



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico y
cloruro de calcio sobre la calidad poscosecha, el
contenido de compuestos bioactivos, la actividad
enzimática y la capacidad antioxidante en frutos de
papaya cv. Maradol**

TESIS

Que presenta:

L.N. BLANCA ALICIA LÓPEZ ZAZUETA

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores de Tesis:

DR. MISAEL ODÍN VEGA GARCÍA

DRA. LIDIA ELENA AYÓN REYNA

La presente investigación, titulada “Efecto del tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio sobre la calidad poscosecha, compuestos bioactivos, actividad enzimática y capacidad antioxidante en frutos de papaya (*Carica papaya* L.)”, se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo la dirección del Dr. Misael Odín Vega García y la Dra. Lidia Elena Ayón Reyna, contó con la asesoría del Dr. Roberto Gutiérrez Dorado y la Dra. Martha Edith López López, con la ayuda económica brindada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán el día 02 de febrero del año 2018, el (la) que suscribe Blanca Alicia López Zazueta alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 10196692, 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 cede los derechos del trabajo titulado “Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio sobre la calidad poscosecha, el contenido de compuestos bioactivos, la actividad enzimática y la capacidad antioxidante en frutos de papaya cv. Maradol”, 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.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Blanca Alicia López Zazueta", with a large, stylized flourish at the end.

Blanca Alicia López Zazueta

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis *Dr. Misael Odín Vega García* agradezco infinitamente por haberme dado la posibilidad de integrar su grupo de investigación. Por brindarme su constante y paciente seguimiento durante el desarrollo del presente trabajo. Además de agradecerle por transmitirme todo su conocimiento en el tema y por su tiempo invertido en la corrección de este trabajo.

A mi segunda directora *Dra. Lidia Elena Ayón Reyna* le agradezco por ayudarme con los lineamientos para el desarrollo de la tesis, por brindarme su experiencia y conocimiento en el tema y por su esfuerzo y dedicación en la corrección de este trabajo. Gracias infinitas.

A mi asesor, *Dr. Roberto Gutiérrez Dorado* por todo el apoyo brindado durante la realización de este proyecto, porque sus asesorías me ayudaron bastante en la realización de los análisis y en la discusión de los resultados.

A mi asesora *Dra. Martha Edith López López* con especial cariño y respeto le agradezco su constante y paciente seguimiento durante el desarrollo del presente trabajo. Por guiarme en todas las técnicas, que sin su apoyo hubiese resultado dificultosa su implementación. Además de agradecerle por transmitirme todo su conocimiento y amor a este arte llamado investigación, así pues, por su tiempo invertido en este trabajo.

A mis compañeros de laboratorio *Denisse, Yesenia y Jordi* por su apoyo incondicional y toda la ayuda brindada durante la parte experimental, pero principalmente por todas las pláticas compartidas que hacían más amena la estancia.

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)* por la beca que me ayudó a realizar mis estudios y concluir con el trabajo de tesis.

A la *Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos* y la *Universidad Autónoma de Sinaloa* por darme la oportunidad de formar parte de su equipo.

A *mis compañeros de generación* porque el compartir las aulas con ustedes hizo más placentera mi estancia en este lugar. Pero sin duda alguna, gracias a mis amigas las cuales se convirtieron en una parte importante de vida *Fernanda, Melissa y Malenny* gracias por cada momento compartido, cada risa y cada llanto las quiero con todo mi corazón.

A *todos los profesores* de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, les agradezco por sus enseñanzas y consejos impartidos durante mi estancia en el programa.

A *mis padres, hermanas, sobrinos y mi segunda familia* porque fueron ellos quienes me impulsaron a continuar con mis estudios y es gracias a ellos que he podido salir adelante ya que sin su apoyo no hubiera podido llegar hasta aquí.

Y por último quiero brindar mi máximo agradecimiento a mi *esposo* pues sabes que sin ti nada de esto tuviera sentido, más allá de brindarme paciencia me brindaste amor y respeto los cuales fueron los motivos necesarios para seguir adelante, agradezco al cielo por estar unidos.

DEDICATORIA

“Me dolió mucho tu partida pero el Señor así lo quiso y nada se puede hacer. Ahora que tu alma descansa en paz quiero que sepas que siempre te recordaré con mucho cariño. Fuiste una gran persona para mí.”

-JALL.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
II. INTRODUCCIÓN.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
A. Papaya.....	7
1. Clasificación taxonómica	8
2. Origen y distribución	8
3. Composición química y nutrimental	10
4. Compuestos bioactivos de los frutos de papaya	11
a. Ácido ascórbico	13
b. Fenólicos totales.....	14
c. Carotenoides totales.....	15
5. Importancia económica.....	17
a. Producción mundial	17
b. Producción nacional.....	19
B. Maduración de los frutos de papaya.....	21
1. Cambios en la firmeza	22
2. Cambios en color	23
3. Cambios en la composición química	23
C. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN.....	24
D. TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO.....	29
E. CLORURO DE CALCIO.....	35
IV. JUSTIFICACIÓN.....	40
V. HIPÓTESIS.....	41
VI. OBJETIVOS.....	42
A. OBJETIVO GENERAL.....	42
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	42
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
A. MATERIALES	43
B. MÉTODOS.....	43

1. Aplicación de los tratamientos	43
2. Pérdida de peso	44
3. Color externo	44
4. Color interno	45
5. Firmeza.....	45
6. Sólidos solubles totales (SST).....	45
7. pH.....	45
8. Acidez titulable.....	45
9. Compuestos bioactivos	46
a. Ácido ascórbico	46
b. Fenólicos totales	47
c. Carotenoides totales	48
10. Actividad antioxidante	48
a. Método ABTS	48
b. Método DPPH.....	49
11. Análisis enzimático	49
a. Extracción de las enzimas peroxidasa y ascorbato peroxidasa.....	49
b. Evaluación de la actividad de peroxidasa (POD)	50
c. Evaluación de la actividad de ascorbato peroxidasa (APX).....	50
12. Análisis estadístico	51
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
A. Calidad poscosecha	52
1. Pérdida de peso.....	52
2. Color externo.....	55
a. Luminosidad (L*).....	56
b. Valor croma (C*)	59
c. Valor hue (H°)	61
3. Color interno	64
a. Luminosidad	64
b. Valor de croma (C*)	67
c. Valor hue (H°)	70
4. Firmeza.....	72
5. Sólidos solubles totales (SST)	76

6. pH.....	79
7. Acidez titulable.....	82
B. Compuestos bioactivos.....	85
1. Ácido ascórbico.....	85
2. Fenólicos totales.....	90
3. Carotenoides totales.....	93
C. Capacidad antioxidante.....	96
1. Método ABTS.....	97
2. Método DPPH.....	99
D. Actividad enzimática.....	102
1. Peroxidasa (POD).....	103
2. Ascorbato peroxidasa (APX).....	107
VIII. CONCLUSIONES.....	111
X. ABREVIATURAS.....	140
XI. ANEXOS.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Aplicación industrial del tratamiento hidrotérmico a frutos	23
2	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el porcentaje de pérdida de peso en frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	54
3	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de luminosidad (L*) en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	58
4	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de Cromo en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	60
5	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de ángulo Hue (H°) en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	63
6	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de luminosidad (L*) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	66
7	Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de Cromo (C*) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C.	69
8	Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el valor de Hue (H°) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20	71

	días	
9	Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la firmeza de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	74
10	Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	77
11	Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el parámetro de pH en los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	80
12	Efecto de los tratamientos TH, Ca y TH-Ca sobre el contenido de acidez titulable de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días	83
13	Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de ácido ascórbico de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	88
14	Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de fenólicos totales en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	91
15	Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de carotenoides totales en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 16 días.	94
16	Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la capacidad antioxidante obtenida por el método de ABTS en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	98

17	Efecto de los tratamientos hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la capacidad antioxidante obtenida por el método de DPPH en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	101
18	Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la actividad enzimática de peroxidasa (POD) en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	104
19	Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la actividad enzimática de ascorbato peroxidasa (APX) en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días.	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Clasificación taxonómica de <i>Carica papaya</i> L.	9
2	Contenido de nutrimentos en 100 g de pulpa fresca de papaya	12
3	Producción nacional de frutos de papaya	18
4	Producción estatal de frutos de papaya	20

