2006; Dea y col 2010; Aghdam y Bodbodak 2013).

En la **Figura 7** se observa el porcentaje de electrolitos lixiviados en la pulpa de mango “Keitt” durante su almacenamiento a 5 °C y 21 °C. A lo largo del almacenamiento a 5 °C, los tratamientos con calcio (Ca y TH-Ca) presentaron los menores porcentajes de lixiviación de electrolitos (**Figura 7A**), mostrando diferencia significativa con el resto de los tratamientos en el día 20. El tratamiento Control fue el

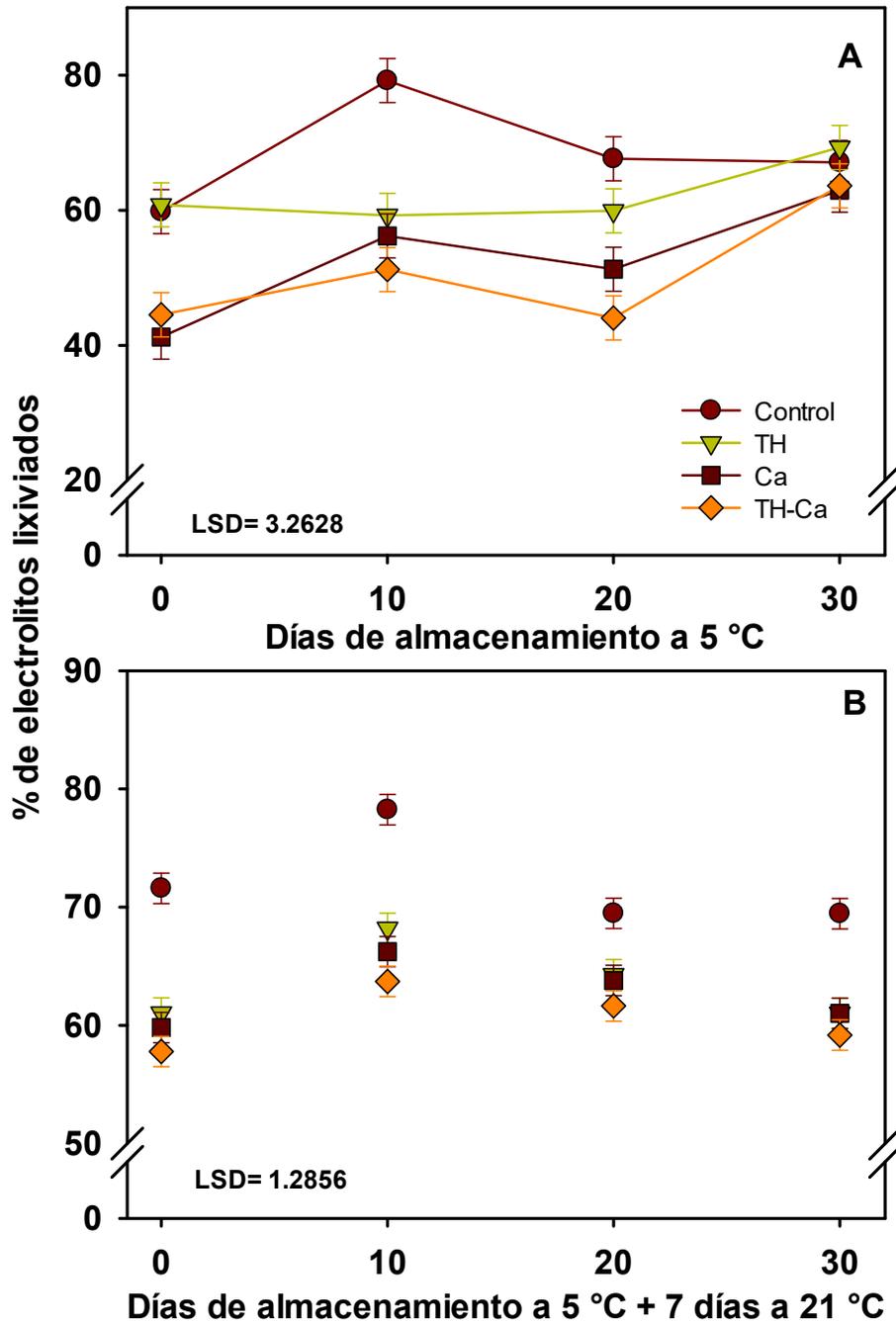


Figura 7. Porcentaje de electrolitos lixiviados en pulpa de mango cv. Keitt, almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

que obtuvo el mayor % de electrolitos lixiviados en los días 10 y 20 del almacenamiento, presentando valores ubicados entre el 70 y 80%. El mantenimiento de la integridad de la membrana celular es esencial durante el almacenamiento del fruto a temperaturas bajas, ya que bajo estas condiciones la membrana celular sufre un cambio de una estructura flexible líquida-cristalina a sólida-gel, lo cual origina la posible ruptura y lixiviación de electrolitos (Marangoni y col 1996).

La degradación de la membrana celular ocurre debido a la disrupción de la composición de los ácidos grasos y a la lixiviación de solutos que incrementan la permeabilidad de la membrana; debido al estrés generado por las temperaturas bajas los niveles de ácidos grasos saturados e insaturados sufren una alteración, lo cual afecta la fluidez y la estructura de la membrana (Antunes y Sfakiotakis 2008; Khaliq y col 2016). También, Ngamchuachit y col (2014) mencionan que una elevada pérdida de electrolitos podría ser atribuida a la maduración del fruto o podría indicar una deterioración acelerada del tejido después de la cosecha.

Respecto a nuestros resultados, la menor pérdida de electrolitos en los frutos tratados con lactato de calcio indica un efecto estabilizador en la membrana, impartido por los iones de calcio exógenos (Ngamchuachit y col 2014). Así mismo, en el caso de frutos tratados con TH-Ca es importante tomar en cuenta que además del efecto mencionado anteriormente la menor lixiviación puede ser el resultado de una tolerancia al DF inducida por el tratamiento hidrotérmico al mantener el balance de las ERO en el metabolismo y al proteger la membrana.

Los resultados observados en este estudio coinciden con los reportados por Khaliq y col (2016) en mango, donde la permeabilidad de la membrana celular incrementó progresivamente durante el almacenamiento a temperaturas bajas siendo más pronunciada en los frutos Control en comparación con los frutos tratados con calcio que mostraron valores significativamente menores. Por su parte, Aghdam y col (2012) reportaron una inhibición de la lixiviación en tomate tratado con calcio durante su almacenamiento a temperaturas bajas mientras que Wang y col (2012) observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en tomate redujo la pérdida de electrolitos en un 64% después de 14 días de almacenamiento a temperatura baja. De la misma forma, Zhang y col (2016) obtuvieron una inhibición en la lixiviación de electrolitos y producción de MDA en frutos de níspero tratados hidrotérmicamente y sometidos a temperatura de daño por frío.

En la **Figura 7B** se presenta la lixiviación de electrolitos durante el periodo de maduración a 21 °C. Los valores se mantuvieron muy similares entre los diferentes días por cada tratamiento. No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos a excepción del Control, el cual tuvo los niveles más altos de lixiviación, mostrando el mayor porcentaje de pérdida en el día 10+7 de almacenamiento (78.2%). Estos resultados podrían deberse a que el estrés por frío generalmente promueve la fase de transición en lípidos de líquido-cristalino a sólido-gel, lo que se refleja en mayor lixiviación de electrolitos cuando los frutos son expuestos a temperatura ambiente después del almacenamiento a temperaturas bajas. Como se observa en la figura, los valores se mantuvieron muy elevados a lo largo del almacenamiento para los frutos Control, demostrando que hubo una pérdida elevada

de electrolitos, mientras que los tratamientos TH, Ca y TH-Ca tuvieron un efecto protector en la membrana en comparación con los primeros. Este comportamiento coincide con lo reportado por Zhang y col (2017) en mango, quienes observaron que el tratamiento Control presentaba un ligero incremento en la lixiviación de electrolitos durante el primer día de exposición a temperatura ambiente (25°C) después de ser almacenado a 5°C, obteniendo al 5to día el 61.9% de electrolitos lixiviados. Asimismo, nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Zhang y col (2016) quienes observaron ligeros incrementos al principio del almacenamiento en frutos de níspero con TH (45 °C x 10 min), los cuales presentaron diferencia significativa respecto al Control.

En el presente estudio los tratamientos con Calcio (Ca, TH-Ca) favorecieron una reducción en la lixiviación de electrolitos en los frutos de mango “Keitt”, lo cual se pudo haber debido a un incremento en la tolerancia al daño por frío en la membrana de los frutos conferido por la adición de sales de calcio.

2. Malondialdehido (MDA)

Malondialdehido (MDA) es un marcador de estrés y es generado como un producto final de la peroxidación de ácidos grasos insaturados (Aghdam y Bodbodak 2013). El MDA es un buen indicador de la integridad de la estructura de la membrana y es utilizado para representar la deterioración oxidativa durante la exposición de un fruto a estrés. Un aumento de este compuesto se asocia con un daño en la integridad de la membrana celular y como consecuencia principal la pérdida de su función (Khaliq y col 2016; Sevillano y col 2009).

En la **Figura 8** se muestra el contenido de MDA que presentaron los frutos de mango dependiendo de su temperatura de almacenamiento y del tratamiento recibido. El contenido de MDA en los frutos almacenados a 5 °C (**Figura 8A**) incrementó debido a la peroxidación de lípidos en la membrana a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, siendo el tratamiento Control el que presentó los niveles más altos a lo largo del estudio; alcanzando su máximo nivel de peroxidación el día 20 con 16 nmol g⁻¹ ff. En contraste, los tratamientos hidrotérmicos (TH y TH-Ca) mostraron los niveles más bajos de MDA, (aproximadamente 10 nmol g⁻¹ ff) no presentando diferencia significativa entre ellos al final del almacenamiento (día 30), pero sí con el tratamiento Ca. Por otra parte, el tratamiento Ca presentó un aumento continuo en el contenido de MDA a partir del día 10, obteniendo los niveles mayores al final del almacenamiento (16.8 nmol g⁻¹ ff).

El incremento en el contenido de MDA en frutos de mango almacenados a temperaturas de daño por frío ha sido reportado por varios autores (Zhao y col 2006; Ding y col 2007; Wang y col 2008). Durante un proceso metabólico anormal, la peroxidación lipídica es el resultado de la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO), lo cual al final afecta la estructura de la membrana celular y su función (Blokhina y col 2003). Una de las principales causas del daño a la membrana es la sobreproducción de ERO durante el estrés, las cuales son sustancias altamente reactivas e inducen la peroxidación lipídica. Por ello, prevenir el daño oxidativo es esencial para la supervivencia de la célula sometida a estrés (como el generado por la exposición a temperaturas bajas), y la supervivencia de la célula es considerada

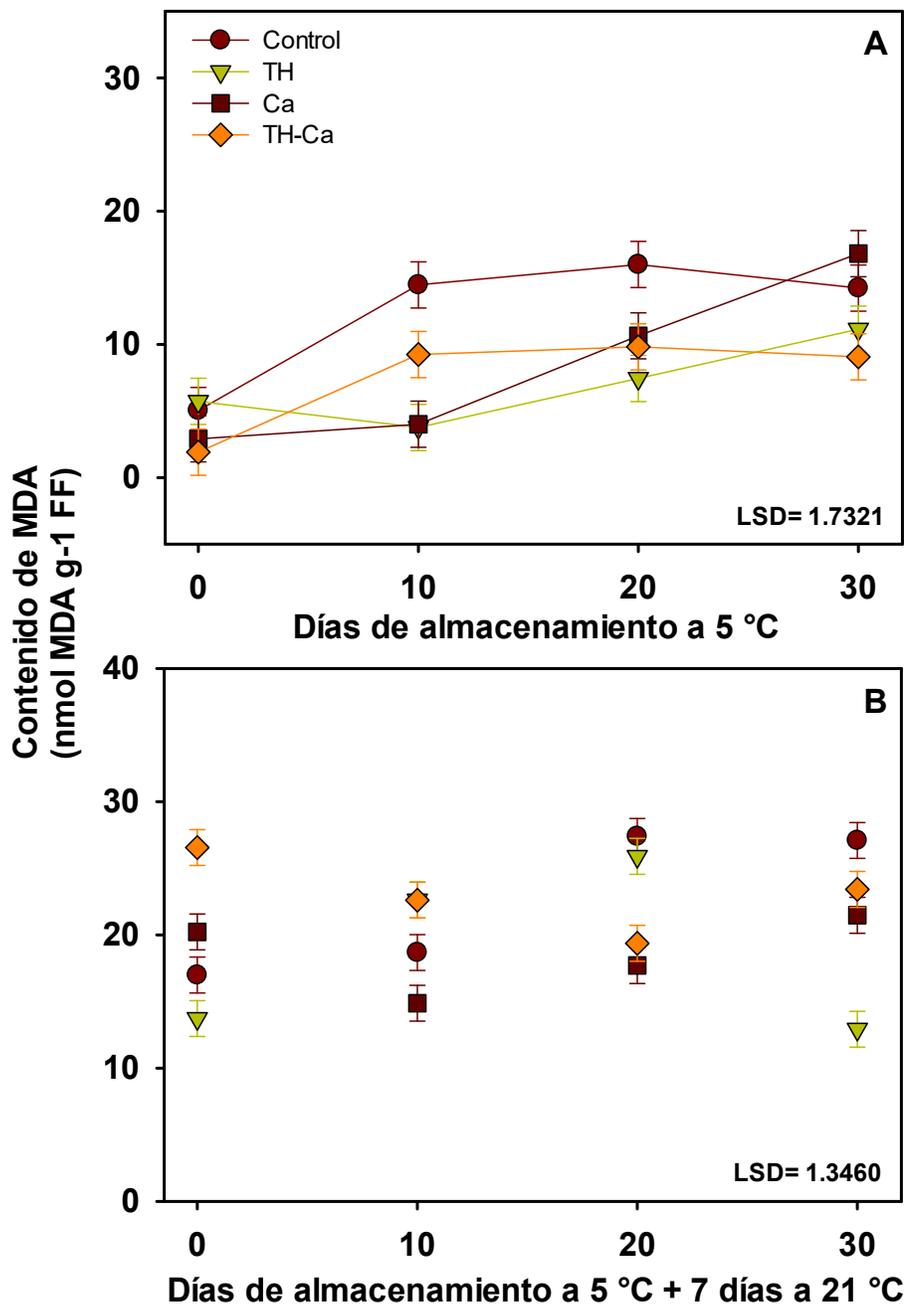


Figura 8. Contenido de MDA en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

un indicador importante para la inducción de tolerancia hacia el daño por frío (Antunes y Sfakiotakis 2008).

Ma y col (2014) reportaron que en frutos de kiwi el contenido de MDA incrementó gradualmente durante el almacenamiento a 0°C, observando valores menores en los frutos que recibieron un tratamiento hidrotérmico. Resultados similares fueron obtenidos por Promyou y col (2012) quienes observaron que el tratamiento hidrotérmico disminuyó el contenido de MDA en los frutos de jujube comparado con los frutos Control. Estos resultados demuestran que el TH es efectivo para reducir el daño a la membrana y el oscurecimiento de la cáscara ya que reduce el estrés oxidativo y la permeabilidad de la membrana. También se observaron resultados similares en frutos de uva (Zhang y col 2005) y plátano (Chen y col 2008; Promyou y col 2008). Berger y col (2001) reportaron que el proceso de degradación de los ácidos grasos de la membrana y la peroxidación son atribuidos a la actividad de LOX, resultando en un incremento en el contenido de MDA en frutos sometidos a estrés por temperaturas bajas.

En la **Figura 8B** se observa como los frutos que fueron tratados con Calcio (Ca y TH-Ca) presentaron un comportamiento muy similar a partir del día 20+7 de almacenamiento a 21°C, mostrando diferencia significativa con respecto al Control y TH pero no entre ellos. El tratamiento hidrotérmico tuvo un comportamiento inestable y sin consistencia a lo largo de la evaluación mostrando niveles altos de MDA en los días 10+7 y 20+7 (22.6 y 26 nmol g⁻¹ ff, respectivamente), y el nivel más bajo registrado durante el experimento en el día 30+7 (13 nmol g⁻¹ ff).

Estudios previos han reportado que las temperaturas bajas, las atmósferas de almacenamiento, la maduración y la senescencia pueden inducir estrés oxidativo en un fruto (Hodges y col 2004). El tratamiento con Calcio y la combinación podrían haber disminuido el daño oxidativo mediante la reducción de la producción de EROs, disminuyendo la acumulación de MDA y manteniendo la integridad de la membrana celular. De la misma forma, se ha demostrado que el TH previo al almacenamiento a temperaturas bajas retrasa la aparición de síntomas de daño por frío en pepino (McCollum y col 1995), limón (McLauchlan y col 1997) y caqui (Lay-Yee y col 1997), ya que reduce el daño a la membrana, disminuyendo el estrés oxidativo y la permeabilidad de los frutos. Khaliq y col (2016) observaron que el contenido de MDA incrementó gradualmente durante el almacenamiento en frutos de mango desde el día 28 hasta el final del experimento (28+5 a 25 °C). Al igual que en este estudio el contenido de MDA en el tratamiento Control fue significativamente mayor que en los frutos tratados con Ca (3%) y la combinación con goma arábica. De igual manera, Safizadeh y col (2007) reportaron que la combinación de cloruro de calcio con tratamiento hidrotérmico redujo el contenido de MDA en frutos de limón.

C. ANÁLISIS DE CALIDAD

1. Color externo

a. Luminosidad

La habilidad para monitorear los cambios en la calidad de los frutos durante su vida poscosecha, especialmente mediante la utilización de métodos no destructivos, podría asegurar la distribución exitosa de un producto de primera calidad. El color de la cáscara ha demostrado ser uno de los mayores indicadores de calidad en mangos.

La cáscara del mango tiene una maduración que comprende del color verde a amarillo-rojizo, lo cual es indicado regularmente por un aumento en los parámetros luminosidad (L^*), a^* y b^* (Fukuda y col 2014).

Los resultados obtenidos para la luminosidad en cáscara de mango durante el almacenamiento a 5 °C se presentan en la **Figura 9A**. Los frutos del tratamiento Control presentaron una reducción constante de la luminosidad durante los 30 días de almacenamiento (descendió desde 53 hasta 39), mostrando diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos solo al final (día 30), lo cual puede relacionarse con la severidad de síntomas de DF observados (maduración irregular, áreas necróticas, pudriciones y oscurecimiento de lenticelas) que pueden reducir el brillo de la cáscara disminuyendo la luminosidad (Martin-Diana y col 2005). Por otra parte, aquellos frutos a los que se les aplicó un tratamiento (TH, Ca y TH-Ca) mostraron valores diferentes al inicio del experimento (día 0) y a partir del día 10 de almacenamiento, los valores fueron constantes oscilando desde 46 hasta 48.7; sin presentar diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellos.