I. RESUMEN

La papaya es uno de los cultivos frutales de mayor producción y comercialización en el mundo. Su gran demanda se debe a su alto contenido de nutrimentos y a su capacidad para prevenir enfermedades, por lo que se le clasifica como un alimento nutracéutico. Sin embargo, los frutos de papaya son altamente perecederos debido a sus características fisiológicas, haciéndolos susceptibles a daños mecánicos, fisiológicos y microbiológicos, lo que se traduce en una corta vida de anaquel. El principal factor de calidad que limita su vida de anaquel y su comercialización es el ablandamiento, el cual es un proceso difícil de controlar por lo que es necesaria la aplicación de tecnologías que lo reduzcan y que además ayuden a mantener la calidad nutrimental y nutracéutica de los frutos. Se ha señalado que la aplicación individual de tratamientos hidrotérmicos y sales calcio puede ayudar a prolongar la vida de anaquel del fruto de papaya. Existen reportes que indican que el tratamiento hidrotérmico, que originalmente se aplicaba para problemas fitopatológicos, favorece la conservación de nutrimentos y compuestos bioactivos tales como ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, los cuales son considerados clave en la capacidad antioxidante del fruto de papaya. Por otro lado, el cloruro de calcio se aplica para mantener la calidad poscosecha de la papaya ayudando a retardar el proceso de ablandamiento. Debido a que existen pocos reportes en la literatura sobre la aplicación combinada de estos tratamientos en papaya y considerando que un estrés moderado podría inducir una mayor capacidad antioxidante en los frutos; el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de un tratamiento hidrotérmico (TH) (48°C, 20 min) con cloruro

de calcio (Ca) (1%, p/v) sobre la calidad poscosecha, la presencia de compuestos bioactivos, la capacidad antioxidante y la actividad de enzimas del sistema antioxidante en frutos de papaya durante su almacenamiento comercial (12 °C).

Los frutos fueron divididos en cuatro lotes, el primer lote se sumergió en agua y fue utilizado como tratamiento control, el segundo lote fue sumergido en una solución de cloruro de calcio (Ca), al tercer lote se le aplicó un tratamiento hidrotérmico (TH), y al cuarto lote se le aplicó un tratamiento hidrotérmico conteniendo cloruro de calcio (TH-Ca). Los frutos se almacenaron a 12°C por 20 días evaluando cada 4 días la pérdida de peso, color en cáscara y pulpa, firmeza, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, contenido de compuestos bioactivos (vitamina C, fenólicos totales, carotenoides totales), actividad antioxidante (ABTS, DPPH) y actividad enzimática (peroxidasa y ascorbato peroxidasa).

Los frutos tratados con TH-Ca mostraron una mayor retención de peso, color y firmeza que el resto de los tratamientos. Los parámetros pH, acidez titulable y sólidos solubles totales no se vieron afectados por la aplicación de los tratamientos ni por el tiempo de almacenamiento. Los frutos de papaya tratados con TH-Ca presentaron el mayor contenido de compuestos bioactivos y la mayor capacidad antioxidante durante el almacenamiento. El tratamiento hidrotérmico en combinación con calcio tuvo un efecto positivo sobre el aumento de la actividad enzimática de peroxidasa y ascorbato peroxidasa.

En general, el tratamiento TH-Ca mantuvo la calidad, los compuestos bioactivos y favoreció una mayor actividad antioxidante y enzimática de frutos de papaya almacenados a 12 ° C por 20 días.

ABSTRACT

Papaya is one of the most productive and commercial fruit crops in the world. Its great demand is due to its high content of nutrients and its ability to prevent diseases, which is why it is classified as a nutrimental food. However, papaya fruits are highly perishable due to their physiological characteristics, making them susceptible to mechanical, physiological and microbiological damages, which translate into a short shelf life. The main quality factor that limits shelf life and its commercialization is softening, which is difficult to control so it is necessary to apply technologies that reduce post-harvest losses while maintaining the nutritional and nutraceutical quality of the fruits. It has been pointed out that the application of hydrothermal treatments and calcium salts can help to prolong the shelf life of the papaya fruit. There are reports that the hydrothermal treatment, originally applied to phytopathological problems, helps in the conservation of nutrients and bioactive compounds such as ascorbic acid, carotenoids, and phenolic compounds, which are key in the antioxidant capacity of the papaya fruit. On the other hand, calcium chloride is applied to maintain the post-harvest quality of papaya, helping to slow down the softening process. For all this, the objective of this work was to evaluate the effect of the application of hydrothermal treatment (HT) (48 ° C, 20 min) combined with calcium chloride (Ca) (1%, w / v) on post-harvest quality , bioactive compounds, antioxidant capacity, and enzyme activity of the antioxidant system in papaya fruits stored at 12 ° C.

Fruits were divided into four lots, the first lot was immersed in purified water and was used as a control treatment, the second lot was immersed in a calcium chloride solution, the third lot was hydrothermal treated, and the fourth one was hydrothermally treated containing calcium chloride which was stored at 12 ° C for 20 days. Every 4 days weight loss, skin color and pulp, firmness, pH, titratable acidity, nutritional content (vitamin C, total phenolics, total carotenoids), antioxidant activity (ABTS, DPPD) and enzymatic activity (peroxidase and ascorbate peroxidase) were evaluated.

The fruits treated with HT-Ca showed better retention of weight, color and firmness than the rest of the treatments. On the other hand, the levels of pH, AT and SST were not affected by the application of the treatments or by the storage time. The papaya fruits treated with HT-Ca presented the highest content of bioactive compounds and antioxidant capacity during storage. The hydrothermal treatment in combination with calcium had a positive effect on the increase in enzymatic activity (peroxidase and ascorbate peroxidase).

In general, the HT-Ca treatment maintained the quality, the bioactive compounds and favored a greater antioxidant and enzymatic activity of papaya fruits stored at 12 ° C for 20 days.

II. INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es nativa de América Central y se considera la especie de mayor importancia económica de la familia *Caricaceae* en nuestro país. El fruto de papaya es uno de los principales productos agrícolas de exportación debido a sus características organolépticas, contenido nutrimental y capacidad antioxidante, la cual está mediada por el contenido de ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, que a su vez actúan como modificadores de las moléculas reactivas de oxígeno, evitando el daño oxidativo y reduciendo el riesgo de cáncer y enfermedades degenerativas (Khairule y col 2015; Gayosso-García y col 2011). En México se produce el 5.9% de la producción mundial de papaya, lo cual indica su importancia económica en los mercados nacionales y mundiales (FAOSTAT 2018). A pesar de las excelentes características organolépticas, la papaya es un fruto muy perecedero y de limitada vida de anaquel debido a los daños que se producen durante la cosecha y transporte, por el uso de temperaturas inadecuadas y empaques inapropiados (Lurie y Mitcham 2007). Es por ello que se han implementado métodos de conservación, tales como el tratamiento hidrotérmico, el cual fue originalmente implementado con el fin de combatir la presencia de insectos y para el control de enfermedades (Spadoni y col 2014). Sin embargo, desde hace años se ha observado que además de otorgar beneficios fitosanitarios a las frutas, tiene efectos en otros parámetros fisicoquímicos que ayudan al fruto a mantener su calidad poscosecha y nutrimental (Báez y col 2002). La aplicación de un tratamiento hidrotérmico genera un estrés moderado al fruto por la exposición al calor, y como resultado de este tratamiento, el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y la capacidad

antioxidante aumentan (Bautista y col 2004; Fallik 2004), además de mantener su calidad poscosecha (Tang y col 2007). Otra de las técnicas utilizadas para prolongar el tiempo de vida útil de la papaya es la aplicación de cloruro de calcio debido a que favorece la estabilidad de la pared celular, ayudando a dar una respuesta de señalización celular y manteniendo la integridad celular (Hepler 2005; Núñez 2012). Debido a los efectos favorables que aporta la aplicación individual de las técnicas antes descritas y atendiendo a que existen pocos reportes de la aplicación combinada de ambas en papaya; surge el interés de evaluar el efecto del uso combinado del tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio sobre las características de calidad, la presencia de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante, así como la actividad de enzimas que degradan los compuestos bioactivos durante el almacenamiento comercial de frutos de papaya.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. Papaya

La papaya es un fruto tropical que se cultiva y se consume ampliamente, tanto por su agradable sabor, como por sus numerosas propiedades nutrimentales (Gonçalves de Oliveira 2011). Es una especie originaria de América Central (México y Centroamérica) aunque actualmente se encuentra distribuida en los trópicos y subtrópicos del mundo. Pertenece a las Caricáceas y su nombre científico es *Carica Papaya* Linn (Storey 1976).

El fruto es una baya de tamaño, peso y forma variable, dependiendo de la variedad, está compuesta normalmente de cinco carpelos unidos para formar una cavidad central, que contiene semillas. La cavidad en donde se encuentran las semillas puede ser en forma de estrella o redonda. Mide de 10 a 60 cm de largo y llega a pesar desde 800 hasta 2000 g (Paull y col 1997). El color de la pulpa también depende de la variedad, normalmente amarilla o rojo-anaranjada, de textura suave y de espesor de 3 a 5 cm. La superficie del fruto suele tener 5 surcos poco profundos. La cáscara se torna de verde oscuro a verde claro y luego amarillo-dorado. Las semillas están en la cavidad interna del fruto. Por planta se pueden producir unos 100 frutos por año. Las semillas son esféricas, pequeñas y negras. Están envueltas en una capa mucilaginosa llamada sarcotesta o cubierta. Un fruto bien polinizado llega a tener de 300 a 700 semillas (Huerta-Ocampo y col 2012).

1. Clasificación taxonómica

La familia *Caricaceae* comprende cuatro géneros: *Carica*, *Jacarilla*, *Cylicomorpha* y *Jacaratia* y 71 especies siendo el género *Carica* el de mayor número con 57 especies. *Carica papaya* pertenece a la división *Magnoliophyta* de la clase de *Magnoliatae* (Torres 1985). En el cuadro 1, se detalla la clasificación taxonómica de la papaya.

2. Origen y Distribución

La historia de la papaya fue descrita por primera vez por el historiador Fernández de Oviedo, el dueño de Minas en España (Antillas) de 1513 a 1525, donde describe que Alfonso de Valverde fue quien llevó semillas de papaya de las costas de Panamá a Darién y luego a Santo Domingo y otras islas de India Occidental. Los colonizadores españoles le dieron el nombre de “papaya” y llevaron la planta a Filipinas, desde donde se expandió a Malasia y finalmente a la India en 1598. Para el tiempo en que los árboles de papayo se establecieron en Uganda (1874), su distribución ya se había extendido a la mayoría de los países tropicales y subtropicales (Gayosso-García 2011). Se considera originario de la región que comprende desde el sur de México hasta Nicaragua (Núñez 2012).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Carica papaya* L.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophytina
Clase	Magnoliatae
Subclase	Dileniidae
Orden	Violales
Suborden	Carinicineae
Familia	<i>Caricaceae</i>
Género	<i>Carica</i>
Especie	<i>Carica papaya</i> Linn

Torres 1985.

3. Composición química y nutrimental

La composición química y nutrimental y las características organolépticas de la papaya pueden verse comprometidas por la variedad, lugar de origen, las prácticas de cultivo y las condiciones y procedimientos adoptados durante la comercialización (Núñez y col 2012).

Dentro de su composición química se destaca su riqueza en vitamina C y provitamina A (carotenoides) dentro de las cuales se encuentran principalmente: β -carotenos, γ -carotenos, ε -carotenos y criptoxantina. Los carotenoides son compuestos que además de transformarse en vitamina A en nuestro organismo, presentan propiedad antioxidante, atribuyéndosele acción preventiva frente al cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Gayosso-García y col 2011). En papayas de pulpa roja, el pigmento o colorante natural más importante es el licopeno, mientras que en papayas de pulpa más amarillenta, los pigmentos más abundantes son el grupo de las criptoxantinas. La intensidad del color depende de la concentración del pigmento, la cual varía de una localidad a otra. En pulpas rojizas, los carotenos constituyen un 10% de los pigmentos, mientras que en pulpas anaranjadas alcanzan un 30% (Hewajulige 2016).

En el fruto de papaya se puede destacar la presencia de vitaminas del grupo B como las vitaminas B1, B2 y B5. En cuanto a los minerales, la papaya es rica en potasio y contiene cantidades apreciables de calcio, magnesio, fosforo y hierro (USDA 2014).

También es una buena fuente de fibra (0.6-1.3 g/100g) principalmente insoluble dependiendo del estado de madurez del fruto, mostrando efectos benéficos en el tránsito intestinal, evitando el estreñimiento y protegiendo contra el cáncer de colon, así como en enfermedades cardiovasculares. La papaya contiene una alta proporción de agua, siendo por el contrario, su contenido en nutrientes energéticos muy bajo (hidratos de carbono, proteínas y grasas) (USDA 2014).

La pulpa contiene muy pocos ácidos orgánicos (0.099%) y son una mezcla de 50% de ácido cítrico y 50% de ácido málico (Arana 2012). En el cuadro 2 se presenta el contenido de nutrientes de la papaya.

4. Compuestos bioactivos de los frutos de papaya

Los compuestos volátiles más importantes de la pulpa de papaya son linool, bencil isotiocianato y ácido butanóico (Arana 2012). Junto a los compuestos volátiles, los compuestos fenólicos y carotenoides le otorgan características benéficas a los frutos de papaya contribuyendo como moléculas capaces de generar el color y el sabor. Además, estos compuestos exhiben diversas actividades biológicas como la eliminación de los radicales libres, la inhibición de la oxidación y el crecimiento microbiano. Interesantemente, estas propiedades han aumentado la demanda de los frutos de papaya debido a su contenido nutrimental, ya que mejora la salud y otorga una alta capacidad antioxidante (Corrales y Umaña 2015).

Cuadro 2: Contenido de nutrientes en 100 g de pulpa fresca de papaya.

Componente	Inmadura	Madura
Calorías		
Valor energético, cal	28.0	32.0
Macronutrientes		
Humedad, %	91.6	90.7
Proteína, g	0.8	0.5
Grasa, g	1.0	0.1
Carbohidratos totales, g	6.9	8.3
Fibra, g	0.8	0.6
Micronutrientes minerales		
Calcio, mg		
Fosforo, mg	41.0	20.0
Hierro,mg	22.0	13.0
	0.3	0.4
Vitaminas		
Carotenoides (A), mg		
Tiamina (B1), mg	Trazas	110.0
Riboflivina (B2), mg	0.04	0.03
Ácido ascórbico (C), mg	0.04	0.04
Niacina (B5), mg	36.0	46.0
	0.2	0.3
Compuestos bioactivos		
Fenólicos, $\mu\text{mol AG/g}$	576	596
Actividad antioxidante		
ORAC, $\mu\text{mol ET/g}$	2.6	29.7
DPPH, $\mu\text{mol ET/g}$	5.3	65.1

Mahattanatawee y col 2006; USDA 2014.

La capacidad antioxidante de los frutos de papaya está mediada en gran parte por el ácido ascórbico que es uno de los antioxidantes hidrosolubles que se encuentra en mayor concentración en el plasma de la sangre humana y actúa modificando las moléculas de superóxido y de otras formas reactivas de oxígeno, a las cuales cede un electrón para estabilizarlos, protegiendo de esta manera a los lípidos del daño oxidativo (Udomkun y col 2015). Así mismo, los carotenoides y los compuestos fenólicos, cumplen esta misma acción gracias a su propiedad quelante de metales de transición y su acción atrapadora de radicales libre (González-Anzar 2015).

a. Ácido ascórbico

Uno de los compuestos bioactivos presente en los frutos de papaya es el ácido ascórbico o vitamina C es un agente antioxidante necesario para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular; puede reducir la acción perjudicial de los radicales libres y coadyuvar al mejoramiento de la absorción del hierro no hemínico (Bastías y Cerepo 2016). Es una vitamina hidrosoluble y esencial, sintetizada químicamente a partir de glucosa, posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras, tales propiedades se deben a su estructura enediol y a la posibilidad de ionizar el hidroxilo (Jesse 2007; Blanco 2006). El ácido ascórbico es esencial en la síntesis del colágeno así mismo, interviene en la síntesis de lípidos, proteínas, norepinefrina, serotonina, L-carnitina, además de cumplir una función vital en el metabolismo de tirosina, histamina y fenilalanina (Basabe 2000; Mahmoodian y Peterkofsky 1999). Así mismo, el ácido ascórbico es un gran agente reductor hidrosoluble debido a sus dos hidroxilos (OH-) ionizables capaces de eliminar a las

especies reactivas del oxígeno responsables del estrés oxidativo (Torres 2002; Basabe 2000). Junto con los fenólicos y carotenoides totales el ácido ascórbico, posee la capacidad de regenerar vitamina E, y de esta manera la mantiene en un estado activo contribuyendo a la acción antioxidante. Además, la vitamina C protege de la oxidación a las lipoproteínas de baja densidad (LDL), conjugándose con compuestos hidrofóbicos e incorporándose a las LDL para cumplir su rol antioxidante (Serra y Cafaro 2007).