La mayor retención de la luminosidad obtenida en los frutos que fueron tratados con TH y TH-Ca podría deberse a que el tratamiento térmico inhibió la actividad de la enzima PPO limitando la oxidación de la cáscara y por lo tanto la aparición de oscurecimiento (Martin-Diana y col 2005; Barbagallo y col 2012). Resultados similares fueron obtenidos en frutos de jujube; Promyou y col (2012) observaron mayor pérdida de luminosidad en los frutos control en comparación con aquellos que recibieron un tratamiento hidrotérmico; lo cual atribuyeron a que el TH

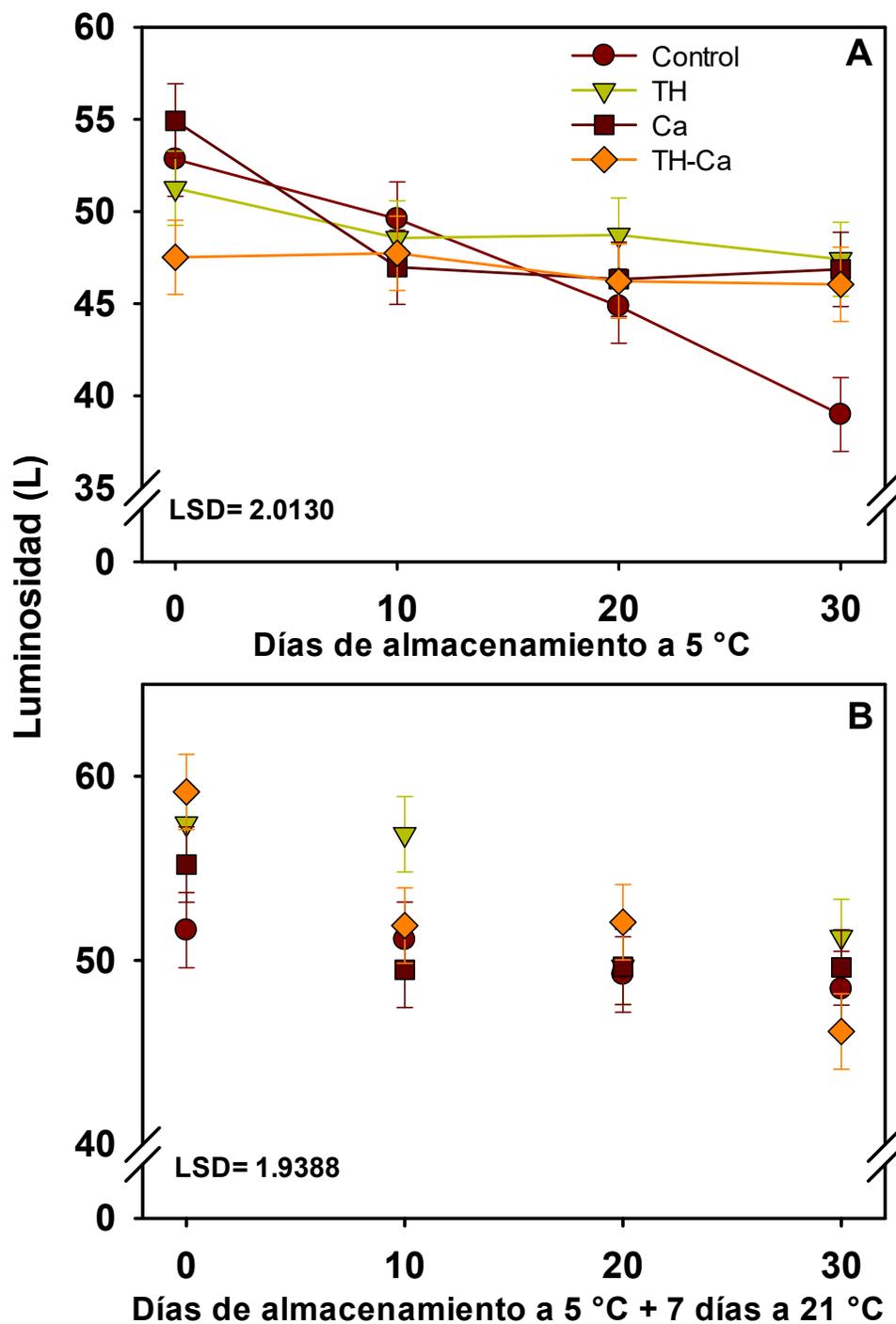


Figura 9. Cambios en luminosidad en cáscara de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

promovía una mayor retención en el contenido de clorofila. También, en frutos de plátano tratados hidrotérmicamente se reportó un mantenimiento de la luminosidad y una disminución en la sensibilidad al DF (Chen y col 2008).

Se ha observado que la aplicación de sales de calcio en combinación con otros tratamientos podría reducir los cambios de color en la cáscara. A este respecto, en frutos de tomate la combinación de sal de calcio con un recubrimiento de goma arábica resultó efectiva ya que este tratamiento creó una barrera entre el fruto y la atmósfera lo cual retrasó la velocidad del metabolismo del fruto (Ali y col 2010; Al Juhaimi 2014). Para el caso del mango, el cultivar Kensington tratados con calcio se observó un impacto ligero en el retraso del oscurecimiento de la cáscara en el fruto (Souza y col 2006).

Durante el almacenamiento de 7 días a 21 °C se pudo observar una pérdida constante en los valores de L* (**Figura 9B**), sin embargo se presentaron valores por arriba de los observados durante el almacenamiento a 5 °C, lo cual podría ser debido al periodo de maduración al cual fueron sometidos los frutos. Al día 0+7, el tratamiento Control presentó una menor luminosidad (52.5) con diferencia significativa ($P<0.05$) con respecto a los tratamientos TH y TH-Ca (58 y 59, respectivamente). En general los frutos tratados mostraron una reducción en la luminosidad, sin presentar diferencias significativas entre ellos, a excepción del día 10+7 en donde TH resultó mayor. Este comportamiento se puede debe a que el estrés térmico previno un rompimiento prematuro de la membrana celular, reduciendo la interacción enzima-sustrato disminuyendo el oscurecimiento en la cáscara del fruto (Ali y col 2010).

Con respecto a la sal de calcio, Khaliq y col (2015) aplicaron CaCl_2 en mango observando que la fruta mostraba diferencia significativa con respecto al control y al resto de los tratamientos (Goma arábica y Calcio en combinación con goma arábica) manteniendo los valores de luminosidad en el fruto sometido a temperaturas bajas (6 ± 1 °C) y posteriormente expuesto a temperatura ambiente (día 28+5), lo cual coincide con lo observado en este trabajo.

b. Parámetro a^*

En la **Figura 10A** se puede observar un incremento gradual en el parámetro a^* durante el almacenamiento a 5 °C para los diferentes tratamientos, siendo mayor el cambio para los frutos Control que iniciaron con -17 para terminar en -4. Los frutos tratados con TH, Ca y TH-Ca no mostraron diferencias significativas entre ellos a lo largo del almacenamiento, con excepción del día 30 donde TH mostró el menor valor de a^* en cáscara, lo cual pudo deberse a que un retrasó en la maduración del fruto. Estos resultados sugieren que los tratamientos aplicados retrasaron la maduración y aparición de síntomas de daño por frío en mango durante su almacenamiento a 5 °C, favoreciendo una mayor retención del color verde en la cáscara; mientras que el aumento en la fruta Control se puede asociar con la severidad del DF. La retención del color verde fue reportada previamente en frutos de jujube como consecuencia de la aplicación de un TH (Promyou y col 2012). También, estudios previos en brócoli y lechuga y mango, sugieren que los tratamientos hidrotérmicos reducen la pérdida de la clorofila manteniendo el color verde en frutas y hortalizas (Dong y col 2004; Martin-Diana y col 2005; Zhang y col 2012).

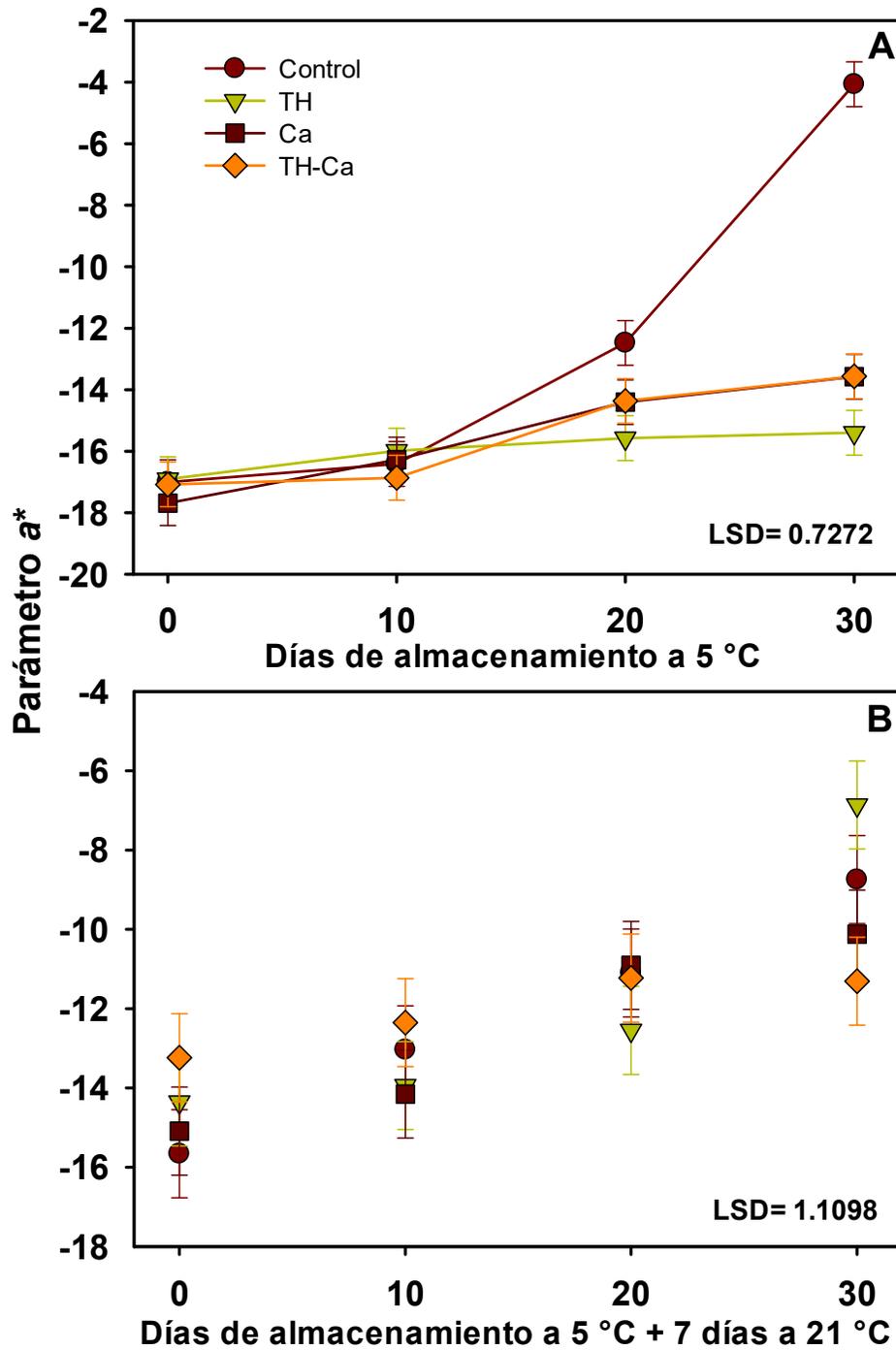


Figura 10. Cambios en el valor a^* en cáscara de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

Durante el periodo de maduración todos los tratamientos presentaron un incremento en el parámetro a^* en cáscara debido a la degradación del color verde (**Figura 10B**). Al final del almacenamiento (30+7) el TH tuvo un aumento considerable (-6.8) en el parámetro a^* , presentando diferencia significativa con respecto a los tratamientos con sal de calcio (Ca y TH-Ca), los cuales propiciaron un retraso en la maduración del fruto. Lo que puede deberse a que el TH provocó un incremento en la velocidad de respiración debido al estrés aplicado al fruto previo a su almacenamiento. Estos resultados coinciden con lo reportado por Chávez-Sánchez y col (2013), quienes observaron que el tratamiento hidrotérmico (55 °C, 3, 6, 9 min) afectaba significativamente el color de la cáscara en papaya. De igual manera Yang y col (2009) reportaron que en tomate los frutos Control tuvieron los valores más bajos de este parámetro, en comparación con los altos niveles presentados por el TH. Los autores adjudicaron este comportamiento a la pérdida de clorofila y a la acumulación de pigmento amarillo como resultado del proceso fisiológico de maduración, ya que se observó un menor contenido de clorofila en los frutos a los cuales se les aplicó un TH.

c. Parámetro b^*

En la **Figura 11** se presentan los resultados obtenidos para el parámetro b^* tanto a 5 como a 21 °C. Los frutos del tratamiento TH tuvieron incrementos de este parámetro a lo largo del almacenamiento, mostrando diferencia significativa sólo al inicio del mismo con respecto al resto de los tratamientos (**Figura 11A**). Los tratamientos Ca y TH-Ca no presentaron cambios ni diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos durante el almacenamiento mientras que el

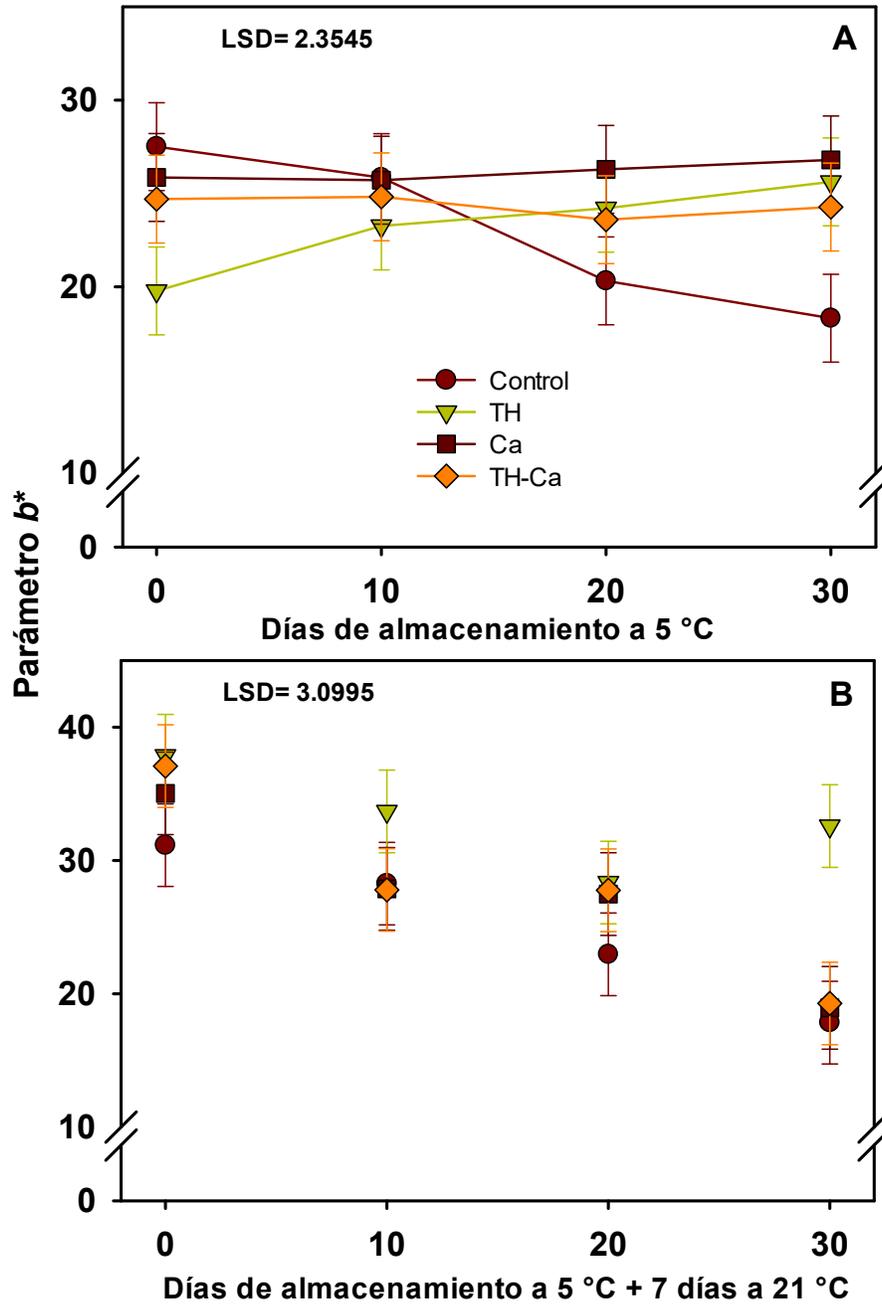


Figura 11. Cambios en el parámetro b^* en cáscara de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

Control mostró un descenso constante en sus niveles del parámetro b^* , presentando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) el día 30 con el resto de los tratamientos. Estos resultados sugieren que los diferentes tratamientos aplicados a los frutos lograron preservar el color en la cáscara del mango, ya que retrasaron la aparición de algunos síntomas de daño por frío. En el mismo sentido, Djioua y col (2009) reportaron que el TH tuvo un valor mayor en el parámetro b^* al compararlo con el control; indicando el cambio a un color amarillo de la cáscara de mango, lo que sugiere que este tratamiento fue capaz de mantener el color en los frutos, al mismo tiempo que se obtuvo un menor oscurecimiento comparado con los otros tratamientos.

En los frutos expuestos durante siete días a temperatura ambiente posterior al DF (**Figura 11B**), los tratamientos mostraron un descenso constante en el parámetro b^* , sin presentar diferencia significativa ($P < 0.05$) entre ellos, a excepción del TH que en el día 30+7 sufrió un incremento. Ya que este tratamiento provocó una maduración acelerada en el fruto lo cual indica la efectividad del mismo, lo que nos indica que el resto de los tratamientos no tuvieron efectividad en este parámetro, ya que no presentaron diferencia significativa respecto al control. Los resultados obtenidos indican que no hubo un cambio de coloración normal para los tratamientos a excepción del TH, lo cual sería debido al daño por frío que afectó a los frutos, resultados similares fueron previamente reportados por Paull (1990) en frutos tropicales, quien observó un incremento de este valor en los frutos a los cuales se les aplicó el TH en comparación con el control. Estos resultados también fueron

obtenidos por Segarra-Carmona y col (1990) en frutos de mango, lo cual relacionaron con una coloración más amarilla en la cáscara de los frutos.

2. Color interno

a. Luminosidad

Los valores de luminosidad en la pulpa de mango se mantuvieron casi constantes a partir del día 10 de almacenamiento a 5 °C en los tratamientos Ca y TH-Ca (**Figura 12A**) presentando diferencia significativa ($P<0.05$) con respecto a TH y al Control que resultaron con pérdidas ligeras durante los 30 días de almacenamiento. El tratamiento de la combinación mantuvo la luminosidad del fruto a lo largo del almacenamiento con un valor constante de 81, que resultó ser el más alto. Al final del almacenamiento se presentó la mayor reducción de L especialmente en los tratamientos Control y Ca (2.02 y 1.93 respectivamente).

La retención en los niveles de luminosidad podría deberse a la aparición de colores amarillo-anaranjado en la pulpa del mango (Dea y col 2010). Las diferencias que se mostraron entre los tratamientos con calcio (Ca y TH-Ca) comparados con el Control podrían deberse a un retraso en la activación del sistema metabólico que inicia la síntesis de carotenoides (Mahmud y col 2008). Existen reportes que mencionan que fórmulas con calcio podrían retrasar la pérdida de luminosidad debido a que limitan el rompimiento celular y membranal (Toivonen and Brummell 2008) y consecuentemente reducen la liberación de la enzima PPO y sus sustratos, favoreciendo así la preservación del color en la pulpa del fruto (Pérez-Cabrera y col 2011).

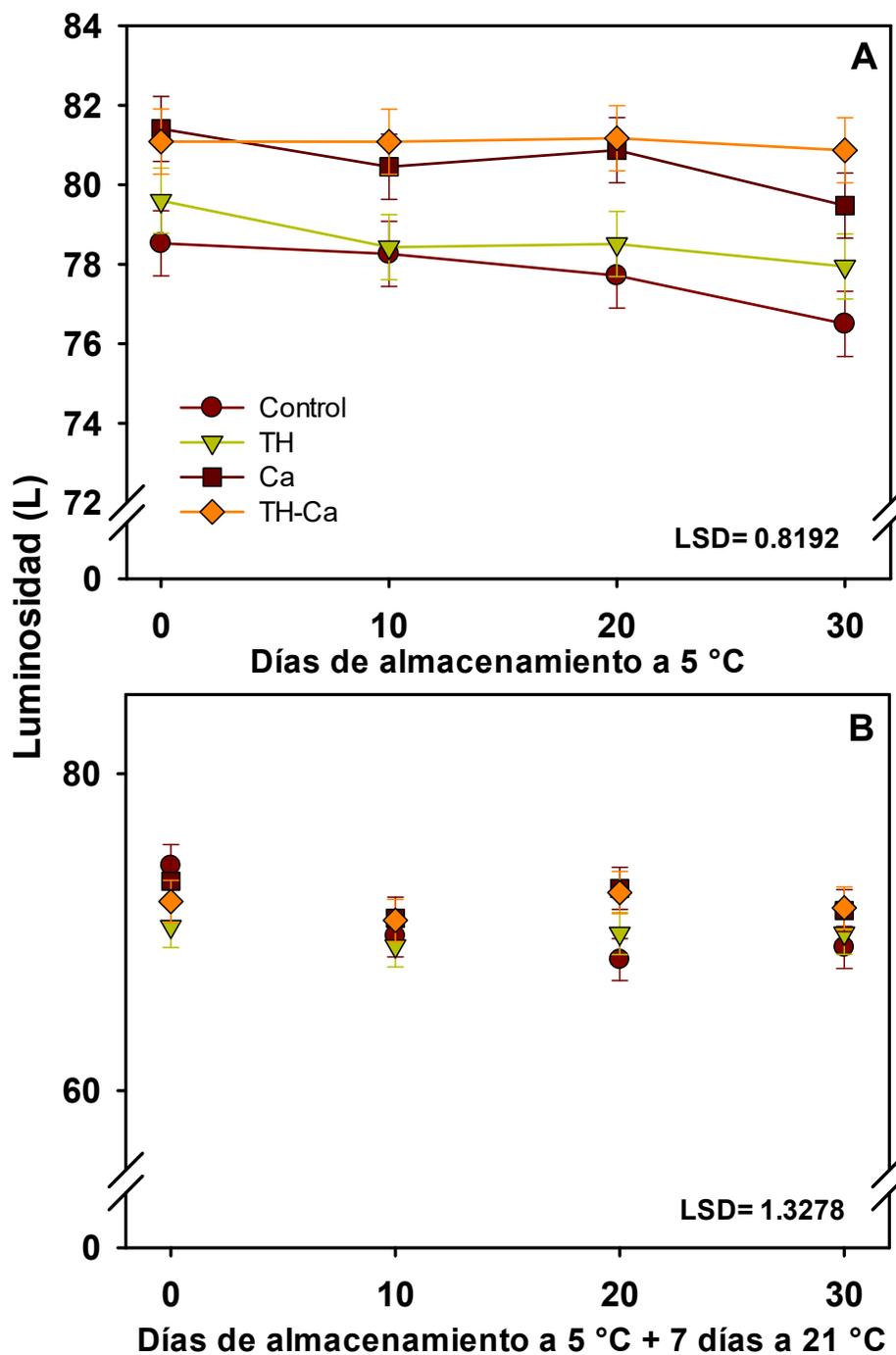


Figura 12. Cambios en la luminosidad en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

Al igual que en nuestro trabajo, Dea y col (2010) observaron que en mango mínimamente procesado la luminosidad disminuyó durante el almacenamiento a 5 °C, lo cual fue indicador de oscurecimiento en la pulpa. También, en el estudio realizado por Ngamchuachit y col (2014) en pulpa de mango se observó que a mayor concentración de sal de calcio (lactato de calcio y cloruro de calcio), mayores eran los valores de L. Estos resultados revelan la presencia de un color más claro en la pulpa del fruto, por lo que las sales de calcio aplicadas como parte de los tratamientos estarían proporcionando estabilidad a la pared celular y por lo tanto manteniendo su integridad, disminuyendo así el contacto enzima-sustrato. Al igual que en nuestro trabajo, Aguayo y col (2015) observaron que la aplicación del tratamiento hidrotérmico provocaba una ligera reducción en los valores de L en frutos de manzana mínimamente procesada.

Durante el almacenamiento por 7 días en maduración (21 °C) (**Figura 12B**) se presentaron niveles menores de luminosidad en comparación con los obtenidos a 5 °C; por lo que la transferencia a temperaturas superiores generó una rápida degradación del brillo en la pulpa de mango. De igual forma, los frutos que fueron tratados con sales de calcio (Ca y TH-Ca) tuvieron un comportamiento muy similar entre ellos, sin presentar diferencias estadísticas durante el almacenamiento, presentando mayor retención de este parámetro y mostrando diferencia significativa respecto al Control en el día 20+7. Los frutos del control y el TH presentaron menores niveles de luminosidad con respecto al resto de los tratamientos y no presentaron diferencia significativa ($P>0.05$) entre ellos, porque se puede concluir que el TH no tuvo ningún efecto en los frutos de mango que fueron almacenados a

temperaturas bajas con una posterior exposición a temperatura ambiente, contrario a los tratamientos con calcio. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Suntharalingam y col (1996) quienes reportaron que el desarrollo de color en frutos de mango fue retrasado significativamente usando tratamientos con cloruro de calcio, comparado con el control, tanto en temperatura ambiente como en temperaturas bajas, lo cual se pudo deber a que se retuvo la integridad de la pared celular debido a la adición del calcio.

b. Parámetro b^*

El parámetro b^* es utilizado para la estimación de cambios en la intensidad del color amarillo durante el almacenamiento de los frutos (González-Aguilar y col 2005). Los resultados de la evaluación de este parámetro en la pulpa de mango cv. Keitt durante el almacenamiento a 5 y 21 °C se muestran en la **Figura 13**. Se puede observar que los frutos tratados con Ca y TH-Ca y almacenados a temperatura de daño por frío (5 °C) presentaron la menor pérdida de coloración amarilla, obteniendo los valores más bajos, así como un comportamiento muy similar entre ellos (**Figura 13A**). De forma contraria, el TH presentó los mayores niveles obteniendo el valor más alto (72) en el día 30 seguido por el Control (68), resultado de un ascenso constante de ambos a lo largo del estudio. Todos los tratamientos fueron significativamente diferentes entre ellos en el último día de almacenamiento a 5 °C.

Estos resultados sugieren que la aplicación individual o combinada de calcio logra preservar el color amarillo durante un mayor tiempo en la pulpa de los frutos de mango. Esto coincide con lo observado por Petit-Jiménez y col (2004) quienes

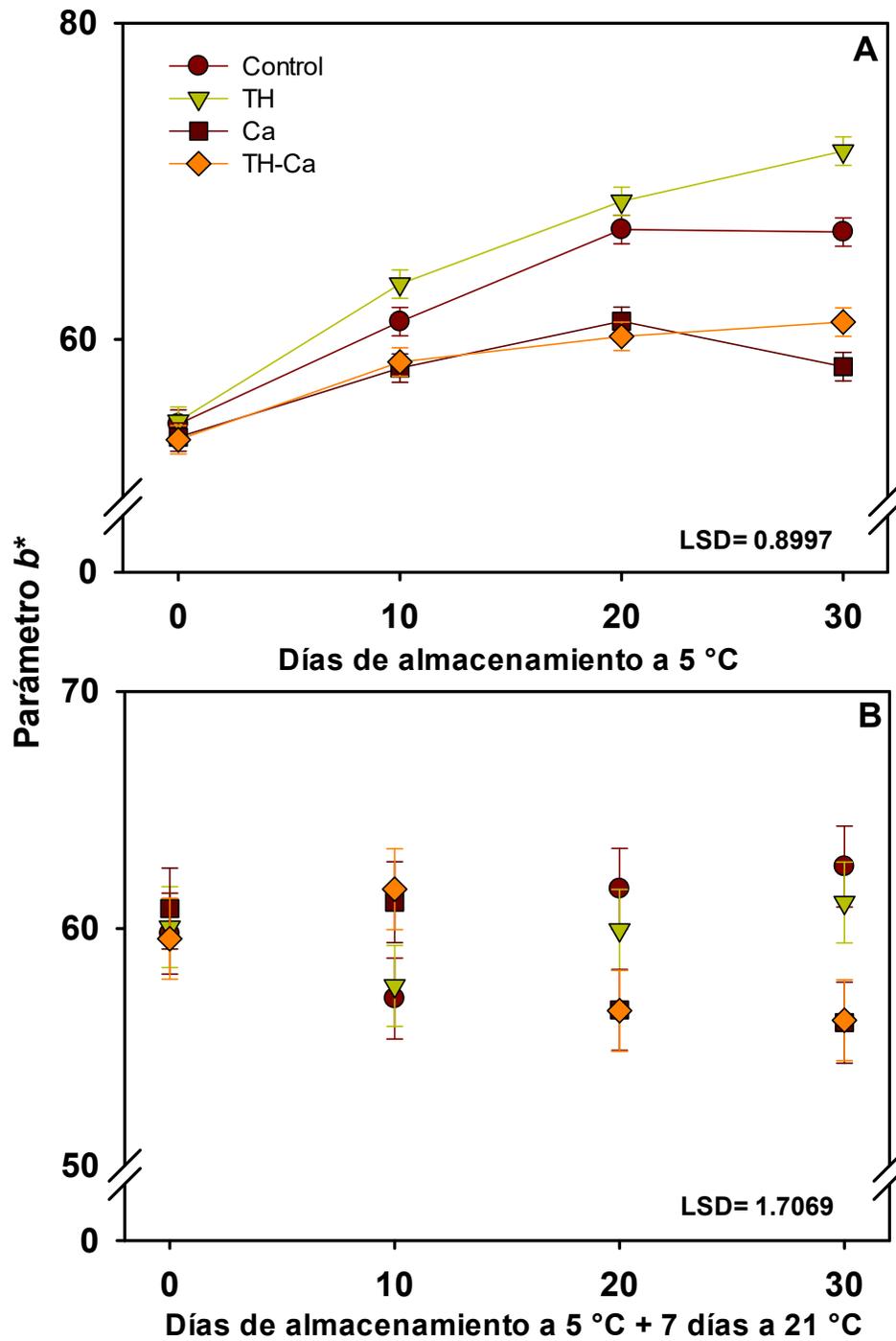


Figura 13. Cambios en el parámetro b^* en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

reportaron menor desarrollo de color en los frutos de mango que recibieron tratamientos con calcio en comparación con los frutos control; así también, otros resultados reportan que la aplicación de calcio retrasa el desarrollo del color tanto en la cáscara como en la pulpa de frutos de limón (Tsantili y col 2002). Esto podría deberse a que este tratamiento provocó una retención de la integridad de la membrana de los plástidos previniendo la pérdida del color (Whitaker y col 1997).

Nuestros resultados también coinciden con los obtenidos por McCullum y col (1993), donde el parámetro b^* de la pulpa de mango fue influenciado significativamente por el tratamiento hidrotérmico, aumentando para todos los tratamientos, en especial para el TH que presentó la mayor síntesis de carotenoides en los frutos, lo cual podría ser indicador de una maduración acelerada.

En la **Figura 13B** se presentan los resultados obtenidos para el parámetro b^* en pulpa de frutos que fueron almacenados a temperatura baja (5 °C) y posteriormente expuestos 7 días a temperatura ambiente (21 °C). En la misma se observa que al inicio del almacenamiento todos los frutos presentaron valores similares (cerca de 60), sin embargo a partir del día 10+7 se observó una clara separación en cuanto al comportamiento de los tratamientos Ca y TH-Ca con respecto al TH y al Control, siendo estos últimos los que presentaron un aumento en este parámetro a partir de este día. Por su parte, los tratamientos Ca y TH-Ca presentaron un descenso constante en sus valores para presentar diferencia significativa con respecto al Control y TH en los días 10+7 y 30+7.

Los resultados anteriormente descritos coinciden con los reportados por Phakawatmongkol y col (2004) quienes observaron pérdida de color en algunos

mangos expuestos a temperatura ambiente (21 °C) con almacenamiento previo a temperaturas bajas, lo cual podría explicar los valores menores de este parámetro en la **Figura 9B**, en comparación con los valores obtenidos para los frutos que sólo fueron almacenados a temperatura baja.

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por McCullum y col (1993) quienes observaron una ligera reducción en los valores del parámetro b^* en aquellos frutos tratados hidrotérmicamente en comparación con los frutos control lo que relacionaron con una menor presencia de síntomas de daño por frío. De forma contraria los resultados obtenidos por los tratamientos con calcio muestran que al ser colocados a temperatura ambiente, no se ve afectado el desarrollo del color en los frutos, manteniéndose un color amarillo tenue que es común en esta variedad.

3. Índice de Oscurecimiento (IO)

Se ha observado que los frutos de mango expuestos a temperaturas por debajo de 12 °C muestran oscurecimiento en la pulpa y que la intensidad varía con la sensibilidad del fruto a las temperaturas bajas y con el daño provocado en el tejido (Chongchatuporn y col 2013).

En la **Figura 14** se muestran los resultados obtenidos del índice de oscurecimiento en la pulpa de mango durante el almacenamiento a 5 y 21 °C. Al ser los frutos almacenados a temperaturas de daño por frío se pudo observar un incremento en el índice de oscurecimiento para todos los tratamientos conforme transcurrieron los días (**Figura 14A**). TH y TH-Ca (1) presentaron diferencia significativa con respecto al Control (1.6) al día 10. El resto del almacenamiento

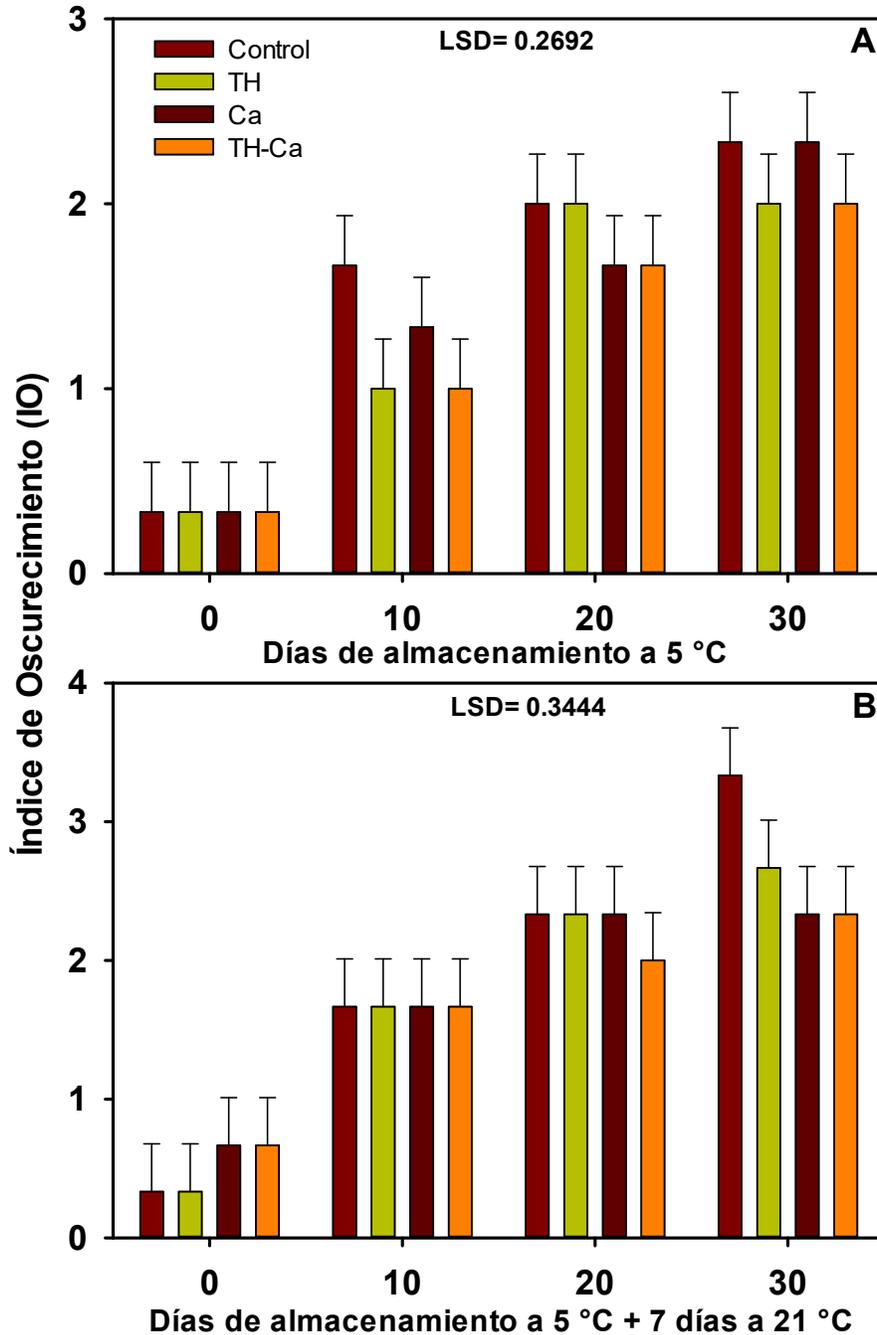


Figura 14. Índice de oscurecimiento en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

todos los tratamientos presentaron un incremento en el IO sin presentarse diferencia estadística entre ellos. Este aumento es consecuencia de un incremento en la actividad de la enzima polifenoloxidasasa (PPO), que en presencia de oxígeno es mediadora de la oxidación de compuestos fenólicos, provocando un oscurecimiento enzimático debido a la formación de quinonas que se convierten en melaninas (color oscuro) (Martínez-Ferrer y col 2002).

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos previamente por Chidtragool y col (2011), donde en el día 9 de almacenamiento algunos frutos mostraron daño por frío, ya que presentaron zonas con coloración grisácea las cuales incrementaron a medida que avanzaron los días de almacenamiento. Así mismo coinciden con los reportes obtenidos por Ma y col (2014) al aplicar un TH de 45 °C en frutos de kiwi, logrando un menor oscurecimiento en la pulpa que el obtenido en los frutos control almacenados a 0 °C. Los autores también encontraron una reducción significativa en los síntomas de DF, lo que pudo deberse a la activación temprana de enzimas pécticas de la pared celular (PME, PG y β -Gal). También se observó una reducción en el IO comparado con el control en fresas (Abd-Elhady 2014), manzana (Varella y col 2007), aguacate (Van Rensburg y Engelbrecht 1986) y piña (Hewajulige y col 2003) tratados con calcio, encontrando además que entre mayor era la concentración de calcio menores eran los síntomas de oscurecimiento observados en la pulpa de los frutos. En este sentido, las sales de calcio representan una alternativa para tratar frutos susceptibles al oscurecimiento de la pulpa, ya que se ha mencionado que una mayor presencia de calcio en la membrana mejora la capacidad de retención de agua de los frutos, debido a una mayor formación de redes pécticas, retrasando de

esta manera la aparición de zonas oscuras en los frutos de mango (Khaliq y col 2015).

Cuando los frutos fueron transferidos a maduración posterior al DF se observó un mayor IO con respecto al almacenamiento previo (**Figura 14B**). La combinación TH-Ca presentó una reducción en el IO al día 20+7 mostrando diferencia significativa con el resto de los tratamientos. Al final del almacenamiento los frutos tratados con Ca y TH-Ca mostraron un menor IO, presentando diferencia estadística ($P < 0.05$) con respecto al Control. Dicho comportamiento pudo deberse a que algunas sales de calcio funcionan como agentes anti-oscorecimiento, debido a que el calcio está involucrado en la regulación de muchos aspectos del metabolismo, incluyendo la integridad de la membrana y la permeabilidad selectiva de la célula, así como el ensamblaje de micro túbulos. Además, los iones de calcio ayudan a ligar las paredes de las células vecinas y así mantener las propiedades semi-permeables de la membrana celular (Hewajulige y col 2003).

El incremento en el IO durante el periodo de maduración podría deberse a una mayor actividad de las enzimas fenilalanina amonio liasa (PAL), polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasa (POD), las cuales han sido relacionadas con el oscurecimiento en los frutos (Chidtragool y col 2011; Aghdam y Bodbodak 2013). En particular, se ha reportado que las enzimas PPO y POD son causantes de la oxidación de compuestos fenólicos, ya que tienen un efecto sinérgico en la formación de polímeros oscuros al interactuar con los compuestos fenólicos sintetizados por la enzima PAL (Luo y col 2012).