b. Fenólicos totales

Otro de los compuestos encargados de proteger a los frutos de papaya son los compuestos fenólicos los cuales son metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de los frutos de papaya y actúan como agentes protectores frente a patógenos, siendo secretados como mecanismo de defensa a condiciones de estrés, tales como infecciones, radiaciones UV, calor, daño por frío, entre otros. Esta síntesis se da a partir de fenilalanina por la vía del shikimato. Juegan un rol vital en las plantas y regulan el metabolismo y síntesis de la lignina (Dixon y Paiva 1995), por lo que los frutos presentan un gran número de componentes fenólicos (flavanoles, flavonoles, chalconas, flavonas, flavanonas, isoflavonas, taninos, estilbenos, curcuminoides, ácidos fenólicos, coumarinas, lignanos, etc) (Cai y col 2006). Los compuestos fenólicos son un gran grupo de antioxidantes naturales; consumo de fuentes importantes, particularmente de frutos de papaya presentan efectos benéficos (Naczki y Shahidi 2006). La asociación entre una dieta rica en frutos de papaya está relacionada a una disminución de riesgo de enfermedades cardiovasculares, y ciertas formas de cáncer, según evidencias epidemiológicas (Arts

y Hollman 2005; García-Alonso y col 2004). Estos fitoquímicos constituyen un grupo heterogéneo de sustancias que evidencian su rol protector sobre la salud humana (Carratú y Sanzini 2005). Diferentes estudios han mostrado que los radicales libres presentes en el organismo humano causan daño oxidativo a diferentes moléculas, tales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos y tiene que ver en la iniciación en algunas enfermedades degenerativas (García-Alonso y col 2004). Estos componentes antioxidantes son capaces de neutralizar radicales libres, y pueden jugar un rol importante en la modulación de detoxificación enzimática, estimulación del sistema inmune, disminución de la agregación plaquetaria y modulación del metabolismo hormonal (Carratú y Sanzini 2005).

c. Carotenoides totales

Así mismo, los carotenoides son pigmentos que se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza y están conformados por moléculas orgánicas (Ötles y Çagind 2007). Generalmente los carotenoides correspondientes en los frutos de papaya son los C₄₀ terpenoides con 8 unidades de isopreno, con uniones de cola y cabeza en la parte exterior y cola-cola en la parte interna. En el centro de estos compuestos se encuentran un gran número de enlaces dobles que constituyen el cromóforo, el cual les da la capacidad de absorber la luz y determinar la estructura molecular y actividad química (Namitha y Negi 2010; Ötles y Çagind 2007). Todos los carotenoides son derivados del licopeno, el primero que se biosintetiza; a partir de éste y por reacciones de ciclación se obtienen los demás pigmentos (Takaichi y col 2012; Ötles y Çagind 2007).

Para el ser humano, estos compuestos tienen aplicaciones importantes, por ejemplo, el α y β -caroteno se utilizan como fuente de vitamina A, además ayudan a prevenir enfermedades cardíacas e inclusive el cáncer (Deming y col 2002; Rodríguez-Amaya y Kimura 2004). Entre las actividades biológicas que se le atribuyen a los carotenoides se encuentran su acción antioxidante, diferenciación celular, comunicación intercelular, inhibición de mutagénesis e intervención en la respuesta inmune (Fernández-García y col 2012; Deming y col 2002). El licopeno, por ejemplo, ha sido vinculado con la reducción del riesgo de cáncer; diversas investigaciones señalan parte de esta actividad con los metabolitos del licopeno, los licopenoides (Ford y Erdman 2012; Ford y col 2011). Se ha sugerido que estos metabolitos son biológicamente activos y que están involucrados en la inhibición de la proliferación celular, regulando el ciclo normal de división, además de mejorar la comunicación celular e inducir apoptosis y factores de transcripción nuclear (Ford y col 2011; Zhang y col 2003; Ben-Dor y col 2001; Stahl y col 2000). Ford y Erdman (2012) sugieren una especificidad tisular de las enzimas encargadas de la ruptura del licopeno, y un incremento de las mismas parece estar asociado con la reducción del riesgo de cáncer.

Es por ello que el consumo de papaya constituye una de las mejores formas de prevenir la formación en exceso de especies reactivas de oxígeno ya que constituye una alternativa importante como fuente potencial de antioxidantes. Posee diversos compuestos químicos muy activos en concentraciones bajas que se pueden complementar o inclusive actuar de manera sinérgica (Núñez 2011; Restrepo y col 2010).

5. Importancia económica

a. Producción mundial

La papaya se produce en más de 60 países y su producción se concentra en naciones en vías de desarrollo. Los países con mayor producción son India, Brasil, México, Indonesia y República Dominicana (Cuadro 3) (FAOSTAT 2018). Asia ha sido la región en donde la producción de papaya ha crecido de manera importante y constituyó el 56.3 % de la producción global entre 2015 y 2016, la siguió el continente Americano (con 33.1 %), África (10.5 %) y Oceanía (0.1%) (FAOSTAT 2018).

México ocupa el tercer lugar como productor de papaya a nivel mundial y es el principal exportador, dirigiendo la producción principalmente hacia Estados Unidos y Canadá (FAOSTAT 2018).

Cuadro 3. Producción mundial de papaya, periodo 2015-2016.

País	Producción
India	5,699,000
Brasil	1,424,650
México	951,922
Indonesia	904,284
República Dominicana	863,201

FAOSTAT 2018.

b. Producción nacional

Los principales estados productores en México en el año 2014 fueron Oaxaca, Chiapas, Colima y Veracruz (Cuadro 4) (SAGARPA 2018). Sinaloa figura en las estadísticas con una producción por arriba de las 8,000 toneladas, reportándose a los municipios de La Cruz y Mazatlán como los principales productores (SAGARPA 2018). Sin embargo, a pesar de su baja producción, Sinaloa es un estado con amplias perspectivas de desarrollo en el cultivo de esta fruta, debido a la situación geográfica y a las condiciones climatológicas adecuadas para su propagación (Chávez-Sánchez y col 2013).

Cuadro 4: Producción nacional de frutos de papaya en México en el año 2016.

Estado	Producción
Oaxaca	273,280.46
Chiapas	159,564.01
Colima	98,499.00
Veracruz	81,802.50
Michoacán	48,045.60
Guerrero	40,460.71
Campeche	25,595.60
Jalisco	22,779.00
Yucatán	20,056.81
Quintana Roo	15,720.39
Tabasco	10,184.00
Puebla	8,792.00
Sinaloa	8,769.15
Nayarit	7,082.82
Tamaulipas	6,547.40
San Luis Potosí	4,768.00
Morelos	4,071.35
México	343.68
Hidalgo	8.0
	836,370.48

SAGARPA 2018.

B. Maduración de los frutos de papaya

La papaya, al igual que muchas frutas climatéricas, sufre una serie de cambios físicos y químicos después de la cosecha (Almora y col 2003). La maduración afecta la calidad sensorial, fisiológica y nutricional, además algunos problemas en pre o poscosecha pueden ser identificados durante la fase de maduración (Gonçalves de Oliveira 2011).

Al ser un fruto climatérico la papaya continúa con su maduración después de ser cosechado, produciendo cantidades significativas de etileno, conjuntamente con la presencia de un alto ritmo respiratorio (Argañosa y col 2008; Sañudo-Barajas y col 2008). La fruta puede ser cosechada desde el estado verde-maduro. En este estado de madurez la fruta ha alcanzado su máximo desarrollo, la cáscara es dura y de color verde claro y se encuentra bien adherida a la pulpa que cambia de color blanco a ligeramente amarilla o rojiza, dependiendo de la variedad y las semillas se tornan negras porque fisiológicamente han madurado. Sin embargo, la fruta no madura cuando se cosecha muy inmadura (CONAFRUT-FAO 2018).