Los resultados del presente estudio coinciden con los obtenidos por Chidtragool y col (2011) en frutos de mango almacenados a 4 °C, los cuales mostraron un incremento en el oscurecimiento de la pulpa al ser transferidos a temperaturas de 27-28 °C; de igual manera, estos autores mencionaron que debido al oscurecimiento que se presentaba en el fruto su vida de almacenamiento y de anaquel disminuían. También coinciden con los obtenidos por Phakawatmongkol y col (2004) en mango y Ma y col (2014) en kiwi, quienes observaron mayor índice de oscurecimiento en los frutos una vez expuestos a temperatura ambiente.

4. Firmeza

La maduración del mango va acompañada de cambios de color y ablandamiento (Khaliq y col 2015). Los cambios en la firmeza se presentan debido a las variaciones químicas de algunos de los principales componentes de la pared celular, como lo son pectinas, celulosa y hemicelulosa (Ruíz-Cruz 2002).

En la **Figura 15A** se muestran los valores de firmeza de los frutos de mango durante el tiempo de almacenamiento a 5 °C, donde se observa que los factores tratamiento y tiempo tuvieron efecto sobre la firmeza de los frutos. Al inicio del almacenamiento los frutos de la combinación TH-Ca presentaron una mayor firmeza (98 N) comparada con el resto de los tratamientos (entre 73 y 82 N). Después de 10 y 20 días a 5 °C, los frutos tratados con lactato de calcio mostraron los valores mayores de firmeza (80 N en promedio), presentando junto con el tratamiento combinación, diferencia significativa con respecto al tratamiento Control al día 20 (60 N). El TH mostró un comportamiento similar ($P>0.05$) al Control a lo largo del almacenamiento. Al final, todos los tratamientos presentaron una reducción en la

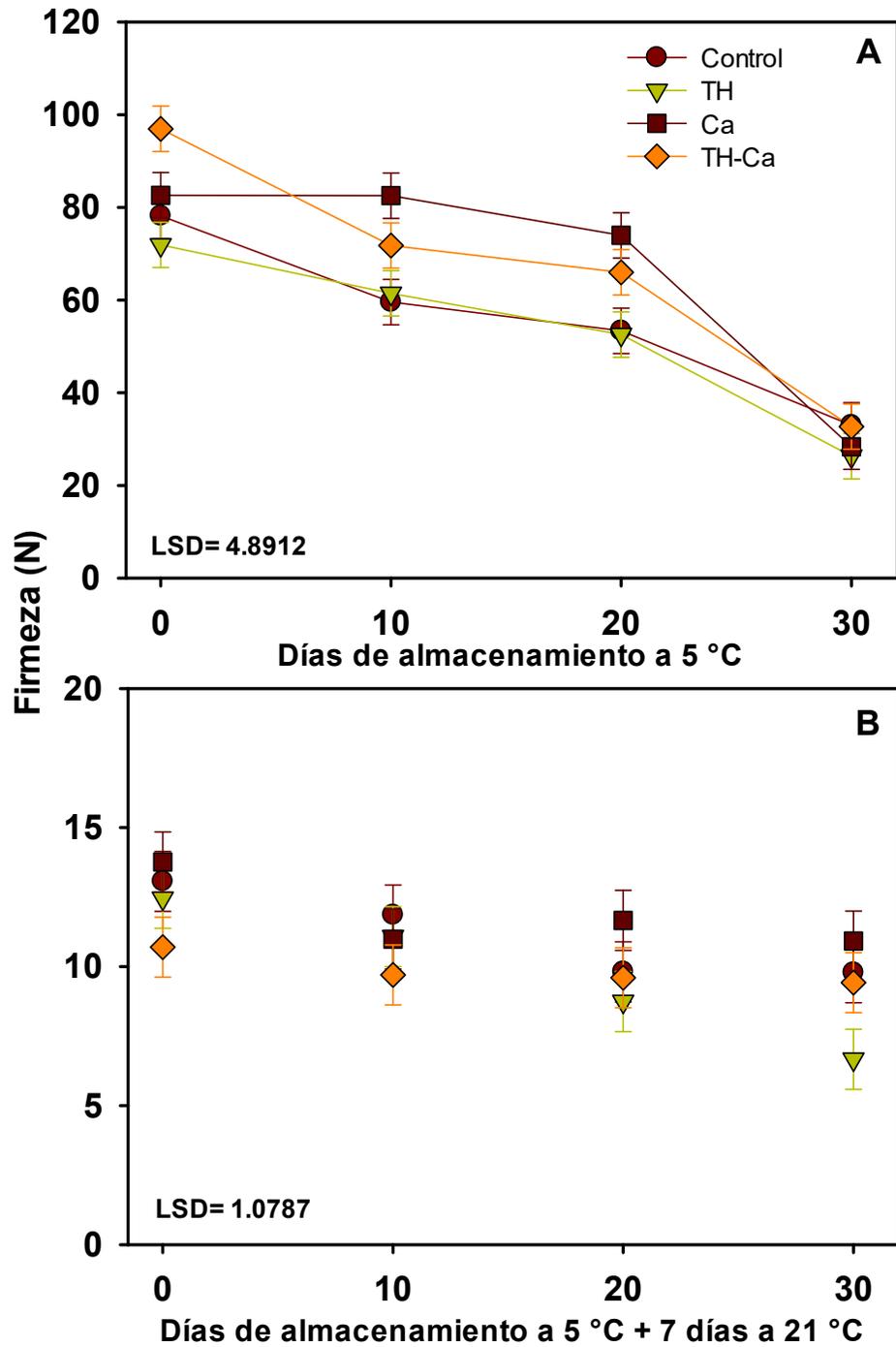


Figura 15. Pérdida de firmeza en pulpa de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

firmeza para terminar con valores similares (por debajo de 40 N). A lo largo del almacenamiento el menor valor presentado fue obtenido por el tratamiento hidrotérmico (26 N), es importante mencionar este punto, ya que de acuerdo con Contreras-Martínez y col (2003) valores de firmeza por debajo de 20 N indican pérdida de la calidad en frutos de mango cv. Keitt.

En este trabajo se observó que el tratamiento hidrotérmico por sí solo no tuvo ningún efecto en los frutos de mango cv. Keitt ya que no mostró diferencia significativa respecto al Control, pero al ser combinado con lactato de calcio se obtuvo una mejor retención de la firmeza, lo cual podría estar relacionado con una reducción en la actividad de enzimas que se encargan de degradar la pared celular, como lo son las enzimas pectilmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) (Silveira y col 2011). Estos resultados también se podrían relacionar con la capacidad que presenta el calcio para la formación de pectatos de calcio que mantienen la estructura de la pared y membrana celular (Ayón-Reyna y col 2015). Los iones de calcio podrían también mejorar la firmeza del mango mediante la unión con fosfolípidos y proteínas en la superficie de la membrana, contribuyendo así a un incremento en la integridad de la misma (Hirschi 2004). Asimismo, este efecto puede deberse al entrecruzamiento de grupos carboxilos cargados negativamente en la pectina desesterificada de la lámina media y pared celular con los iones de calcio en las soluciones (Hasegawa 2006).

Lo observado en nuestro estudio concuerda con los reportes de Chávez-Sánchez y col (2013) en frutos de papaya, quienes no encontraron diferencias significativas en la firmeza de frutos a los que se les aplicaron TH en comparación

con el control. Por otra parte, Manganaris y col (2007) observaron que al aplicar sales de calcio en frutos de durazno la firmeza se incrementaba en comparación con el control durante el almacenamiento. Así mismo, en frutos de melón mínimamente procesados tratados con calor y sales de calcio y almacenados a 5 °C, se observó una mayor retención de la firmeza con respecto al control, lo que fue atribuido al efecto sinérgico de los tratamientos (Silveira y col 2011).

Al transferir los frutos a 21 °C (**Figura 15B**) la firmeza se mantuvo en niveles muy bajos a lo largo del almacenamiento para todos los tratamientos (por debajo de 15 N), siendo el tratamiento Ca el que presentó la mayor retención de firmeza a lo largo del estudio (en promedio 12 N), mostrando diferencia significativa ($P<0.05$) con el TH los días 20+7 y 30+7. Este último mostró una reducción significativa de la firmeza obteniendo diferencia significativa con el resto de los tratamientos al día 30+7. En estos resultados se observa una clara diferencia entre los frutos expuestos a temperaturas bajas y aquellos a los cuales se les expuso a un periodo de maduración, lo que se podría atribuir a la manifestación de síntomas de daño por frío causado por la exposición del fruto a temperaturas bajas y expuesto posteriormente a temperatura ambiente, ya que la respuesta primaria a temperaturas de daño por frío incluye una disminución en la fluidez de los microdominios de la membrana celular, así como daño a las proteínas críticas de la membrana, lo que genera un incremento en la rigidez de la misma, y resulta en un ablandamiento del tejido (Dea y col 2010). De igual manera el TH mostró la mayor disminución en sus valores de firmeza, lo cual se ha reportado es una de las desventajas en cuanto a la aplicación

de este tratamiento en los frutos de mango, lo que además permitió una maduración regular del fruto (McCollum y col 1993).

5. Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Los sólidos solubles totales (SST) son producto de la hidrólisis del almidón, el cual refleja el suministro de hidratos de carbono en la fruta (Burdon y col 2013). También, son importantes reguladores osmóticos en las células de las plantas cuando se encuentran en concentraciones altas, mantienen la solubilidad intracelular y un punto de congelación reducido, lo cual resulta en resistencia al daño por frío (Ma y col 2014; Zhang y col 2017).

El contenido de sólidos solubles totales mostró un comportamiento muy similar durante los primeros 20 días de almacenamiento a 5 °C para todos los tratamientos sin mostrar diferencias entre ellos (**Figura 16A**), teniendo un incremento en el día 10 seguido por una disminución en el día 20, presentando valores en un rango de 7.2 a 13.2 °Brix al inicio y al final del almacenamiento, respectivamente. Los tratamientos a los cuales se les aplicó una sal de calcio presentaron diferencia significativa ($P<0.05$) con respecto al resto de los tratamientos en el día 30, más no así entre ellos; lo cual coincide con los resultados obtenidos en los parámetros de firmeza e índice de daño por frío, en los que se registraron los mejores valores para estos tratamientos. El tratamiento Control obtuvo los niveles menores de SST (8.6 °Brix) seguido por TH (11 °Brix).

Los SST incrementaron ligeramente durante el almacenamiento, indicando que el fruto continuó con su actividad metabólica, convirtiendo el almidón residual en

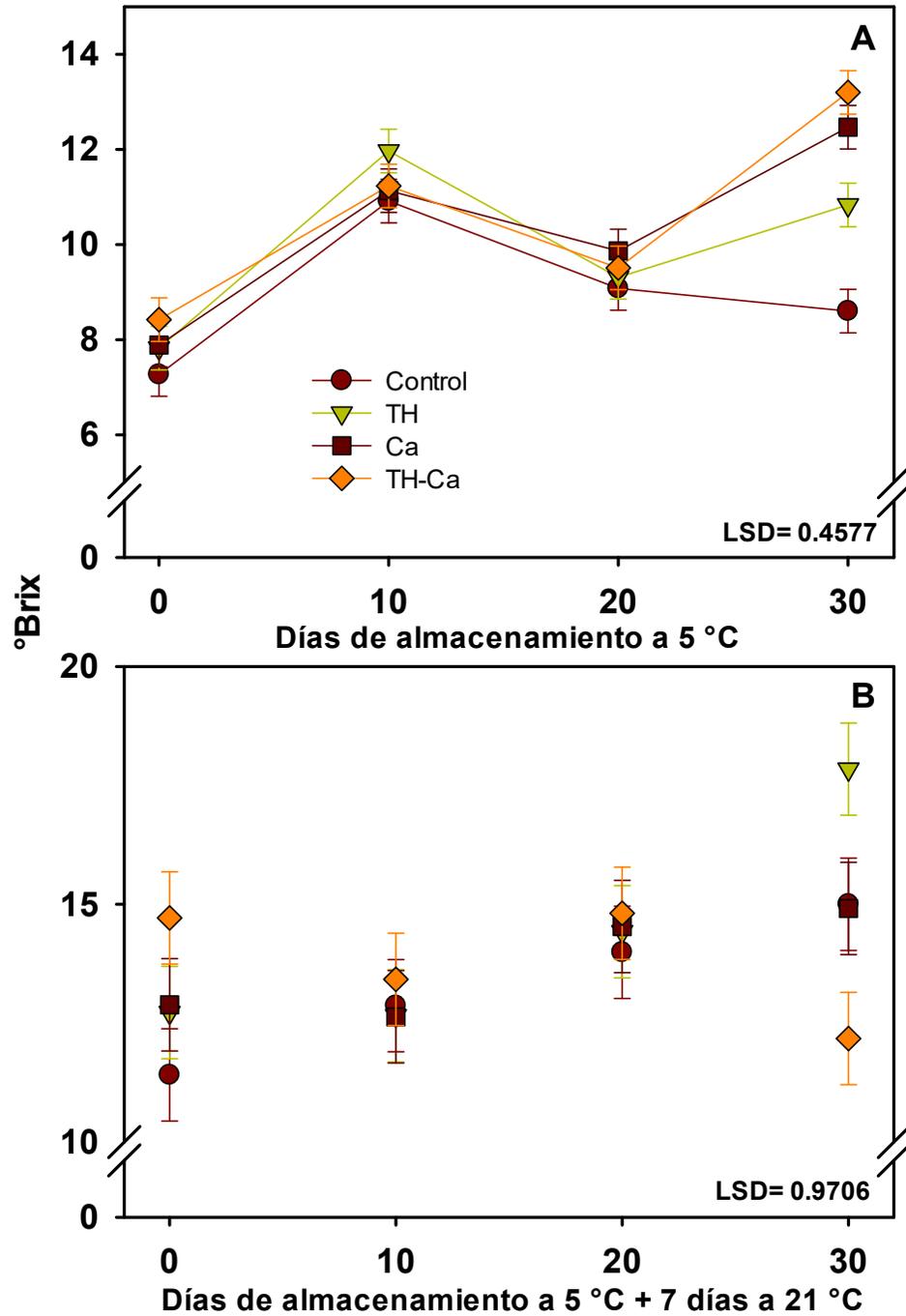


Figura 16. Contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada

punto representa la media de 9 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

azúcares (Dea y col 2010); con excepción del Control en donde la maduración de los frutos se pudo ver afectada debido al daño por frío sufrido durante el almacenamiento a temperaturas bajas. En cuanto al incremento que se presentó al final del almacenamiento en los tratamientos con calcio, Rathore y col (2007) concluyeron que puede ser causado por la alteración de la estructura de la pared celular y el rompimiento de hidratos de carbono complejos; mientras que Ruiz y Guadarrama (1992) mencionaron que este fenómeno podría también presentarse a expensas del contenido de almidón en el fruto. Aunque en un estudio realizado por Martínez-Ferrer y col (2002) en mango, estos autores relacionaron el aumento con el hecho de que el almidón no sería necesariamente la fuente principal de los azúcares recientemente formados. Aun así, en el presente estudio se observó que los frutos con mayor índice de daño por frío (control) presentaron una disminución en los niveles de SST al final del almacenamiento comparados con los frutos tratados con calcio.

Los resultados de SST (**Figura 16A**) coinciden con el valor medio obtenido por Carrera y col (2009) en frutos de mango (12.7 °Brix), así como con lo reportado por De Souza y col (2006) quienes observaron que el contenido de SST se mantuvo sin cambios a lo largo del almacenamiento de mango a 3 °C, tal y como se observó en el presente trabajo hasta el día 20, teniendo una media de 13.2 °Brix por tratamiento. También coinciden con los resultados obtenidos por Leon y col (2000) y Donadon y col (2004) en mango mínimamente procesado. En mangos “Julie” y “Graham”

almacenados a temperaturas de 5 ó 10 °C se observó un ligero incremento en el contenido de SST (Allong y col 2001), mientras que en mango almacenado a 8 °C por 14 días no se observaron cambios (Rattanapanone y col 2001; Gil y col 2006; González-Aguilar y col 2007).

En frutos de pitahaya y melón se observó que aquellos que estuvieron expuestos durante tiempos prolongados al tratamiento con calcio tuvieron niveles más elevados de SST, así como rangos de respiración menores comparados con los frutos control, por lo tanto la utilización de azúcares para la respiración pudo haber sido reducida, manteniendo así sus niveles de SST, disminuyendo la velocidad de maduración (Lamikanra y Watson 2004; Chuni y col 2010).

En los frutos de mango almacenados a temperatura baja + 7 días a temperatura ambiente (21 °C), se observó que en los primeros 20 días de almacenamiento todos los tratamientos tuvieron valores similares en el contenido de SST, mientras que al día 30 sólo el tratamiento TH-Ca sufrió una disminución (**Figura 16B**). Los tratamientos Control y Ca tuvieron un incremento constante a lo largo del almacenamiento, mientras que el TH mostró un marcado aumento presentando diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos al final del almacenamiento.

Con respecto al tratamiento TH-Ca, se reflejó el efecto que tuvo el tiempo de almacenamiento, observándose valores más bajos a medida que se incrementaban los días de almacenamiento. Un efecto similar se puede observar en los valores de firmeza, en donde este tratamiento logró mantener niveles estables, debido a un

retraso en la maduración que podría estar relacionada con un daño a la membrana por la exposición a temperaturas bajas (Meza y Manzano 1998).

El comportamiento antes descrito por el TH podría deberse a una menor velocidad en la respiración del fruto y por lo tanto, menor utilización de azúcares para llevar a cabo este proceso, además de que este incremento podría relacionarse con el aumento de la solubilidad de la pectina en la pared celular debido a la acción de enzimas pécticas (Figueira-Correa y col 2008). Romero-Gomezcaña y col (2006) observaron que los niveles de SST tendieron a disminuir en frutos de mango “Haden” conforme la concentración de Ca incrementaba, lo que demuestra que hubo un efecto del Ca sobre el retraso en la maduración, lo cual puede relacionarse con una disminución en el metabolismo del fruto y con una mayor retención en la integridad de la pared celular, ya que se presentó una mayor firmeza y menor conversión de almidón, así como una liberación de azúcares simples. En nuestro estudio, los resultados obtenidos en el periodo de maduración así como los resultados observados en el tratamiento con calcio, coinciden con lo reportado por Petit-Jiménez y col (2004) y Freire y Chitarra (1999) en mango. De manera contraria, Paull y Chen (2000) no encontraron diferencias significativas entre la aplicación de tratamiento hidrotérmico y los frutos control en mango, uva, naranja y tomate.

6. pH

La pulpa de mango presentó un incremento significativo en el pH a lo largo del almacenamiento a 5 °C (**Figura 17A**). Los valores observados en el cultivar “Keitt” se mantuvieron en un rango de 3.7 a 4.0 y sólo el TH presentó diferencia significativa con respecto al Control al final del almacenamiento (día 30) obteniendo los valores

más bajos (3.7). Este comportamiento pudo deberse a una afectación en el metabolismo de la fruta, provocada por la aplicación de calor, lo cual generó una

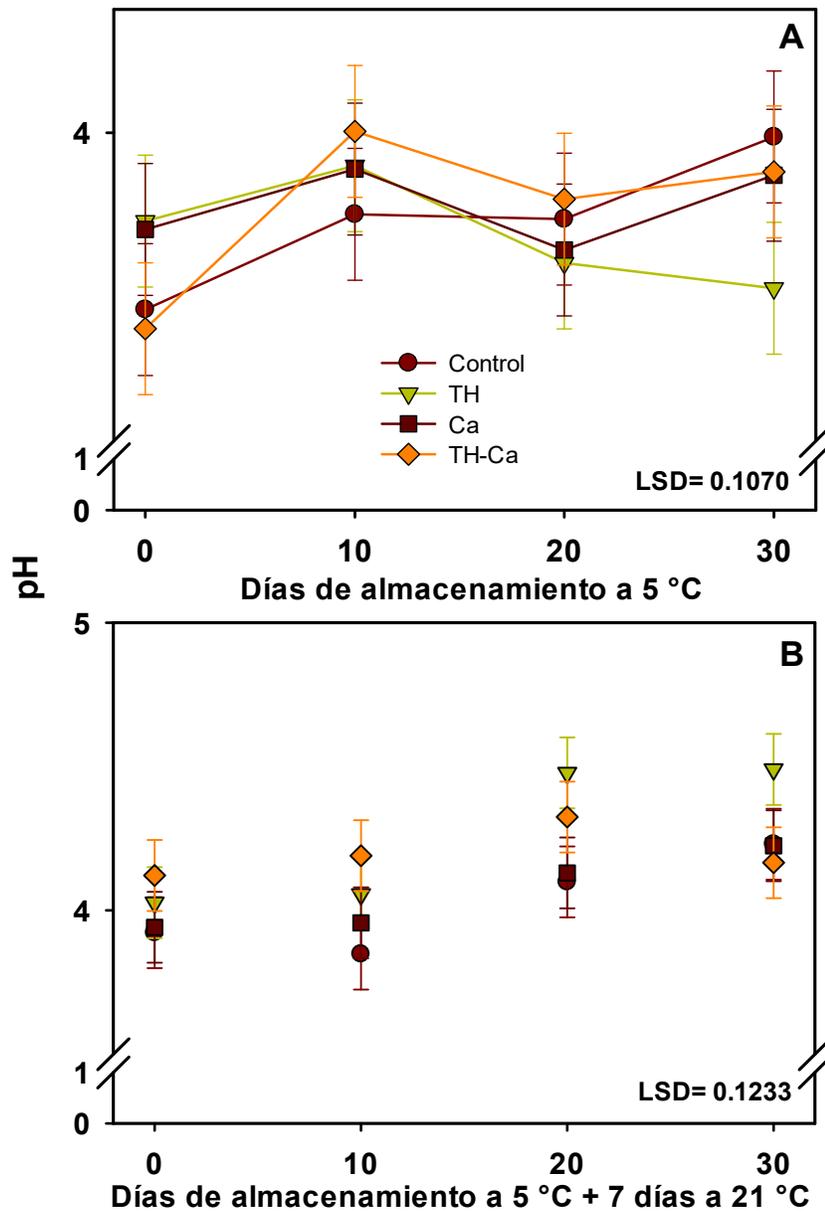


Figura 17. Cambios en los valores de pH durante el almacenamiento de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B).

Cada punto representa la media de 12 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

alteración en la maduración del fruto de mango, mismo que ya se había reportado para guayaba (Castellano y col 2004). Sin considerar el TH, algunos autores ya han indicado que no hay cambios significativos en el pH de mango durante su almacenamiento a temperaturas bajas (Paull and Chen 2000; Gil y col 2006). Mismo caso para papaya, como lo reportaron Chávez-Sánchez y col (2013) quienes no observaron diferencia significativa con respecto al tratamiento control en los primeros 20 días de almacenamiento.

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Ayón-Reyna y col (2015) en papaya tratada con TH-CaCl₂ y almacenada a 5 °C. Los autores observaron que la combinación presentaba un comportamiento similar al control, indicando que el pH no era afectado por el tratamiento pero sí lo era por el tiempo de almacenamiento.

También, Dea y col (2010) observaron que, en general, el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto sobre los valores de pH, aunque dichos cambios fueron pequeños (≤ 0.2 unidades). En el caso de mango, González-Aguilar y col (2007) no encontraron cambios significativos en el comportamiento del pH durante el almacenamiento del fruto.

En la **Figura 17B** se presenta el pH de los frutos sometidos a temperaturas de maduración una vez retirados del almacenamiento a temperaturas bajas. Durante los primeros 10+7 días los resultados se mantuvieron sin cambios considerables para

incrementar al día 20+7 en todos los tratamientos. Este incremento resultó mayor al día 30+7 especialmente para los frutos con TH que mostraron diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos obteniendo un pH de 4.5. El comportamiento general de los valores de pH puede relacionarse con el metabolismo del fruto ya que durante la respiración se producen ácidos orgánicos por medio del ciclo de Krebs que son utilizados en diversos procesos bioquímicos como sustratos, debido a esto se presenta un aumento de pH (Martínez-Ferrer y col 2002).

Resultados similares a los presentes fueron reportados por Martínez-Ferrer y col (2002) en el tratamiento control, ya que en la investigación que ellos realizaron tanto los frutos de mango presentaron los mismos patrones en cuanto a cambios de pH se refiere. Debido a este comportamiento, en investigaciones previas se ha sugerido que un parámetro bioquímico como el pH no puede ser utilizado como indicador de calidad ya que no cambia significativamente con el tiempo de almacenamiento (Lamikanra y Richard 2002; Dea y col 2010).

7. Acidez Titulable (AT)

Los principales ácidos orgánicos en mango son cítrico, málico y tartárico. Es importante mencionar que a medida que un fruto madura, la acidez disminuye y el contenido de azúcar incrementa; por lo tanto, un contenido relativamente alto de azúcar y bajo en acidez indican que el fruto ha madurado de manera correcta (Jay 1996).

Los valores iniciales de AT oscilaron entre 0.45%-0.68% sin mostrar diferencias significativas. Se observó un comportamiento similar en todos los

tratamientos a partir del día 10 de almacenamiento a 5 °C (**Figura 18A**), con excepción del tratamiento Control en el día 30, el cual disminuyó hasta 0.4%, valor que resultó significativamente diferente de los demás tratamientos. Esto podría deberse a que el contenido de ácidos en los frutos frescos usualmente disminuye

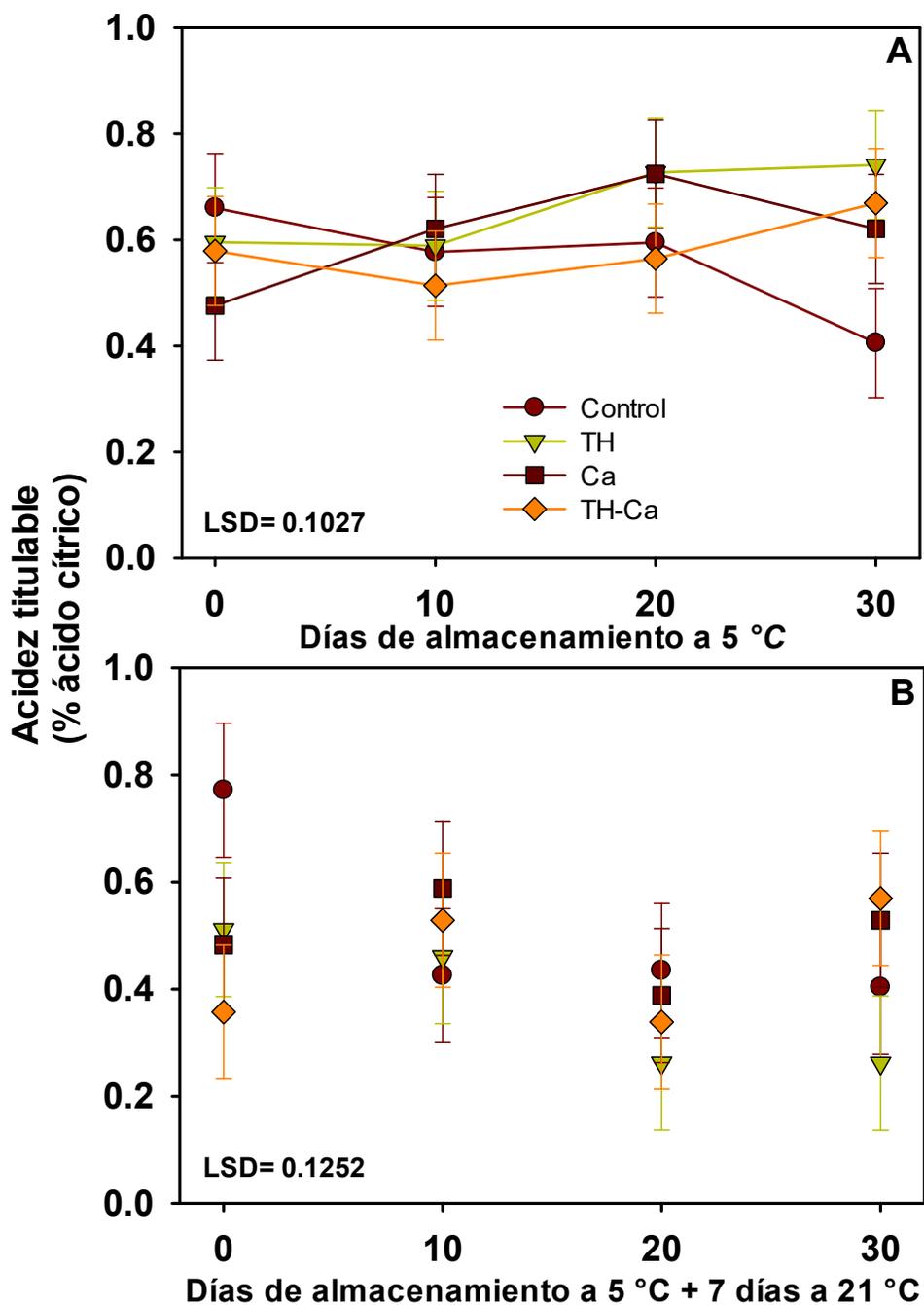


Figura 18. Cambios en el porcentaje de ácido cítrico durante el almacenamiento de mango cv. Keitt almacenado a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 9 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

debido a la utilización de ácidos orgánicos durante la respiración y al metabolismo del fruto (Martínez-Ferrer y col 2002). Durante la respiración los ácidos orgánicos son usados como sustratos para reacciones enzimáticas que resultan en la reducción de los mismos y de la acidez titulable (Martínez-Ferrer y col 2002; Yaman and Bayindirli 2002; Khaliq y col 2015). Por lo tanto los niveles más elevados de AT en los tratamientos TH, Ca y TH-Ca podrían deberse a un retraso en la maduración por parte de estos tratamientos. Así como una modificación en el metabolismo de los frutos control debido al daño por frío presentado.

Los resultados obtenidos en el tratamiento Control fueron también registrados por Dea y col (2010) en mango entero y mínimamente procesado, así como por Castellano y col (2004), Hernández-Muñoz y col (2008) y Pérez y col (1997), quienes observaron que la AT disminuyó a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento en guayaba, fresa y piña, respectivamente.

En la **Figura 18B** se presentan los resultados de la AT con respecto al periodo de maduración donde se observa que el tratamiento Control en el primer día de evaluación mostró una diferencia significativa, siendo mayor que el resto de los tratamientos. Los frutos sometidos a Ca y TH-Ca presentaron un comportamiento muy similar entre ellos aumentando el día 10+7 para disminuir el día 20+7 y

aumentar de nuevo el día 30+7; observándose que la combinación presentó un aumento de 0.21%. Por su parte, el TH fue el tratamiento que resultó con valores menores al final del almacenamiento (0.24%), presentando diferencias significativas con respecto a los tratamientos Ca y TH-Ca. El aumento observado en los tratamientos con calcio al final de la maduración podría deberse a una reducción del metabolismo primario, ya que no se llevó a cabo la degradación de ácidos orgánicos en grandes cantidades, manteniéndose los niveles de acidez titulable (Leyva-López y col 2011). Es importante mencionar que en este trabajo en el día 0+7 los frutos tratados y sometidos a temperaturas bajas más un periodo a temperatura ambiente presentaron los menores niveles de AT, este comportamiento podría ser atribuido a que se presentó una maduración regular en los frutos (Dea y col 2010).

Nuestros resultados al final del almacenamiento en el tratamiento hidrotérmico coinciden con lo reportado por Paull y Chen (2000) donde la AT fue reducida mediante la aplicación de un tratamiento con calor en nectarinas y fresas. Asimismo, Dea y col (2010) reportaron que el tratamiento hidrotérmico afectó significativamente la AT en mango. Así mismo, los resultados obtenidos en este trabajo con respecto a la sal de calcio discrepan de los presentados por Freire y Chitarra (1999), quienes señalan que la aplicación de calcio en frutos de mango cv. Tommy Atkins, no afectaron la AT durante el período de almacenamiento.

D. ANÁLISIS ENZIMÁTICO

La forma en que se modifican los diversos componentes de los hidratos de carbono de la pared celular sugiere que hay mecanismos sutiles de regulación a nivel de concentración enzimática, el tipo de isoformas enzimáticas presentes y el

momento de aparición de las diferentes isoformas puede ser importante en la orquestación del desmontaje de la pared y el ablandamiento de la fruta (Kitagawa y col 1995; Ali y col 1998; Smith y col 2000). Además de las enzimas que funcionan como catalizadores para las modificaciones de la pared celular, las diferencias en la arquitectura de las paredes primarias entre los frutos pueden contribuir a la variación presente en su tasa de ablandamiento (Cosgrove y col 2001).

1 Pectinmetilesterasa (PME)

En la **Figura 19A** se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) en frutos de mango cv. "Keitt" almacenados a temperatura de daño por frío (5 °C). En esta figura se observa una disminución constante en la actividad de esta enzima para todos los tratamientos durante el almacenamiento, siendo los frutos con tratamiento hidrotérmico (TH y TH-Ca) los que presentaron mayor actividad (3.5 y 3.1 respectivamente), mostrando ambos tratamientos diferencia estadística con respecto al control a partir del día 10 y hasta el final del almacenamiento (día 30) (TH, 2.5; Ca, 2; TH-Ca, 2.3). Contrario a estos resultados, el tratamiento Ca presentó la menor actividad de PME (1.95) y permaneció constante a lo largo del estudio. Una menor actividad de PME puede estar asociada al estrés por frío provocado en el fruto de mango por el almacenamiento, ya que las temperaturas bajas contribuyen a incrementar el contenido de pectinas solubles en ácido 1,2-ciclohexilendinitrilotetraacético (CDTA) (Ketsa y col 1999).

A pesar de que la enzima PME participa en el proceso de ablandamiento de los frutos mediante la hidrólisis de grupos metilester de la pectina de la pared celular,

este proceso no siempre es negativo ya que en la presencia de cationes como el Ca^{2+} , los grupos carboxilos libres producidos pueden formar puentes permitiendo la fortificación de la pared celular (Silveira y col 2011). Dicho proceso se incrementa

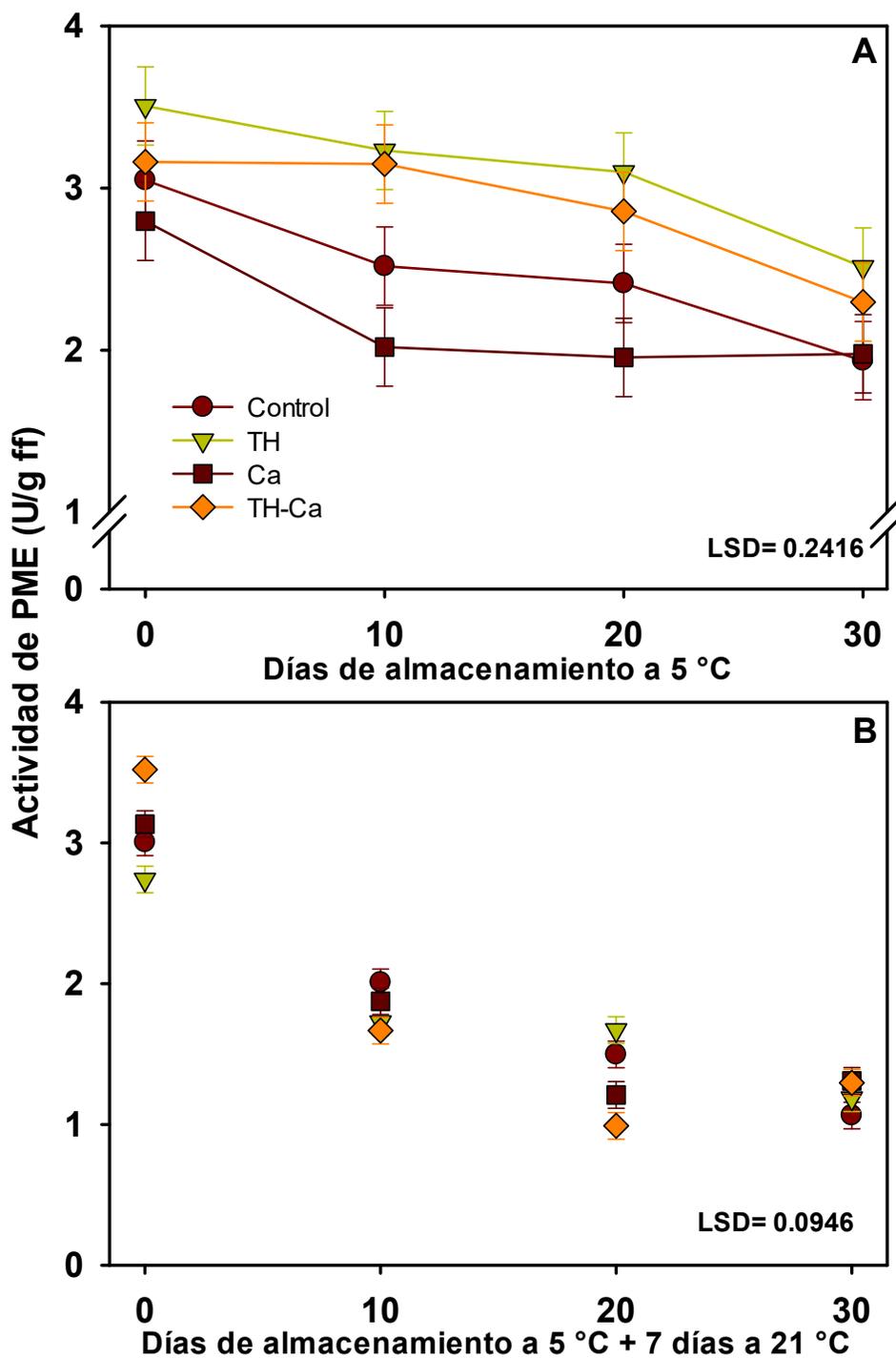


Figura 19. Actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

cuando los frutos son sometidos a temperaturas altas previas a la aplicación de sales de calcio, ya que se lleva a cabo la activación de esta enzima, generando así ácidos pécticos libres que contienen nuevos grupos carboxilos disponibles; de esta manera los iones tanto endógenos como exógenos de Ca^{2+} se unen a estos grupos dando como resultado una estabilización de la pared celular y el mantenimiento de la firmeza de la pulpa (Ni y col 2005). Por lo tanto, la combinación de estos tratamientos pudo haber retrasado la modificación de la pared celular retrasando la pérdida de firmeza, como se observó previamente en la **Figura 19**.

Beirão y col (2008) reportaron que la aplicación de calor y una solución de calcio en frutos de kiwi provocaron una mayor actividad de PME, lo que atribuyeron a que el calor permite la activación de la enzima, mientras que la sal de calcio regula su actividad. Asimismo, Ortiz y col (2011) observaron que el tratamiento con calcio aplicado en frutos de manzana no aumentaba la actividad de la enzima PME en comparación con el testigo, lo cual relacionaron con una menor producción de etileno y una mayor preservación de la lamina media, resultados que también coinciden con lo reportado por Chávez-Sánchez y col (2013) y con lo registrado en esta investigación.

Cuando los frutos fueron transferidos por 7 días a 21 °C (**Figura 19B**), de manera general todos los tratamientos presentaron una disminución en la actividad

de PME conforme transcurrieron los días de almacenamiento. Al día inicial (0+7) el tratamiento TH-Ca presentó la mayor actividad (3.5) mostrando diferencia significativa ($P < 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos. Al día 20+7, ambos tratamientos con calcio (Ca y TH-Ca) mostraron un comportamiento similar con diferencia estadística con respecto al Control. Al final del almacenamiento los tratamientos Control y TH continuaron reduciendo la actividad de PME mostrando el Control diferencia significativa con Ca y TH-Ca que incrementaron ligeramente.