En esta etapa de maduración ocurren una serie de eventos y reacciones, donde las moléculas de alto peso molecular (tales como el almidón) son degradadas, resultando en moléculas con bajo peso molecular (tales como azúcares y ácidos orgánicos) (Gayosso-García y col 2010), ocurren cambios de color, aroma, síntesis de proteínas y cambios de textura del fruto, provocando un ablandamiento progresivo que disminuye la vida de anaquel y reduce la calidad comercial de los frutos (Paull y Chen 1983).

Las implicaciones de dicho ablandamiento afectan tanto el manejo de los frutos durante la comercialización, como en la resistencia de los mismos a la aparición de enfermedades adquiridas durante la pre y la post cosecha (Petit-Jiménez y col 2010). El tiempo de almacenamiento y comercialización de la papaya se ve limitado debido a su carácter perecedero y a una maduración rápida de 6 a 9 días a temperaturas de 25 °C; por su susceptibilidad a las enfermedades poscosecha y a daños al almacenar los frutos a temperaturas por debajo de 10 °C.

1. Cambios en la firmeza

La firmeza es uno de los factores de mayor importancia en la calidad de los productos hortícolas. Debe presentarse dentro de los intervalos adecuados para cada producto ya que determina la aceptación o rechazo por los consumidores (Sañudo-Barajas y col 2008). Sin embargo, el ablandamiento del fruto de papaya, derivado de la acción de hidrolasas inducidas por la maduración, es un factor de calidad difícil de controlar durante la poscosecha (Thumdee y col 2007). Este ablandamiento progresa del endocarpio hacia la epidermis y la falta de uniformidad restringe su comercialización a corto plazo (Sañudo-Barajas y col 2008).

Las alteraciones en la estructura y en la composición de la pared celular ocurren debido a los cambios químicos de los principales componentes de la pared celular como celulosa, pectinas y hemicelulosa. Dichos cambios son catalizados por la acción de enzimas como pectinasas y celulasas, además de la acción de otras hidrolasas que contribuyen al ablandamiento (De la Cruz y col 2007).

Se ha reportado que la pérdida de turgencia por la pérdida de agua y la degradación del almidón pudieran contribuir en el ablandamiento (Natalini y col 2010).

2. Cambios en color

El color de la cáscara es la característica más utilizada para evaluar el estado de maduración de los frutos de papaya (Santamaría y col 2009^b). Una madurez normal es identificada por una disminución del color verde debido a la degradación de clorofila, dando paso a un incremento en la síntesis de pigmentos de color amarillo, naranja y rojo conferidos por compuestos bioactivos como carotenoides y antocianinas. Este parámetro de calidad es uno de los más importantes en el fruto dado que influye directamente en la aceptación por el consumidor y por lo tanto en su valor comercial. La falta de color se asocia generalmente con una calidad deficiente y se relaciona directamente en el deterioro del atractivo visual del fruto (Sañudo-Barajas y col 2008).

3. Cambios en la composición química

Conforme la maduración, los frutos climatéricos como la papaya ha mostrado tener un incremento en la tasa respiratoria y en la producción de etileno. Esta etapa es clave en su vida útil, debido a que durante este periodo se incrementan los cambios fisicoquímicos, como la conversión de almidones a azúcares solubles, desaparición de los taninos y otros productos causantes del sabor astringente, así como una modificación de la acidez debido a la degradación de los ácidos orgánicos, desarrollo de aromas, degradación de clorofila, síntesis de carotenoides y flavonoides

(Osuna-García y col 2009). Bajo condiciones normales estos procesos son irreversibles, incontrolables y degenerativos lo que provoca que los frutos pierdan peso y apariencia, lo cual está estrechamente relacionado con genes que son altamente dependientes del etileno y que conllevan a la senescencia y deterioro de los frutos (Grierson 1987).

Para retrasar los efectos negativos de estos cambios, durante el manejo poscosecha de los frutos se utilizan distintas alternativas de conservación que permitan mantener la calidad original de la materia prima durante el mayor tiempo posible. Sin embargo, tienen que ser técnicas que no representen esfuerzos extra en la línea de manejo y sobre todo de bajo costo.

C. MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

Al ser la papaya un fruto altamente susceptible a daños mecánicos, fisiológicos y microbiológicos; además de su proceso acelerado de ablandamiento y su carácter perecedero, surge la necesidad de aplicar tecnologías que reduzcan el deterioro y prolonguen la vida durante su comercialización (Petit-Jiménez y col 2010).

Para tal fin desde hace tiempo se han utilizado distintos productos químicos, sin embargo su aplicación provoca daños serios en los frutos y en el medio ambiente, además de los riesgos que existen a la salud de los consumidores. Aunado a esto, los productos utilizados no aseguran que se conserven las propiedades intrínsecas de los alimentos frescos. Debido a ello es necesario la puesta en práctica de métodos de conservación (a menudo una combinación inteligente de ellos) con bajo impacto sobre el alimento y el consumidor (Chávez-Sánchez y col 2013; Sharma y

col 2013). Se pueden aplicar diversos tratamientos físicos, químicos y gaseosos poscosecha para mantener la calidad con alto valor nutritivo y cumplir con las normas de seguridad de productos frescos. Dentro de los métodos de conservación que se han implementado destacan el uso de recubrimientos comestibles, agentes antimicrobianos y antipardeamiento, etileno, 1-metilciclopropeno, almacenamiento en atmósferas controladas y modificadas, así como la aplicación de tratamientos hidrotérmicos y las inmersiones en sales de calcio (Marpudi y col 2011).

1. Recubrimientos comestibles

Uno de los tratamientos con mayor aplicación son los recubrimientos comestibles los cuales son capas delgadas compuestas de grupos hidrófobos, tales como ceras basadas en lípidos; grupos hidrófilos, tales como polisacáridos o materiales basados en proteínas; o una integración de ambos grupos para mejorar su funcionalidad, los recubrimientos son aplicados en la superficie de los frutos para mejorar la cutícula cerosa formando una barrera natural (Dhall 2013; Gol y col 2013) lo que minimiza la pérdida de humedad, ralentiza la respiración, la senescencia, la oxidación enzimática y conserva el color y la textura. Además, mantiene la integridad estructural de los frutos dando protección contra daños mecánicos y sirve como portadores de compuestos funcionales o activos, como antioxidantes y antimicrobianos que mantendrán la calidad y la seguridad del fruto (Dhall 2013; Ghasemnezhad y col 2013; Gol y col 2013). Varios recubrimientos comestibles hechos a partir de quitosano, aloe vera, acera, aceites esenciales, celulosa y proteína han demostrado atributos deseables en los frutos (Dhall 2013).

2. Agentes antimicrobianos y antipardecimiento

Los agentes utilizados como tratamientos poscosecha son basados en sustancias químicas que incluyen soluciones a base de cloro, ácido peroxiacético, ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno y agua electrolizada (Artés y col 2009). Dichas soluciones ha sido los desinfectantes comúnmente utilizados para los frutos, al poseer una capacidad bactericida y esporicida e inhibitoria, debido a su propiedad como oxidante y por ser capaz de generar otras especies oxidantes citotóxicas (Baskaran y col 2013; Artés y col 2009). El ácido orgánico y el ácido ascórbico se han aplicado en gran medida para frenar el pardecimiento enzimático y no enzimático, el deterioro de la textura y el crecimiento microbiano en los frutos. Sin embargo, existen factores que limitan la eficacia de los agentes antimicrobianos y antipardecimiento tales como la internalización de bacterias y sitios inaccesibles dentro de los frutos tales como el cáliz (Carrasco y Urrestarazu 2010).