Una mayor actividad de la enzima PME durante la maduración está relacionada con un incremento en la producción de etileno y senescencia del fruto ya que facilita la desmetilación y degradación de la pared celular y la lámina media (Brummell y col 2001; Owino y col 2005). Al igual que en el presente estudio, Zhang y col (2012) mencionaron que la actividad de PME fue ligeramente mayor cuando los frutos de mango fueron almacenados a temperatura de daño por frío, manteniendo valores constantes hasta el momento de ser expuestos a temperatura ambiente (20 °C), aunque este comportamiento dependía del cultivar. La mayor actividad de PME obtenida por TH-Ca al inicio del almacenamiento puede deberse a que la aplicación del TH provocó una mayor actividad de la enzima, y la desmetilación de residuos del ácido galacturónico pudo promover la formación de enlaces cruzados de pectina mediados por calcio, así como a un incremento en los sitios de unión para el calcio en la red de pectinas, debido a la adición de este tratamiento en combinación con el TH, lo que pudo contribuir a una mayor integridad de la pared celular y al incremento de la rigidez del tejido (MacDougall y col 1995; Guillemín y col 2008; Jarvis 2009).

La reducción en la actividad de PME durante la maduración en mangos “Keitt” observada en este estudio concuerda con los resultados reportados por Manganaris y col (2007), ya que la actividad disminuyó durante la maduración de durazno después de ser removido de las temperaturas bajas, presentando el valor más bajo después de 4 semanas a 5 °C más 5 días a 20 °C; de igual manera esta enzima presentó diferencias significativas entre los frutos tratados con calcio y los frutos control después de 4 semanas de almacenamiento. Zhang y col (2012) y Ali y col (2004) reportaron resultados similares en frutos de mango observando una menor actividad de PME para los tratamientos control y TH durante su exposición a temperatura ambiente.

2 Poligalacturonasa (PG)

La enzima poligalacturonasa presentó valores muy variados a lo largo del estudio en los frutos almacenados a 5 °C, como se puede apreciar en la **Figura 20A**. Al inicio del almacenamiento se obtuvieron actividades enzimáticas en un rango de 14 a 32 U de PG/g F.F., mostrando el Control y TH-Ca la mayor y menor actividad, respectivamente. Después de 10 días de almacenamiento, los frutos que recibieron tratamiento manifestaron menor actividad de PG con respecto al Control, manteniendo TH-Ca el valor más bajo (14 U de PG/g F.F.). Sin embargo, al transcurrir 20 días los frutos que se sometieron a un tratamiento hidrotérmico (TH y TH-Ca) presentaron un incremento significativo en la actividad de PG, manteniendo TH-Ca diferencias con el Control y con Ca. Al final del almacenamiento, el tratamiento Control presentó un incremento significativo, obteniendo la mayor actividad de PG (46 U de PG/g F.F.) mientras que Ca permaneció constante (30 U de

PG/g F.F.) y TH y TH-Ca disminuyeron (13 y 21 U de PG/g F.F. respectivamente), lo cual puede ser efecto del TH que inhibe la actividad de dicha enzima.

Al respecto, Lazan y col (1989) reportaron que la actividad de PG se vió suprimida con la aplicación del tratamiento hidrotérmico (48 °C por 20 min), siendo

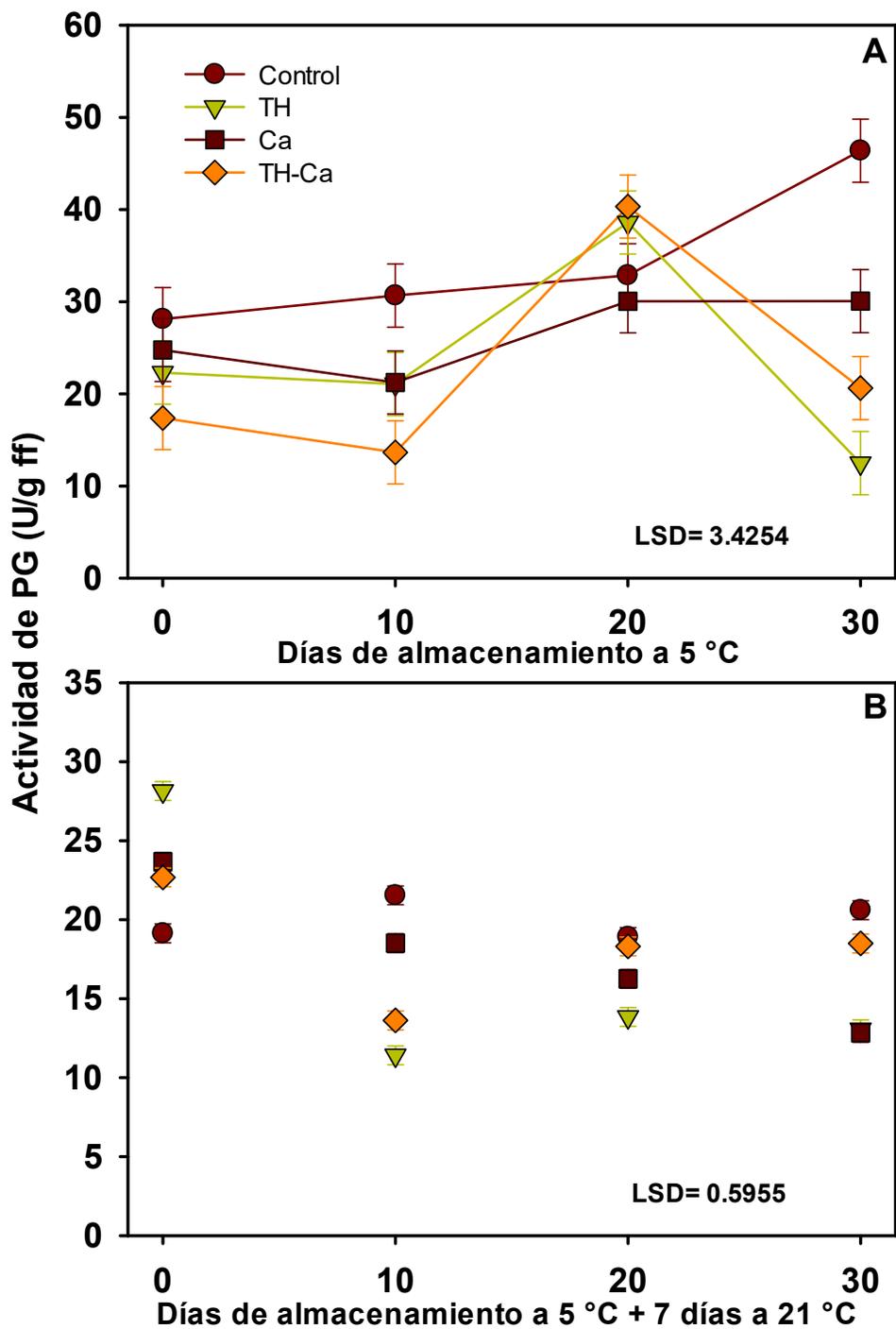


Figura 20. Actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5 °C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21 °C (B). Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

mayor este efecto conforme el tejido del mesocarpio se acercaba al centro del fruto. Una retención en la actividad de PG para los frutos de mango tratados con Ca podría estar indicando que la enzima redujo la degradación de la pared celular en un grado mayor, coincidiendo dicho comportamiento con los valores obtenidos previamente en el parámetro de firmeza, donde se puede observar que en general la aplicación de calcio presentó la mayor retención de la misma. Esto último podría deberse a que la adición de las soluciones de calcio provocan que los iones de Ca^{2+} se adhieran a los grupos carboxilos (COO^-) de las pectinas de los frutos con los cuales forman puentes con enlaces entrecruzados, lo cual favorece que la pared celular sea menos accesible para que las enzimas tengan un efecto ablandador sobre ella. Debido a que PG hidroliza regiones de homogalacturanos cuyos residuos de ácidos urónicos ya han sido previamente desmetilados por la enzima PME (de Assis y col 2001), las pectinas son sintetizadas y depositadas en la pared celular esterificada; las cargas negativas generadas por PME son necesarias para permitir la unión del calcio en la pared celular y así poder llevar a cabo un efecto mayor de firmeza en el fruto (Chuni y col 2010).

Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Chuni y col (2010), quienes encontraron un aumento gradual en la actividad de PG durante el almacenamiento de pitahaya a la cual se le aplicó previamente un tratamiento hidrotérmico. Estos autores observaron que al aumentar las concentraciones de calcio, la actividad de PG se disminuía. Por otra parte, nuestros resultados discrepan de los obtenidos por Chan y col (1981) y Chávez-Sánchez y col (2013), ya que ellos no observaron ninguna diferencia en la actividad de PG entre papaya tratada con TH y el control a lo

largo de su estudio, adjudicando este comportamiento al estado de madurez del fruto, ya que conforme avanzaba dicho estado era mayor la inhibición en la actividad de PG.

En la **Figura 20B** se muestran los resultados obtenidos para la actividad de PG en frutos de mango almacenados a temperatura de daño por frío (5 °C) y transferidos a temperatura ambiente (21 °C). Se puede observar como los frutos con TH presentaron la mayor actividad de PG (28 U de PG/g F.F.) durante el primer día (0+7) de maduración. El resto del tiempo este tratamiento presentó una reducción en la actividad manteniendo los valores más bajos durante todo el almacenamiento. De igual manera los frutos tratados con calcio tuvieron una disminución constante en la actividad de PG (desde 24 hasta 13 U de PG/g F.F.) a lo largo del estudio, presentando diferencia significativa ($P<0.05$) con respecto al resto de los tratamientos los días 10+7 y 20+7. Por su parte, TH-Ca presentó una disminución en la actividad en el día 10+7 (desde 23 hasta 14 U de PG/g F.F.), seguido por incrementos ligeros hacia el día 30+7 para cerrar en 19 U de PG/g F.F. El tratamiento Control mostró la mayor actividad de PG al día 10+7 (22 U de PG/g F.F.) obteniendo al final un valor por arriba de los frutos tratados pero por abajo del almacenamiento previo (5 °C), debido posiblemente al grado de deterioración del tejido como consecuencia de la senescencia del fruto y al daño causado debido al almacenamiento a temperaturas bajas.

Es importante mencionar que durante el almacenamiento a temperaturas de estrés por frío la actividad de esta enzima fue casi el doble con respecto al almacenamiento a 21 °C, lo cual coincide con los bajos niveles de firmeza y SST

obtenidos en este trabajo, lo cual podría deberse a la manifestación de los síntomas de daño por frío debido al periodo de maduración al cual fue expuesto el fruto posterior a ser almacenado a temperaturas bajas. Desde hace tiempo se ha mencionado la hipótesis de que la enzima PG podría no ser un factor determinante en la modificación de la pared celular y el ablandamiento de frutos. Esto se fundamenta en el sentido de que la pared celular es una estructura muy compleja por lo que sería muy complicado que una enzima por si sola sea capaz de modificar significativamente su estructura y causar ablandamiento en el fruto (Ali y col 2004).

El tratamiento Ca fue en este caso el que mantuvo los valores más constantes de PG, ya que mostró ligeros incrementos durante el almacenamiento a 5 °C. Esto sugiere que el calcio posee una gran influencia en la fisiología de la maduración en frutos frescos con un rol activo en las rutas metabólicas que regulan la aparición de los desórdenes fisiológicos después de periodos de almacenamiento en temperaturas bajas (Manganaris y col 2007).

Ketsa y col (1998) reportaron que algunos tratamientos térmicos aceleraron el ablandamiento pero inhibieron el aumento de la actividad de PG en mangos “Nam Dok Mai” durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Estos autores sugieren que el ablandamiento de los frutos de mango podría estar más relacionado con la actividad de otras enzimas pécticas que con la de PG en algunos cultivares.

3 β -Galactosidasa (β -Gal)

La enzima β -Gal presentó un incremento en la actividad conforme transcurrieron los días de almacenamiento a 5 °C especialmente para los frutos

Control y TH que resultaron con las mayores actividades (.9 y 1.5 U de β -Gal/g F.F. respectivamente) durante los primeros 10 días mostrando diferencia significativa con Ca y TH-Ca que obtuvieron menores actividades (.11 y .10 U de β -Gal/g F.F. respectivamente) (**Figura 21A**). El resto del almacenamiento el TH presentó un incremento significativo en la actividad de PG, obteniendo incluso valores por arriba del control y el resto de los frutos tratados que se mantuvieron con una mínima actividad al final del almacenamiento a 5 °C, y sin diferencia estadística entre los tratamientos Ca y TH-Ca.

El aumento en la actividad de β -Gal provocado por la aplicación de TH, podría deberse a que este tratamiento provocó un incremento en los transcritores de algunos genes de hidrolasas de la pared celular, incluyendo β -Gal durante el almacenamiento a temperatura de daño por frío (Yimyong y col 2011). El incremento de esta enzima está asociado con el ablandamiento en el tejido de varios cultivares de mango, como lo reportan Rahman y col (2011), quienes observaron este comportamiento en dos cultivares de mango (“Fazli” y “Khirshapat”) almacenados a temperaturas de -5, 4 y 25 ± 2 °C. Otros autores también reportan que la actividad de β -Gal fue predominante en mangos “Harumanis” y que dicha actividad incrementaba en paralelo con el ablandamiento del tejido de los frutos (Ali y col 1995). Es importante mencionar que se ha reportado que el almacenamiento a temperaturas bajas afecta la actividad de proteínas y enzimas de la pared celular, entre las cuales se encuentra β -Gal, provocando una menor actividad de estas enzimas, sin llegar a causar una inhibición total (Rugkong y col 2010).

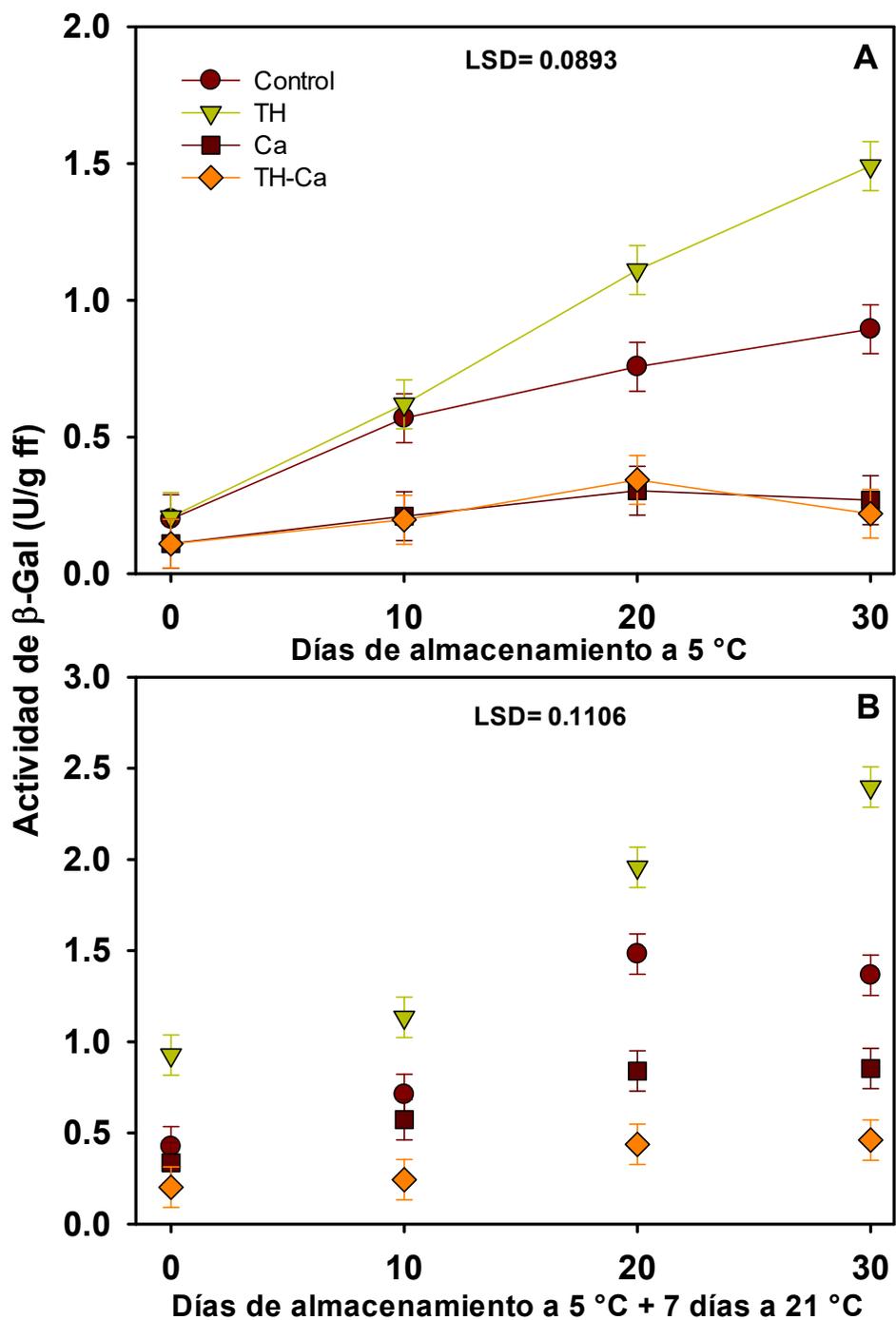


Figura 21. Actividad de la enzima β -galactosidasa (β -gal) en frutos de mango cv. Keitt almacenados a 5°C (A) más un periodo de maduración de 7 días a 21°C (B). Cada punto representa la media de 6 repeticiones. Las barras verticales indican LSD ($\alpha=0.05$).

En cuanto al comportamiento obtenido por los frutos a los cuales se les aplicó la sal de calcio, nuestros resultados coinciden con los obtenidos en el parámetro de firmeza anteriormente descrito (**Figura 21**), donde se pueden observar valores mayores de dicho parámetro para los frutos a los cuales se les aplicó calcio; de la misma manera, Ortiz y col (2011), reportan en su estudio que la aplicación de calcio redujo la actividad de β -Gal durante la primera semana de almacenamiento a temperaturas bajas, y este comportamiento se mantuvo durante toda su evaluación. Ellos mencionan que la inhibición parcial de la actividad de β -Gal en el fruto tratado con calcio podría haber retrasado la división de ramificaciones unidas al esqueleto de pectina y contribuido a la preservación de la fracción de pectina unida covalentemente.

Los resultados obtenidos en frutos con TH coinciden con los reportados por Yimyong y col (2011), quienes observaron este mismo comportamiento en mangos cv. Okrong. Asimismo, Ketsa y col (1999) reportaron un aumento en la actividad de esta enzima en mangos con daño por frío, aunque dicho aumento fue menor que en los frutos sin DF, lo cual podría deberse a que en los frutos que fueron sometidos a DF hubo una reducción en la despolimerización y solubilización de sustancias pécticas (Taylor y col 1994).

En la **Figura 21B** se muestra la actividad de β -Gal en frutos de mango almacenados a temperatura baja (5 °C) y posteriormente expuestos a temperatura de 21 °C. Se puede observar que todos los tratamientos tuvieron un incremento constante a lo largo del almacenamiento, siendo TH el que tuvo la mayor actividad desde el inicio (0.9 U de β -Gal/g F.F.) hasta el día 30+7 (2.4 U de β -Gal/g F.F.),

mientras que Ca y TH-Ca resultaron con las menores actividades (0.3 y 0.2 U de β -Gal/g F.F., respectivamente). Se observaron diferencias significativas entre TH y el resto de los tratamientos durante todo el almacenamiento, pero las mayores diferencias se observaron a partir del día 20+7 entre todos.

El aumento observado en la actividad de esta enzima durante la maduración concuerda con el comportamiento observado en la firmeza de los frutos expuestos a 21 °C, ya que presentaron niveles muy bajos de este parámetro. Con respecto a esto, se han reportado tres isoformas de β -Galactosidasa en algunos cultivares de mango, las cuales fueron capaces de degradar sustrato endógeno como arabinogalactano, lo cual sugiere un rol de estas enzimas en la disolución de la pectina celular (Prasanna y col 2005). Por ello, β -Gal podría ser una enzima clave en la modificación de la pared celular y el ablandamiento de los frutos de mango durante la maduración (Hossain y col 2014).