3. 1-metilciclopropeno

El tratamiento con ciclopropenos como inhibidores de la percepción del etileno representa un importante avance en el control de las respuestas de etileno de los frutos de papaya (Blankenship y Dole 2003). 1-MCP inhibe procesos de maduración y senescencia (Serek y col 2006; Watkins 2006), incluidos los cambios en los pigmentos, el reblandecimiento, el metabolismo de la pared celular, sabor, aroma y las propiedades nutricionales, pero existen diversos desafíos para el uso efectivo de 1-MCP para las frutas que maduran de forma uniforme a una textura de fusión y / o

tienen los principales cambios de color, sabor y aroma que espera el consumidor. La incapacidad para madurar normalmente se ha demostrado en aguacate, plátano, pera y tomate, donde las frutas se trataron en una etapa de maduración temprana o cuando las concentraciones de 1-MCP aplicadas eran demasiado altas (Bai y col 2006; Mir y col 2004).

4. Atmósferas modificadas y controladas

El almacenamiento en atmósferas modificadas (AM) o controladas (AC), consiste en colocar el alimento en una atmósfera diferente a la composición normal del aire. Usualmente involucran una reducción en los niveles de oxígeno y/o una elevación de los niveles de dióxido de carbono (Rodríguez-Félix y col 2005).

La atmósfera controlada tiene como objetivo modificar y monitorear con precisión la composición del aire atmosférico que rodea a las frutas desde el inicio hasta el final del almacenamiento, adoptando los porcentajes de dióxido de carbono y oxígeno a las necesidades de conversión de los mismos; mientras que las atmósferas modificadas tienen la particularidad de manejar o no las concentraciones de gases al inicio, pero no se realiza un monitoreo del contenido de los gases dentro de la atmósfera establecida (Pérez-de-Camacaro 2006).

El uso adecuado de las atmósferas modificadas y atmósferas controladas puede traer beneficios al producto, tales como una considerable disminución de la velocidad de respiración, reducción de los efectos de etileno sobre el metabolismo, minimiza la acción de microorganismos, retención de la firmeza y la turgencia de los productos, así como el contenido de ácidos orgánicos, azúcares, vitaminas, clorofilas

y la calidad sensorial, además de evitar algunas alteraciones fisiológicas. Debido a la gran diversidad de vegetales y presentaciones demandadas en el mercado, el desarrollo de las atmósferas modificadas ha sido una de las áreas más investigadas (Rodríguez-Félix y col 2005). Entre las AM más utilizadas, se encuentran los plásticos envolventes, las cubiertas plásticas semipermeables o micro-perforados y las ceras; sirven de empaque, mantienen alta humedad relativa, reducen pérdidas de agua, mejoran la sanidad por la reducción de la contaminación durante el manipuleo, evitan contacto con superficies abrasivas, reducen el proceso de maduración y senescencia durante el almacenamiento, transporte y mercadeo en numerosas frutas (Pérez-de-Camacaro 2006).

Otros de los tratamientos con mayores aplicaciones en los frutos son el tratamiento hidrotérmico y las sales de calcio, de manera general han sido empleados con el fin de mantener la estabilidad de la pared celular, la pérdida excesiva de agua, alargar la vida de anaquel, retrasar la pérdida de nutrientes esenciales y de compuestos bioactivos que generan la capacidad antioxidante (Marpudi y col 2011). El tratamiento hidrotérmico se ha aplicado en frutos de mangos (Adams y Nasuri 2014), cítricos (Ben-Yehoshua y col 2000) y fresas (Oluwafemi y col 2017) con el fin de preservar la calidad poscosecha y mejorar el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y capacidad enzimática en frutos de pera (Huan y col 2017), mandarina (Ghasemnezhad 2008) y plátano (Correa y col 2012). Así mismo, la aplicación del calcio juega un papel importante en la calidad poscosecha de los frutos de berenjena (Chepngeno y col 2016), en los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos de los frutos de papaya (Madani y col 2015; Leyva-López y col 2011), y cereza (Aghdam y col 2013).

D. TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO

El tratamiento térmico es un tratamiento físico no contaminante que se emplea para conservar la calidad en productos frescos (Akbulak y col 2007). Este tratamiento se aplica previo al almacenamiento a temperaturas bajas y consiste en sumergir los frutos en agua caliente (43-53 °C) durante tiempos cortos (1-15 min) (Fallik, 2004). Comúnmente se aplica durante pocos minutos ya que el agua es un medio de transferencia de calor más eficiente que el aire (Lurie 1998).

La aplicación de agua caliente como tratamiento para el control de calidad en poscosecha se lleva a cabo industrialmente mediante dos sistemas: por lotes o continuo. En un sistema por lotes los frutos son cargados en cestas de plástico o metal que se colocan en una plataforma la cual se sumerge sometiendo a los frutos a una temperatura y un periodo de tiempo ajustados de acuerdo a sus requerimientos (Figura 2) (Fallik 2011). En un sistema continuo los frutos son colocados en cestas o a granel sobre una banda transportadora que los mueve desde un extremo del tanque hacia el otro asegurándose que el tratamiento de inmersión en agua caliente sea aplicado por un tiempo determinado. Los componentes principales de estos dos sistemas son: un tanque que contiene agua, un intercambiador de calor que utiliza gas, electricidad o diésel para la generación de calor, una bomba de recirculación de agua para asegurar la uniformidad de la temperatura del agua durante el proceso y sensores de temperatura para el control del proceso (Figura 1) (Tang y col 2007).

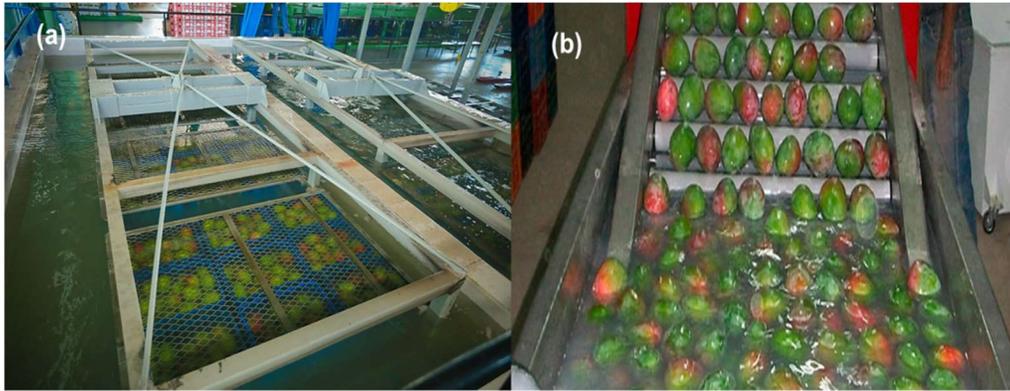


Figura 1. Aplicación industrial del tratamiento hidrotérmico a frutos, (a) sistema por lotes (b) sistema continuo. Fallik, 2011.

Los tratamientos hidrotérmicos originalmente fueron implementados con el objetivo de la desinfección y para el control de enfermedades (Alam y col 2013; Spadoni y col 2014); sin embargo, desde hace años se ha observado que, aparte de otorgar beneficios fitosanitarios a las frutas, tienen efectos en otros parámetros fisicoquímicos que ayudan al fruto a mantener su calidad poscosecha y nutrimental (Hepler 2005). González-Aguilar y col. (2000) reportaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en frutos de mango tuvo efectos positivos en su calidad sensorial. Por su parte, Hemmaty y col. (2007) aplicaron un tratamiento hidrotérmico a 54°C por un minuto en frutos de manzana observando un aumento de la acidez titulable y la firmeza de los frutos, también una disminución del pH y la relación sólidos solubles/acidez. Los autores concluyeron que el tratamiento hidrotérmico retrasó el proceso de maduración de los frutos y mantuvo su calidad durante el almacenamiento, manteniendo su valor nutricional. Así mismo, Lum (2011) observó que al sumergir pitahaya en agua a 35 °C durante 60 minutos se retrasaba la pérdida de peso y se mantenía un porcentaje alto de acidez y una mayor firmeza de la fruta. El autor comenta que la aplicación del tratamiento hidrotérmico mejoró la vida útil y mantuvo la calidad de los frutos.

Además, el estrés hídrico que se genera por la implementación de los tratamientos hidrotérmico en los tejidos vegetales, desarrolla una acumulación activa de solutos para asegurar la sobrevivencia de las plantas (Attipalli y col 2004), uno de los principales solutos es la prolina y los azúcares solubles, cuya síntesis se ha asociado con el mantenimiento de la turgencia de los tejidos para continuar con la función celular (Ramanjulu y Sudhakar 2000). Nayer y Reza (2008) mencionan que la

disminución del almidón con la inducción de plasmólisis puede reducir el volumen del citoplasma pero la acumulación de azúcares solubles puede contrarrestar el estrés.