Hossain y col (2014) reportaron que a temperaturas de 4 °C la actividad de esta enzima presentó ligeros incrementos a partir del día 4 de almacenamiento. Por otro lado, una vez que los frutos fueron expuestos a temperaturas más altas (30 ± 1 °C), la actividad de β -Gal incrementó gradualmente llegando a ser hasta 4 veces mayor que en los frutos almacenados a temperaturas bajas. Este fenómeno pudo ser observado en el presente estudio, aunque la actividad de la enzima no alcanzó los niveles antes mencionados, lo cual podría deberse a que el almacenamiento posterior fue a temperatura ambiente (21 °C) y no temperaturas tan altas como las usadas por los autores. Resultados similares fueron reportados por Ali y col (2004) y Rahman y col (2011) en mango al observar un incremento constante de β -Gal

acompañado de un ablandamiento del fruto. Así mismo, estos cambios fueron paralelos en cuanto a la actividad de la enzima respecto a los cambios observados en la firmeza, lo cual fue reportado previamente por Roe y Bruemmer (1981) y Ali y col (1995).

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Zhang y col (2012), quienes observaron un mayor aumento en la actividad de β -Gal en los frutos a los cuales se les aplicó un TH y fueron almacenados a 20 °C, en comparación con el control. En contraste, lo obtenido en este estudio difiere con lo obtenido por Vicente y col (2005) en fresa a la cual se le aplicó un TH y se almacenó a 20 °C al observar que este tratamiento mostró la menor actividad enzimática en comparación con el control. Sozzi y col (1996) reportaron de igual manera que el estrés provocado por altas temperaturas reducía la actividad de β -Gal en tomate. Aunque la actividad de esta enzima así como de otras de la pared celular se ve modificada dependiendo del fruto e incluso del cultivar que se evalúe.

IX. CONCLUSIONES

La aplicación individual del tratamiento hidrotérmico cuarentenario o su combinación con lactato de calcio es efectiva para reducir la sensibilidad al DF en frutos de mango almacenados a 5 °C.

La combinación TH-Ca favoreció una menor lixiviación de electrolitos y peroxidación de lípidos en frutos de mango almacenados a 5 °C más un periodo de maduración a 21 °C.

El tratamiento combinación (TH-Ca) resultó ser el más efectivo para mantener los parámetros de calidad poscosecha (color, índice de oscurecimiento, firmeza, SST, pH y AT) durante la maduración de frutos de mango almacenados a 5 °C.

Los tratamientos TH y TH-Ca generaron los mejores resultados de las enzimas degradadoras de pared celular PME y PG, durante el almacenamiento de los frutos de mango a 5 °C más un periodo de maduración a 21 °C.

El tratamiento Ca y su combinación (TH-Ca) favorecieron una menor actividad de la enzima degradadora de pared celular β -Gal de frutos de mango almacenados a 5 °C más un periodo de maduración a 21 °C.

Los resultados indicaron que el tratamiento hidrotérmico cuarentenario en combinación con lactato de calcio (TH-Ca) fue más efectivo en reducir los síntomas de daño por frío en mango cv. Keitt, así como en mantener la calidad de los frutos durante el almacenamiento a 5 °C, disminuyendo la actividad de enzimas degradadoras de pared celular, lo que demuestra la utilidad de estos tratamientos para prolongar la vida de anaquel del fruto.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abd-Elhady M. 2014. Effect of citric acid, calcium lactate and low temperature prefreezing treatment on the quality of frozen strawberry. *Annals of Agricultural Science* 59(1): 69-75.
- Adelaide-Ciccarese A. M., Stellacci G. G. Rubino P. 2013. Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Biología y Tecnología de Postcosecha* 75: 135-141.
- Aghdam M. S., Asghari M., Khorsandi O., Mohayjei M. 2012. Alleviation of postharvest chilling injury of tomato fruit by salicylic acid treatment. *Journal of Food Science and Technology* 51(10): 2815-2820.
- Aghdam M. S., Bodbodak S. 2013. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. *Scientia Horticulturae* 156: 73-85.
- Aguayo E., Requejo-Jackman C., Stanley R., Woolf A. 2015. Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality. *Postharvest Biology and Technology* 110: 158-165.
- Akbudak B, Akbudak N, Sniz V, Eris A. 2007. Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes. *Journal of Food Quality* 30:869-910.

- Ali Z. M., Othman R., Goh L. Y., Lazan H. 1998. Isolation, characterization and significance of papaya β -galactanases to cell wall modification and fruit softening during ripening. *Physiologia Plantarum* 104: 105-115.
- Ali Z. M., Armugam S., Lazan H. 1995. Beta-Galactosidase and its significance in ripening mango fruit. *Phytochemistry* 38(5): 1109-1114.
- Ali Z. M., Chin L. H., Lazan H. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science* 167: 317-327.
- Ali A., Maqbool M., Ramachandran S., Alderson P. G. 2010. Gum Arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 58: 42-47.
- Al-Juhaimi F. Y. 2014. Physicochemical and sensory characteristics of Arabic gum coated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 38: 971-979.
- Allong R., Wickham L. D., Mohammed M. 2001. Effect of slicing in the rate of respiration, ethylene production and ripening of mango fruit. *Journal of Food Quality* 24: 405-419.
- Antunes M. D. C., Sfakiotakis E. M. 2008. Changes in fatty acid composition and electrolyte leakage of "Hayward" kiwifruit during storage at different temperatures. *Food Chemistry* 110: 891-896.

- AOAC. 2012. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. 16th ed. Washington DC, USA.
- Aspinall G. O. 1980. Chemistry of cell wall polysaccharides. In *The Biochemistry of Plants*. Preiss J. (ed) Academic Press: New York. 3: 473-500.
- Aular J., Ruggiero C., Durigan J. 2002. Relación entre el color de la cáscara y las características del fruto y jugo de la parchita maracuyá. *Bioagro* 14(1): 47-51.
- Ayón-Reyna L. E., Tamayo-Limón R., Cárdenas-Torres F., López-López M. E., López-Angulo G., López-Moreno H. S., López-Cervántes J., López-Valenzuela J. A., Vega-García M. 2015. Effectiveness of hydrothermal-calcium chloride treatment and chitosan on quality retention and microbial growth during storage of fresh-cut papaya. *Journal of Food Science* 80(3): 594-601.
- Báez R., Bringas G., González G., Mendoza T., Ojeda J., Mercado J. 2001. Comportamiento poscosecha del mango "Tommy Atkins" tratado con agua caliente y ceras. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 44: 39-43.
- Barbagallo R. N., Chisari M., Caputa G. 2012. Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed "Birgah" eggplants. *Postharvest Biology and Technology* 73: 107-114.
- Beirão S., Cardoso S., Martins L., Empis J., Moldão M. 2008. The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry* 108: 191-197.

- Berger S., Weichert H. A., Porzel C., Wasternack H. K., Feussner I. 2001. Enzymatic and non-enzymatic lipid peroxidation in leaf development. *Biochimica et Biophysica Acta* 1533: 266-276.
- Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K. V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany* 91: 179-194.
- Boeing H., Bechthold A., Bub A., Ellinger S., Haller D., Kroke A., Leschik-Bonnet E., Müller M. J., Oberritter H., Schulze M., Stehle P., Watzl B. 2012. Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition* 51: 637-663.
- Brummell D. A., Harpster M. H. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology* 47:311-340.
- Buera M. P., Lozano R. D., Petriella C. 1985. Definition of color in the non-enzymatic browning process. *Die Farbe* 32(33): 316-326.
- Burdon J., Lallus N., Barnett P. A. 2013. Soluble solids accumulation and postharvest performance of “Hayward” kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 80: 1-8.
- Cajuste J. F., Lafuente M. T. 2007. Ethylene-induced tolerance to non-chilling peel pitting as related to phenolic metabolism and lignin content in “Navelate” fruit. *Postharvest Biology and Technology* 45: 193-203.

- Cajuste J. F., García-Breijo F. J., Reig-Armiñana J., Lafuente M. T. 2011. Ultrastructural and histochemical analysis reveals ethylene-induced responses underlying reduced peel collapse in detached citrus fruit. *Microscopy Research and Technique* 74: 970-979.
- Cantwell M. 2015. U. C. Davis. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. Disponible en www.postharvest.ucdavis.edu Consultada en Marzo de 2016.
- Caparino O. A., Tang J., Nindo C.I., Sablani S.S., Powers J. R., Fellman J. K. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. *Journal of Food Engineering* 111: 135-148.
- Carrera A., Gil R., Mark D. 2009. Postharvest behavior of five cultivars of mango treated with CO₂ and stored under natural conditions, in the Experimental Station of INIA Caripe, Monagas state. *Revista UDO Agrícola* 9(1): 51-59.
- Carrillo-López A., Cruz-Hernández A., Cárabez-Trejo A., Guevara-Lara F., Paredes-López O. 2002. Hydrolytic activity and ultrastructural changes in fruit skins from two prickly pear (*Opuntia* sp.) varieties during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 1681-1685.
- Carvajal F., Palma F., Jamilena M., Garrido D. 2015. Cell Wall metabolism and chilling injury during postharvest cold storage in zucchini fruit. *Postharvest Biology and Technology* 108: 68-77.

- Castellano G., Quijada O., Ramírez R., Sayago E. 2004. Comportamiento poscosecha de frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.) tratados con cloruro de calcio y agua caliente a dos temperaturas de almacenamiento. Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha 6(2): 78-82.
- Chávez-Sánchez I., Carrillo-López A., Vega-García M., Yahia E. M. 2013. The effect of antifungal hot-water treatments on papaya postharvest quality and activity of pectinmethylesterase and polygalacturonase. Journal Food Science and Technology 50: 101-107.
- Chen J., He L., Jiang Y., Wang Y., Joyce D. C., Ji Z., Lu W. 2008. Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. Physiologia Plantarum 132: 318-328.
- Chidtragool S., Ketsa S., Bowen J., Ferguson I. B., van Doorn W. G. 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. G. 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.
- Chuni S. H., Awang Y., Mohamed M. T. M. 2010. Cell Wall enzymes activities and quality of calcium treated fresh-cut red flesh dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). International Journal of Agriculture and Biology 12: 713-718.

- Contreras-Angulo L. A., Heredia J. B., Sánchez-Álvarez C. E., Angulo-Escalante M. A., Villareal-Romero M. 2011. Efecto del genotipo y sales de calcio en la calidad de tomates frescos cortados. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 17(1): 39-45.
- Contreras-Martínez R., Báez-Sañudo M. A., Siller-Cepeda J. H. 2003. Respuesta del mango Tommy Atkins a diferentes concentraciones de 1-metilciclopropeno. En: *Resúmenes X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Horticultura Ornamental*. Estado de México, México. P. 324.
- Cosgrove D. J. 2001. Wall structure and wall loosening. A look backwards and forwards. *Plant Physiology* 125: 131-134.
- Correa M., Carlos A. 2012. Riqueza Química del Mango. *Revista Universidad EAFIT* 27(83): 77-82.
- De Assis S. A., Lima D. C., de Faria Oliveira O. M. M. 2001. Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. *Food Chemistry* 74: 133-137.
- De Souza B. S., O'Hare T. J., Durigan J. F., de Souza P. S. 2006. Impact of atmosphere, organic acids, and calcium on quality of fresh-cut 'Kensington' mango. *Postharvest Biology and Technology* 42: 161-167.
- Dea S., Brecht J. K., Nunes M. C. N., Baldwin E. A. 2010. Occurrence of chilling injury in fresh-cut 'Kent' mangoes. *Postharvest Biology and Technology* 57: 61-71.

- Ding Z., Tian S., Zheng X., Zhou Z., Xu Y. 2007. Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperatures stress. *Physiologia Plantarum* 130: 112-121.
- Djioua T., Charles F., Lopez-Lauri F., Filgueiras H., Coudret A., Freire M., Ducamp-Collind M. N., Sallanon H. 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology* 52: 221-226.
- Donadon J. R., Durigan J. F., Teixeira G. H. A., Lima M. A., Sarzi B. 2004. Production and preservation of fresh-cut "Tommy Atkins" mango chunks. *Acta Horticulturae* 645: 257-265.
- Dong H., Jiang Y., Wang Y., Liu R., Guan H. 2004. Effect of hot water immersion on storage quality of broccoli heads. *Food Technology and Biotechnology* 42: 135-139.
- Dorta E., González M., Gloria-Lobo M., Sánchez-Moreno C., Ancos B. 2014. Screening of phenolic compounds in by product extracts from mango (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI.QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient. *Food Research International* 57: 51-60.
- Fallik E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 125-134.

- FAO. 2017. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s06.htm>
Consultado en Noviembre de 2017.
- FAOSTAT. 2017. Food and Agriculture Data. Disponible en www.faostat3.fao.org
Consultado en Octubre de 2017.
- Freire M., Chitarra A. 1999. Efeito da aplicacao do cloreto de calcio nos frutos hidrotermicamente. Pesquisa Agropecuária Brasileira 34(5): 761-769.
- Fry S. C. 2017. Cell Walls. Encyclopedia of Applied Plant Science 2(1): 161-173.
- Fukuda S., Yasunaga E., Nagle M., Yuge K., Sardud V., Spreer W., Müller J. 2014. Modelling the relationship between peel color and the quality of fresh mango fruit using Random Forests. Journal of Food Engineering 131: 7-17.
- Galán-Saúco V. 2009. El cultivo del mango. Instituto canario de investigaciones agrarias. Ed. Mundi-Prensa Libros, Madrid, España P. 1-44.
- García-Martínez R., López-Jiménez A., Saucedo-Veloz C., Salazar-García S., Suárez-Espinosa J. 2015. Maduración y calidad de frutos de mango “Kent” con tres niveles de fertilización. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(4): 665-678.
- Ghasemnezhad M., Marshal K., Shilton R., 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.

- Gil M. I., Aguayo E., Kader A. A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 4284-4296.
- Giovannoni J. J., DellaPenna D., Bennett A. B., Fischer R. L. 1992. Polygalacturonase and tomato fruit ripening. *Horticultural Review* 13: 67-109
- Gómez P, Ferrer MA, Fernández-Trujillo JP, Calderón A, Artés F, Egea-Cortines M., 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.
- Gómez-Galindo F., Herppich W., Gekas V., Sjöholm I. 2004. Factors affecting quality and postharvest properties of vegetables: Integration of water relations and metabolism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 139-154.
- González-Aguilar G. A., Celis J., Sotelo-Mondo R. R., de la Rosa L. A, Rodrigo-García J., Alvarez-Parrilla E. 2007. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 91-101.
- González-Aguilar G. A., Gayosso L., Cruz R., Fortiz J., Báez R., Wang C. Y. 2000. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology* 18: 19-26.
- González-Aguilar G. A., Monroy-García I., Goycoolea-Valencia F., Díaz-Cinco M. E., Ayala-Zavala J. F. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca

cortada. Proyecto XI.22. Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados P 121-133.

Gorny J. R., Hess-Pierce B., Cifuentes R. A., Kader A. A. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology* 24: 271-278.

Guillén-Moreno L, Calderón AA, Ferrer MA. 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.

Guillemin A., Guillon F., Degraeve P., Rondeau C., Devaux M. F., Huber F. 2008. Firming of fruits tissues by vacuum-infusion of pectin methylesterase: Visualisation of enzyme action. *Food Chemistry* 109: 368-378.

Haard N. F. 1988. Characteristics of edible plant tissues *Food Chemistry*. 2: 857-911.

Hagerman A. E., Austin P. J. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34(3): 440-444.

Han J., Tian S. P., Meng X. H., Ding Z. S. 2006. Response of physiologic metabolism and cell structures in mango fruit to exogenous methyl salicylate under low-temperature stress. *Physiologia Plantarum* 128: 125-133.

Hasegawa P. M. 2006. Stress physiology. *Plant physiology*. 4th ed. Sunderland. Sinauer Associates pp 671-705.

- Henríquez, C., González, R., Krarup, C. 2005. Heat treatments and progression of chilling injury and pigmentation of tomatoes during postharvest. *Ciencia e Investigación Agraria* 32(2): 92-100.
- Hernández Y., Lobo M. G., González M. 2007. Optimización del tipo de troceado de papaya mínimamente procesada y su efecto en la translucidez. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones, Cartagena, España P 751-9.
- Hernández-Muñoz P., Almenar-Del Valle V., Velez D., Gavara R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*. 110: 428-435.
- Hewajulige I. G. N., Wilson-Wijeratnam R.S., Wijesundera R. L. C., Abeysekere M. 2003. Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. *Journal of the Science of Food Agriculture* 83; 1451-1454.
- Hirschi K. D. 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant Physiology* 136: 2438-2442.
- Hodges D. M., Lester G. E., Munro K. D., Toivonen P. M. A. 2004. Oxidative stress: importance for postharvest quality. *HortScience* 39: 924-929.
- Hossain A., Rana M., Kimura Y., Roslan H. A. 2014. Changes in biochemical characteristics and activities of ripening associated enzymes in mango fruit

during the storage at different temperatures. BioMed Research International. 11 pages.

Jarvis M. C. 2009. Plant cell walls: Supramolecular assemblies. Food Hydrocolloids 25: 257-262.

Jay J. M. 1996. Modern food microbiology. 5th edition. Chapman & Hall, p17-388.

INCOMPLETA

Jin P., Zheng Y., Tang S., Rui H., Wang C. Y. 2009 A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. Postharvest Biology and Technology 52: 24-29.

Ketsa S., Chidtragool S., Klein J. D., Lurie S. 1999. Ethylene synthesis in mango fruit following heat treatment. Postharvest Biology and Technology 15: 65-72.

Khaliq G., Mohamed M. T. M., Ali A., Ding P., Ghazali H. M. 2015. Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. Scientia Horticulturae 190: 187-194.

Khaliq G., Mohamed M. T. M., Ghazali H. M., 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.

Kirtil E., Oztop M. H., Sirijariyawat A., Nhamchuachit P., Barrett D. M., McCarthy M. J. 2014. Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl₂ infusion on the cell

integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study. *Food Research International* 66: 409-416.

Kitagawa Y., Kanayama Y., Yamaki S. 1995. Isolation of β -galactosidase fractions from Japanese pear: activity against native cell wall polysaccharides. *Physiologia Plantarum* 93: 545-550.

Krall S. M., McFeeters R. F. 1998. Pectin hydrolysis: effect of temperature, degree of methylation, pH and calcium on hydrolysis rates. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 46: 1311:1315.

Lamikanra O., Richard O. A. 2002. Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(14): 4043-4047.

Lamikanra O., Watson M. A. 2004. Effect of calcium treatment temperature on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Journal of Food Science*. 69: 472-486.

Lawless H. T., Rapacki F., Horne J., Hayes A. 2003. The taste of calcium and magnesium salts and anionic modifications. *Food Quality and Preference* 14: 319-325.

Lay-Yee M., Ball S., Forbes S. K., Woolf A. B. 1997. Hot-water treatment for insect disinfection and reduction of chilling injury of "Fuyu" persimmon. *Postharvest Biology and Technology* 10: 81-87.

Lazan H., Ali Z. M., Liang K. S., Yee K. L. 1989. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum* 1989: 93-98.

- Lazan H., Selamat M. K., Ali Z. M. 1995. B-Gactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 95: 106:112.
- Leon D. M., Pesis J. C., Garcia H. S. 2000. Physiology of Tommy Atkins mango slices stored in modified atmospheres. Institute of Food Technologists. Annual Meeting. Texas. Paper 65A-26.
- Leyva-López N., Basilio-Heredia J., Contreras L. A., Muy-Rangel M. D., Campos-Sauceda J. P., González-Lizárraga I. 2011. Sales de calcio mejoran la vida de anaquel y aceptabilidad general de la papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol) fresca cortada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2(1): 1-15.
- López-López M. E. 2017. Cambios en el sistema antioxidante enzimático y no enzimático asociado con la tolerancia inducida al daño por frío en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) [Tesis de Doctorado]. Culiacán, Sin: Universidad Autonoma de Sinaloa. 214 p.
- Luna-Guzmán I., Barrett D. M. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. *Postharvest Biology and Technology* 19: 61-72.
- Lurie S, Laamim M, Lapsker, Fallik E. 1997. Heat treatments to decrease chilling injury in tomato fruit. Effects on lipids, pericarp lesions and fungal growth. *Physiologia Plantarum* 100: 297-302.

- Lyons J. M., Breidenbach R. W. 1987. Chilling injury. *Postharvest Physiology of Vegetables*. In: J. Weichmann. Marcel Dekker, New York. p. 305-326.
- Ma Q., Sou J., Huber D. J., Dong X., Han Y., Zhang Z., Rao J. 2014. Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in “Hongyang” kiwifruit during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology* 97: 102-110.
- Ma X., Wu H., Liu L., Yao Q., Wang S., Zhan R., Xing S., Zhou Y. 2011. Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. *Scientia Horticulturae* 129: 102-197.
- MacDougall A. J., Parker R., Selvendran S. S. 1995. Non-aqueous fractionation to assess the ionic composition of the apoplast during fruit ripening. *Plant Physiology* 108: 1679-1689.
- Madrigal-Matute J., López-Franco O., Blanco-Colio L. M., Muñoz-García B., Ramos-Mozo P., Van Oostrom M., Meilhac O., Jean-Baptiste M., Egido J., Ventura J. L. M. 2009. Heat shock proteins as potential therapeutic targets in atherosclerosis. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis* 21(4): 163-172.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). 2015. Fichas de material vegetal del Observatorio de tecnologías probadas. Disponible en www.magrama.gob.es. Consultado en Marzo de 2016.
- Mahmud T. M. M., Al Eryani-Raqeeb A., Syed Omar S. R., Mohamed Zaki A. R., Al Eryani A. R. 2008. Effects of different concentrations and applications of

calcium on storage life and physicochemical characteristics of papaya (*Carica Papaya* L.) American Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(3): 526-533.

Makwana S.A., Polara N.D., Viradia R.R. 2014. Effect of pre-cooling on post harvest life of mango (*Mangifera Indica* L.) cv. Kesar. Food Science and Technology 2(1): 6-13.

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

Manganaris G. A., Vasilakakis M., Diamantidis G., Mignani I. 2007. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. Food Chemistry 100: 1385-1392.

Manganaris G. A., Vicente A. R., Crisosto C. H., Labavitch J. M. 2008. Cell wall modifications in chilling-injured plum fruit (*Prunus salicina*). Postharvest Biology and Technology 48: 77-83.

Marangoni A. G., Jackman R. L., Stanley D. W. 1995. Chilling-associated softening of tomato fruit is related to increased pectin methyl esterase activity. Journal of Food Science 60(6):1277-1281.

Marangoni A. G., Palma T., Stanley D. W. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. Postharvest Biology and Technology 7: 193-217.

- Martin-Diana A. B., Rico D., Barry-Ryan C., Frias J. M., Mulcahy J., Henehan G. T. M. 2005. Effect of calcium lactate concentration and temperature washing treatments on quality retention of salad-cut iceberg lettuce. *Food Research International* 38: 729-740.
- Martínez-Ferrer M., Harper C., Pérez-Muñoz F., Chaparro M. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Journal of Food Science* 67(9): 3365-3371.
- McCollum T. G., D'Aquino S., McDonald R. E. 1993. Heat treatment inhibits mango chilling injury. *HortScience* 28:197-198.
- McCollum T. G., Doostdar H., Mayer R. T., McDonald R. E. 1995. Immersion of cucumber fruit in heated water alters chilling-induced physiological changes. *Postharvest Biology and Technology* 6: 55-64.
- McLauchlan R. L., Underhill S. J., Dahler J. M., Giles J. E. 1997. Hot water dipping and loss temperature storage of "Eureja" lemons. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: 249-252.
- Mellado-Vázquez A., Salazar-García S., Treviño-de la Fuente C. A., González-Durán I. J. L., López-Jiménez A. 2012. Composición y remoción nutrimental de frutos de mango "Haden" y "Tommy Atkins" bajo producción forzada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(5): 925-941.
- Mercer M. D., Smittle D. A. 1992. Storage atmospheres influence chilling injury and chilling injury-induced changes in cell wall polysaccharides of cucumber. *Journal of the American Society Horticultural Science* 117: 930-933.

- Meza N., Manzano J. 1998. Almacenamiento de frutos de níspero cv “Victoria” a diferentes temperaturas. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticultura 42: 236-245.
- Mirdehghan S. H., Rahemi M., Martínez-Romero D., Guillén F., Valverde J. M., Zapata P. J., Serrano M., Valero D. 2007. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. Postharvest Biology and Technology 44: 19-25.
- Moll B. A. y Steinback K. E. 1986. Chilling sensitivity in *Oryza sativa*: the role of protein phosphorylation in protection against photoinhibition. Plant Physiology 80: 4-20.
- Muy-Rangel D., Espinoza-Valenzuela B., Siller-Cepeda J., Sañudo-Barajas A., Valdez-Torres B., Osuna-Enciso T. 2009. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad poscosecha del mango “Ataulfo”. Revista Fitotecnia Mexicana 32(1): 53-60.
- Ngamchuachit P., Sivertsen H. K., Mitcham E. J., Barrett D. M. 2014. Effectiveness of calcium chloride and calcium lactate on maintenance of textural and sensory qualities of fresh-cut mangos. Journal of Food Science 79(5): 786-794.
- Ni L., Lin D., Barret M. D. 2005. Pectin methylesterase catalyzed firming effects on low temperature blanched vegetables. Journal of Food Engineering 70: 546-556.

- Nyanjage M. O., Wainwright H., Bishop C. F.H. 1999. Effects of hot-water treatment and storage temperature on electrolyte leakage of mangoes (*Mangifera indica* Linn.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 566-572.
- Ortiz A., Graell J., Lara I. 2011. Cell wall-modifying enzymes and firmness loss in ripening "Golden Reinders" apples: A comparison between calcium dips and ULO storage. *Journal of Food Chemistry* 128(4): 1072-1079.
- Owino W. O., Ambuko J. L., Mathooko F. M. 2005. Molecular basis of cell wall degradation during fruit ripening and senescence. *Stewart Postharvest Review*. 3. 3.
- Paull R. E., Chen N. J. 1983. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Journal of Plant Physiology* 72: 382-385.
- Paull R. E. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. Chilling injury of Horticultural Crops. In: Wang C. Y. (Ed.). Boca Raton, Florida. p 17-36.
- Paull R. E., Chen N. J. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21-37.
- Pérez C. M., Laskowski L., Zambrano J., Piña H. 1997. Comportamiento poscosecha de frutos de piña (*Ananas comosus*) tratados con retardantes de la maduración almacenados a diferentes temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía* 14(4): 393-398.

- Pérez-Cabrera L., Chafer M., Chiralt A., González-Martínez C. 2011. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT. Food Science and Technology* 44: 2273-2280.
- Petit-Jiménez D., Bringas-Taddei E., Mercado-Ruiz J., García-Robles J., González-Aguilar G., Troncoso-Rojas R., Báez-Sañudo R. 2004. Efecto del calcio y cera comestible en la calidad de mangos "Kent" durante el almacenamiento. *Revista de la Facultad de Agronomía* 1:351-358.
- Petit-Jiménez D., Bringas-Taddei E., González-León A., García-Robles J. M., Báez-Sañudo R. 2009. Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la ultraestructura de la cutícula del fruto de mango. *Revista UDO. Agrícola* 9(1): 96-120.
- Phakawatmongkol W., Ketsa S., Doorn W. G. V. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 32: 115-118.
- Promyou S., Ketsa S., Doorn W. G. 2008. Hot water treatments delay cold-induced banana peel blackening. *Postharvest Biology and Technology* 48: 132-138.
- Promyou S., Ketsa S., Doorn W. G. 2012. Salicylic acid alleviates chilling injury in anthurium (*Anthurium andraeanum* L.) flowers. *Postharvest Biology and Technology* 64(1): 104-110.
- Purvis A. C. 1981. Free proline in peel of grapefruit and resistance to chilling injury during cold storage. *HortScience* 16: 160-161.
- Rahman M. M., Rahman M. M., Absar N., Ahsan M. A. 2011. Correlation of carbohydrate content with the changes in amylase, invertase and

galactosidase activity of ripe mango pulp during storage under different temperatures. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research 46(4): 443-446.

Raison J. K., Orr G. R. 1990. Proposals for a better understanding of the molecular basis of chilling injury. In: C. Y. Wang (ed), Chilling injury of horticultural crops. CRC Press, Boca Raton FL. p. 145-164.

Rathore H. A., Masud T., Sammi S., Soomro A. H. 2007. Effect of storage on physicochemical composition and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) variety Dosehari. Pakistan Journal of Nutrition 6(2): 143-148.

Rattanapanone N., Lee Y., Wu T., Watada A. E. 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. Hortscience 36: 1091-1095.

Redgwell R. J., MacRae E., Hallett I., Fischer M., Perry J., Harker R. 1997. In vivo and in vitro swelling of cell walls during fruit ripening. Planta 203: 162-173.

Rincón-Pérez A., Martínez-Quintero E. 2015. Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 24(34): 13-25.

Roe B., Bruemmer J. H. 1981. Changes in pectin substances and enzymes during ripening and storage of "Keitt" mangos. Journal of Food Science 46: 186-189.

- Romero-Gomezcaña N. R., Sánchez-García P., Rodríguez-Alcázar J., Saucedo-Veloz C. 2006. Aplicación foliar de calcio y su relación con la calidad en frutos de mango cv. Haden. *Agricultura Técnica en México* 32(1): 5-15.
- Rugkong A., Rose J. K. C., Lee S. J., Giovannoni J. J., O'Neill M. A., Watkins C. B. 2010. Cell wall metabolism in cold-stored tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 57: 106-113.
- Rui H., Cao S., Shang H., Jin P., Wang K., Zheng Y. 2010. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1557-1561.
- Ruiz M., Guadarrama A. 1992. Comportamiento poscosecha del mango (*Mangifera indica*) tipo bocado durante maduración controlada. *Revista de la Facultad de Agronomía* 18: 79-93.
- Ruiz-Cruz S. 2002. Uso de agentes antioxidantes y envasado en atmósferas modificadas para mantener la calidad de rodajas de piña fresca [Tesis de Maestría]. Hermosillo, Sonora; Centro de Investigación en Desarrollo, A.C. Disponible en: Biblioteca CIAD unidad Hermosillo Sonora. p 4-10.
- Safizadeh M. R., Rahemi M., Tafazoli E., Emam Y. 2007. Influence of postharvest vacuum infiltration with calcium on chilling injury, firmness and quality of Lisbon lemon fruit. *American Journal of Food Technology* 2: 388-396.
- Saftner R. A., Conway W. S., Sams C. E. 1998. Effects of postharvest calcium and fruit coating treatments on postharvest life, quality maintenance, and fruit-

surface injury in “Golden Delicious” apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123: 294-298.

SAGARPA. 2012. Plagas y enfermedades del mango. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx>. Consultado en Marzo de 2016.

SAGARPA. 2014. México, el mayor exportador de mango; en 2013 se incrementaron las ventas internacionales del fruto en 15 por ciento. Disponible en www.sagarpa.gob.mx. Consultado en Marzo de 2016.

Saltveit M. E. 2000. Discovery of chilling injury. En Kung SD y Yang SF eds. *Discoveries in plant biology*. Vol. III. Singapore. World Scientific Publishing Corporation pp 423-448.

Saltveit M. E. 2002. The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology* 26: 295-304.

Segarra-Carmona A. E., Franqui R. A., Ramirez-Ramos L. V., Santiago L. R., Torres-Rivera C. N. 1990. Hot water dip treatment to destroy *Anastrepha obliqua* larvae (Diptera: Tephritidae) in mangoes from Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 74: 441-447.

Seok-In H., Hee Lee H., 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(2): 271-279.

- Sevillano L., Sánchez-Ballesta M. T., Romojaro F., Flores F. B. 2009. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 555-573.
- Shadmani N., Ahmad S. H., Saari N., Ding P., Tajidin N. E. 2015. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Carica papaya* L. "Frangi" as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology* 99: 114-119.
- Sharma R. R., Singh R. 2009. The fruit pitting disorder - A physiological anomaly in mango (*Mangifera indica* L.) due to deficiency of calcium and boron. *Scientia Horticulturae* 119(4): 88-91.
- Sharples R. O., Jhonson D. S. 1997. The influence of calcium on senescence changes in apples. *Annals of Applied Biology* 85: 450-453.
- Shewfelt R. L. 1992. Response of plant membranes to chilling and freezing. The plant membrane: A biophysical approach. In: Leshem Y. Y. (Ed.). Kluwer Press, Amsterdam. P. 192-219.
- SIAP. SAGARPA. 2017. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en www.siap.gob.mx Consultado en Marzo de 2016.
- Silveira A. C., Aguayo E., Escalona V. H., Artés F. 2011. Hot water treatment and peracetic acid to maintain fresh-cut Galia melon quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 12: 569-576.

- Singh B. P., Tandon D. K., Kalra S. K. 1993. Changes in postharvest quality of mango affected by preharvest application of calcium salts. *Scientia Horticulturae* 54(3): 211-219.
- Slutzky B., Gonzalez-Abreu A., Berdam I. 1981. Chilling injury related to mineral composition of grapefruit and limes during cold storage. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 779-782.
- Smith D. L., Gross K. C. 2000. A family of at least seven β -galactosidase genes is expressed during tomato fruit development. *Plant Physiology* 123: 1173-1183.
- Sozzi G. O., Cascone O., Fraschina A. A. 1996. Effect of a high temperature stress on endo- β -mannanase and α - and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 9: 49- 63.
- Sun H., Li L., Wang X., Wu S., Wang X. 2011. Ascorbate-glutathione cycle of mitochondria in osmoprimed soybean cotyledons in response to imbibitional chilling injury. *Journal of Plant Physiology* 168(3): 226-232.
- Suntharalingam S. 1996. Postharvest treatment of mangoes with calcium. *Tropical Science* 36: 14-17.
- Tabacchi M.H., Hicks J. R., Ludford P. M., Robinson R. W. 1979. Chilling injury tolerance and fatty acid composition in tomatoes. *HortScience* 414-424.
- Taylor M. A., Rabe E., Dodd M. C., Jacobs G. 1994. Effect of storage regimes on pectolytic enzymes, pectic substances, internal conductivity and gel breakdown in cold stored "Songold" plums. *Journal of Horticultural Science* 69: 527-534.

- Thakur B. R., Singh R. K., Handa A. K. 1997. Chemistry and uses of pectin- a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37: 47-73.
- Tharanathan R. N., Yashoda H. M., Prabha T. N. 2006. Mango (*Mangifera indica* L.) "The King of Fruits"- An Overview. *Food Reviews International* 22(2): 95-123.
- The plant list. 2013. Version 1.1. Disponible en www.theplantlist.org. Consultada en Marzo de 2016.
- Toivonen P. M. A., Brummell D. A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48: 1-14.
- Trópicos. 2015. Missouri Botanical Garden, Saint Louis Missouri. Disponible en www.tropicos.org. Consultado en Marzo de 2016.
- Tsantili E., Konstantinidis K., Athanasopoulos P. E., Pontikis C. 2002. Effects of postharvest calcium treatments on respiration and quality attributes in lemon fruit during storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77: 479-484.
- U.S. Department of Agriculture (USDA-APHIS). 2014. Treatment schedules. 30 August 2016. https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/planthealth/import-information/sa_quarantine_treatments/ct_quarantine-treatment.
- Van Buren J. P. 1979. The chemistry of texture in fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies* 10: 1-23.

- Van Rensburg E., Engelbrecht P. 1986. Effect of calcium salts on susceptibility to browning of avocados fruit. *Journal of Food Science* 51(4): 1067-1068.
- Varella P., Salvador A., Fiszman S.M. 2007. The use of calcium chloride in minimally processed apples. *European Food Research and Technology* 224(4): 461-467.
- Vega-García MO, López-Espinoza G, Chávez-Ontiveros J, Caro-Corrales JJ, Delgado-Vargas F, 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.
- Venema JH, Linger P, van Heusden AW, Hasselt PR Brüggemann W. 2005. The inheritance of chilling tolerance in tomato (*Lycopersicon* spp.). *Plant Biology* 7: 118-130.
- Vicente A. R., Martínez G. A., Chaves A. R., Civello P. M. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology* 40: 116-122.
- Vicente A. R., Manganaris G. A., Minas I. S., Goulas V., Lafuente M. T. 2013. Cell wall modifications and ethylene-induced tolerance to non-chilling peel pitting in citrus fruit. *Plant Science* 210: 46-52.
- Voragen A. G. J., Coenen G. J., Verhoef R. P., Schols H. A. 2009. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry* 20: 263-275.

- Wang C. Y., Baker J. E. 1979. Effects of two free radical scavengers and intermittent warming on chilling injury and polar lipid composition of cucumber and sweet pepper fruits. *Plant Cell Physiology* 20: 243-251.
- Wang W. X., Vinocur B., Shoseyov O., Altman A. 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in Plant Science* 9: 244-252.
- Wang B., Wang J., Liang H., Yi J., Zhang J., Lin L., 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. 2010. Alleviation of chilling injury in tropical and subtropical fruits. *Acta Horticulturae* 864: 267-274.
- Wang H., Zhang Z., Xu L., Huang X., Pang X. 2012. The effect of delay between heat treatment and cold storage on alleviation of chilling injury in banana fruit. *Journal of the Science of Food Agriculture* 92: 2624-2629.
- Whitaker B. D., Klein J. D., Conway W. S., Sams C. E. 1997. Influence of prestorage heat and calcium treatments on lipid metabolism in "Golden Delicious" apples. *Phytochemistry* 45: 465-472.
- Yaman O., Bayoindirli L. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technology* 35: 146-150.

- Yang J., Fu M. R., Zhao Y. Y., Mao L. C. 2009. Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment. *Agricultural Science in China* 8(3): 304-310.
- Zambrano J., Materano W. 1999. Efecto del tratamiento de inmersión en agua caliente sobre el desarrollo de daños por el frío en frutos de mango (*Mangifera indica* L.). *Agronomía Tropical* 49(1): 81-92.
- Zamora-Cienfuegos E., García H. S., Mata-Montes de Oca M., Tovar-Gómez B. 2004. Aceleración de la maduración en mango "Kent" refrigerado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 359-366.
- Zhang J. H., Huang W. D., Pan Q. H., Liu Y. P. 2005. Improvement of chilling tolerance and accumulation of heat shock proteins in grape berries (*Vitis vinifera* cv. "Jingxiu") by heat pretreatment. *Postharvest Biology and Technology* 38: 80-90.
- Zhang Z., Gao Z., Li M., Hu M., Gao H., Yang D., Yang B. 2012. Hot water treatment maintains normal ripening and cell Wall metabolism in mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *HortScience* 47(10): 1466-1471.
- Zhang Y., Jin P., Huang Y., Shan T., Wang L., Li Y., Zheng Y. 2016. Effect of hot water combined with glycine betaine alleviates chilling injury in cold-stored loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology* 118: 141-147.

Zhang Z., Zhu Q., Hu M., Gao Z., An F., Li M., Jiang Y. 2017. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. *Food Chemistry* 219: 76-84.

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 Science of Food and Agriculture* 86: 2458-2462.

ABREVIATURAS

α	Alfa
β	Beta
D	Delta
ρ	Para
cv	Cultivar
°C	Grados Celsius
<i>g</i>	Fuerza G
g	Gramo
h	Hora
kcal	Kilocaloría
kg	Kilogramo
LSD	Least Significant Difference
mm	Micromol
meq	Miliequivalente
mL	Mililitro
Min	Minuto
M	Molaridad
nm	Nanómetro
nmol	Nanomol
N	Normalidad

Ppm	Partes por millón
pH	Potencial de Hidrógeno
p/v	Peso/volumen
ton/ha	Tonelada por hectárea
V	Volumen
μL	Microlitro