Se ha demostrado que la aplicación moderada de calor produce un incremento en el sistema de defensa antioxidante no enzimático, donde se promueve la síntesis de numerosos metabolitos secundarios (fenólicos, carotenoides y vitaminas) (Karousou y col 2007; Yamaguchi-Shinozaki y Shinozaki 2006) por acción de un sistema antioxidante enzimático que se encuentra localizado en varios compartimientos de la célula (Zheng y Wang 2001), activando enzimas encargadas de la eliminación de radicales libres entre las que se incluyen la peroxidasa (POD) la cual convierte el H_2O_2 a agua, ascorbato peroxidasa (APX) que convierte H_2O_2 a agua, y fenilalanina amonioliasa (PAL) que cataliza la conversión de L-fenilalanina a ácido transcinámico con liberación de amonio; esta reacción es un punto clave en la síntesis de polifenoles (Rodríguez-Pedroso y col 2009; Ghasemzhad 2008).

Lurie y Klein (1991) señalaron que la exposición al calor causa estrés abiótico al fruto de tomate, sin embargo, se mantiene una maduración normal pero más lenta que un fruto sin tratar. También, se ha sugerido que el tratamiento con calor antes del almacenamiento podría disminuir la presencia de desórdenes fisiológicos y patológicos en las frutas por la alteración de sus características de maduración, ya que inhibe las rutas bioquímicas envueltas en la maduración y otros procesos bioquímicos (Zhao y col, 2013).

La aplicación de tratamientos empleando temperaturas altas incrementa la resistencia de los frutos a la deterioración, en algunos casos al inducir a la enzima

PAL y con ello la biosíntesis de lignina y compuestos fenólicos (Roy y col, 1994). También, se ha podido observar que la aplicación de tratamientos térmicos favorece la presencia de otras enzimas participantes en la actividad antioxidante como la peroxidasa. Esta enzima controla los niveles de peróxidos que se generan en casi todas las células vivas y constituye una actividad importante para las plantas ya que evita el efecto perjudicial de los radicales libres (Mendoza y col, 2012). Yang y col (2009) evaluaron el efecto de la aplicación de tratamientos hidrotérmicos (40 ó 45 °C por 5 ó 15 min) observando que su aplicación en los frutos inducían una mayor tolerancia al estrés oxidativo.

Por su parte, Huan y col. (2017) indicaron que durante la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (48 °C por 10 min) las especies reactivas de oxígeno disminuyen, esto es debido a que los sistemas antioxidantes aumentan durante la exposición de los frutos de durazno al calor. También, Oluwafemi y col. (2017) mencionaron un incremento en la actividad antioxidante en frutos de fresas expuestos al calor del hidrotérmico a 45 °C por 10 min. El aumento en la síntesis de compuestos bioactivos (fenólicos totales) y la actividad enzimática de fenilalanina amonioliasa y peroxidasa fue observado por Zhou y col. (2014) al momento de aplicar un tratamiento hidrotérmico (53 °C por 2 min) en frutos de mandarinas.

Marelli-de Souza y col. (2008) observaron que el contenido de ácido L-ascórbico y carotenoides como β -caroteno y licopeno incrementaron con la aplicación del tratamiento hidrotérmico 32 °C en frutos de papaya el incremento en el contenido de compuestos bioactivos está relacionado con la eliminación de los radicales libres de los frutos de papaya.

Así mismo, Herrera-Flores y col. (2014) mencionan que al estar los tejidos de las plantas expuestos a estrés, se desencadenan la activación y síntesis de algunas enzimas antioxidantes para contrarrestar el daño causado por las especies reactivas de oxígeno: superóxido dismutasa, ascorbato peroxidasa y catalasa y antioxidantes no enzimáticos como pigmentos como carotenoides y ácido ascórbico. Por otra parte durante las condiciones de estrés generada por los tratamientos térmicos la actividad de los antioxidantes está relacionada con bajos niveles de peroxidación de lípidos (Bowler y col 1992). Un aumento de la capacidad metabólica de las enzimas antioxidantes puede ser parte de un sistema antioxidativo en plantas con la regulación de proteínas o la expresión de genes (Herrera-Flores 2014).

Por su parte, Boonkorn (2016) mostró que la exposición de la fruta de tomate al agua caliente a 40 °C durante 10 min influyó las actividades de peroxidasa y catalasa, enzimas claves en el sistema antioxidante del fruto. La actividad de las dos enzimas al igual que el contenido de ácido ascórbico aumentó con el tiempo de almacenamiento.

La aplicación de un tratamiento hidrotérmico (50 °C por 2 min) en frutos de mandarina tiene efecto positivo en la activación de las enzimas antioxidantes. Durante el almacenamiento a 2 °C los frutos tratados hidrotérmicamente aumentaron la actividad de la peroxidasa. Este rápido aumento en la actividad de POX se asoció con un mayor daño por calor (Ghasemnezhad y col 2008).

A pesar de los efectos positivos de los tratamientos hidrotérmicos, se debe tener mucho cuidado al aplicarlos ya que cuando se aplican en forma inapropiada

pueden tener efectos adversos en la calidad de los frutos que se manifiestan como alteraciones en la actividad enzimática, aumento en la velocidad de la respiración, hundimiento de la pulpa en la zona peduncular y otros efectos no deseables en los parámetros físicos, químicos y sensoriales (González-Aguilar y col 2001).

E. CLORURO DE CALCIO

El calcio (Ca^{2+}) es un nutrimento esencial para los frutos debido a que participa en la estabilidad de la pared celular, ayuda a dar una respuesta de señalización celular y en el funcionamiento de la membrana plasmática (Hepler 2005). La deficiencia de calcio afecta la calidad y el rendimiento y por ende la economía de los productores debido a las pérdidas de los cultivos. Al respecto, Cabezas-Serrano y col. (2004) aplicaron una solución de cloruro de calcio en frutos de ciruela encontrando que los frutos tratados presentaron menos daños en la pared celular comparado con los frutos control, así como una menor presencia de oscurecimiento en la pulpa. La investigación de Contreras-Angulo y col. (2011) infiere que el calcio muestra una relación positiva con el retraso de la madurez, pues la implementación de inmersiones de calcio en frutos frescos aumenta su firmeza.

El ablandamiento de los frutos carnosos se encuentra fuertemente asociado con la disminución de los niveles de calcio extracelular conforme la fruta madura. Las causas del ablandamiento son posiblemente debidas a cambios en la estructura de las moléculas pécticas de la pared celular durante la maduración. Cualquier aumento de los fragmentos pécticos solubles durante la maduración del fruto resulta en un cambio del equilibrio entre la pared celular y el calcio libre. Por su parte, la

disminución de los niveles de calcio puede afectar la función del plasmalema causando pérdida de la permeabilidad de la membrana (Galvis y col 2003).

El calcio es esencial para el mantenimiento de la estabilidad de las membranas celulares y su deficiencia ocasiona aumento del flujo de compuestos de peso molecular bajo (por ejemplo azúcares) desde el citoplasma hacia el apoplasto, lo que favorece el desarrollo de hongos. El calcio confiere resistencia a los materiales de la pared celular contra el ataque de enzimas hidrolíticas (Galvis y col 2003). La aplicación de sales de calcio logra una estabilización del sistema de membrana y la formación de pectatos de calcio, ya que los iones calcio forman enlaces intermoleculares por la interacción con los grupos carboxilos libres de los polímeros de las pectinas ácidas (Robles-Sánchez y col 2011; Silveira y col 2011). Cuando esto ocurre en el fruto se obtiene como resultado una reducción de la velocidad de respiración y producción de etileno, incrementando la firmeza y reduciendo la incidencia de desórdenes fisiológicos y la deterioración debido a que se provoca la estabilización de la membrana celular (Lamikanra y Watson 2007).

Galvis y col. (2003) aplicaron cloruro de calcio en mango cv. Van Dyke favoreciendo una mayor vida de anaquel. Petit-Jiménez y col. (2004) reportaron que la aplicación de soluciones de calcio en mango logró mantener los parámetros de calidad hasta por 15 días, permitiendo que maduraran de manera normal. Por su parte, Leyva-López y col. (2011) realizaron un estudio en papaya Maradol mínimamente procesada, encontrando que la aplicación de soluciones de cloruro de calcio al 1 y 3% permitió mantener la calidad de las rebanadas por más tiempo (Leyva-López y col 2011).

Por su parte, Aghdam y col. (2013) observaron que al aplicar cloruro de calcio a los frutos de cerezas el contenido de fenolicos totales, flavonoides, antocianinas y ácido ascórbico se mantenía durante el almacenamiento a 4 °C por 21 días, el mantenimiento de estos compuestos bioactivos incremento la actividad antioxidante (DPPH) y la actividad enzimática de fenilalanina amonioliasa.

La combinación de un tratamiento hidrotérmico con sales de calcio también ha sido utilizada con el fin de prolongar la vida de comercio de distintos frutos. Lamikanra y Watson (2007) aplicaron un tratamiento hidrotérmico (60 °C por 60 min) combinado con cloruro de calcio al 1% en melón Cantaloupe 24 h antes de su procesamiento, encontrando que las rebanadas de melón lograban mantener los parámetros de calidad y una mayor actividad de la peroxidasa (POD) durante los 8 días de almacenamiento. Esto lo atribuyeron a que la aplicación del tratamiento hidrotérmico permitió la desmetilación de la pectina por efecto de la pectin metil esterasa (PME) que forma grupos carboxílicos aniónicos con el cual los iones de calcio pueden formar puentes salinos de enlaces entrecruzados (Lamikanra y Watson 2004). También, en otro estudio se demostró que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico previo al rebanado de mango seguido de la inmersión de las rebanadas en una solución de calcio logró mayor retención de la firmeza que al aplicarse el hidrotérmico o la solución de calcio por separado (Castro-Espinoza 2011). Por su parte, Silveira y col. (2011) aplicaron ascorbato de calcio, cloruro de calcio y lactato de calcio en combinación con un tratamiento hidrotérmico (60 °C) y H₂O₂ (50 mg L⁻¹) en melón, encontrando que todas las sales evaluadas lograron retener la firmeza de las rebanadas hasta por 10 días de almacenamiento a temperaturas bajas, lo cual

fue atribuido a la disminución de la velocidad de respiración debido a la alta concentración de calcio en el tejido. En el caso de papaya, se reportó que la aplicación de un hidrotérmico en combinación con cloruro de calcio lograba una mayor retención de la firmeza que en los frutos no tratados, lo cual pudo deberse a que el tratamiento hidrotérmico indujo la activación de la PME la cual desmetiló los ácidos galacturónicos de la lámina media y permitió que se uniera el calcio al ácido galacturónico impidiendo la acción de la PG que se encarga de romper los enlaces glucosídicos y por lo tanto el deterioro del tejido (Ayón-Reyna, 2010). Aguayo y col. (2015) observaron que la aplicación del tratamiento hidrotérmico en combinación con lactato de calcio, aumenta la vida útil de las rodajas de manzana y conducen a un aumento en el contenido de ácido ascórbico y fenólicos totales en el tejido de los frutos, así como también un incremento de la actividad antioxidante medida por los valores de DPPH y FRAP.

Torres y col. (2009) investigaron el efecto de la combinación del calcio 6% y el tratamiento hidrotérmico 40 °C por 20 min durante el almacenamiento de la fruta atemoya. Dando como resultado que el tratamiento combinación influyo en el aumento de las actividades de polifenol oxidasa, peroxidasa y fenólicos totales. Los resultados sugieren que la inmersión de los frutos en caliente combinada con calcio, contribuyó a la capacidad antioxidante de la fruta.

Por su parte, el papel del calcio y el tratamiento térmico en el retraso de los procesos degenerativos durante el almacenamiento ha sido observado por Shahkoomahally y Ramezania (2015). Ellos observaron los efectos del agua caliente (48 °C) combinada con calcio (2%) en los frutos de durante su almacenamiento a 0 °C por 120 días. Observando que la combinación incrementó los niveles de fenólicos totales y la actividad antioxidante de los frutos de kiwi.

Pinal y col. (2015) y Shafiee y col. (2010) señalaron que la combinación del tratamiento hidrotérmico con calcio incrementa el contenido de ácido ascórbico presentes en los frutos de manzana y fresa respectivamente, además de mantener la calidad poscosecha de los frutos, alargando su periodo de almacenamiento.

IV. JUSTIFICACIÓN

El fruto de papaya es considerado un alimento con excelentes características nutricionales y sensoriales. Ofrece un gran contenido en compuestos bioactivos como la vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos que le confieren capacidad antioxidante, la cual está involucrada en la eliminación de las especies reactivas de oxígeno causantes de múltiples enfermedades. En los últimos años el comercio internacional de frutas y hortalizas frescas ha crecido de manera sistemática y para muchos países en desarrollo representa el principal rubro de exportación y la principal fuente de divisas. Sin embargo, los frutos de papaya presentan una rápida pérdida de la calidad, sobre todo de la firmeza y compuestos nutricionales, provocando limitaciones en su comercialización. La aplicación de métodos de conservación como el tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio ha sido utilizada para alargar la vida de anaquel y mantener los componentes esenciales de los frutos. Sin embargo, en la actualidad es cada vez más común la aplicación de tratamientos combinados con el fin de obtener un efecto sinérgico que mejore el efecto de los tratamientos individuales aplicados en los frutos. Por ello, es interesante conocer el efecto que puede generar la combinación de un tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio sobre la calidad poscosecha, el contenido de compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y la expresión de enzimas que degradan los compuestos bioactivos durante el almacenamiento comercial de papaya.

V. HIPÓTESIS

La aplicación de un tratamiento hidrotérmico combinado con cloruro de calcio en frutos de papaya permite mantener sus características de calidad poscosecha, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

VI. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en combinación con cloruro de calcio sobre la calidad poscosecha, presencia de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y la actividad de enzimas del sistema antioxidante en frutos de papaya durante su almacenamiento comercial.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar los cambios en las características físicas (pérdida de peso, color, firmeza) y químicas (sólidos solubles totales, pH, acidez titulable) en frutos de papaya sometidos a tratamiento hidrotérmico, inmersión en solución de cloruro de calcio o en su combinación.
2. Determinar los cambios en el contenido de compuestos bioactivos (vitamina C, fenólicos totales y carotenoides totales) durante el almacenamiento de frutos de papaya tratados hidrotérmicamente, con cloruro de calcio o con la combinación de ambos.
3. Evaluar la capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH de frutos de papaya sometidos a tratamiento hidrotérmico, inmersión en cloruro de calcio y a la combinación de estos.
4. Determinar los cambios en la actividad de las enzimas del sistema antioxidante (POD, APX) durante el almacenamiento de frutos de papaya tratados hidrotérmicamente, en cloruro de calcio o en la combinación de ambos.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

Se utilizó como material de estudio papaya (*Carica papaya* L.) variedad Maradol en estado de madurez 2, según lo reportado por Santamaría-Basulto y col. (2009^a). Los frutos fueron obtenidos de un huerto local, se seleccionaron con base en la libertad de defectos, golpes, magulladuras y ausencia de daños por microorganismos, asegurándose uniformidad de color y tamaño, generando un material experimental homogéneo.

B. MÉTODOS

1. Aplicación de los tratamientos

Una vez obtenidos los frutos, se trasladaron al Laboratorio de Fisiología y Tecnología Poscosecha de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa donde se sometieron a un lavado seguido de la inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% por 5 minutos y se dejaron a temperatura ambiente para retirar el exceso de humedad. Posteriormente la fruta se dividió en 4 lotes para la aplicación de los tratamientos. El primer lote fue utilizado como tratamiento control empleando únicamente agua purificada a temperatura ambiente (25 °C) para la inmersión, el segundo lote fue sumergido en una solución de cloruro de calcio (1%) según lo reportado por Chau y Álvarez (1983) y Ayón-Reyna y col. (2015), al tercer lote se le aplicó un tratamiento hidrotérmico (48 °C)

(Aragaki y col 1981; Couey y col 1984), y el cuarto lote fue tratado con una combinación de cloruro de calcio (1%) y tratamiento hidrotérmico (48 °C). Todos los tratamientos tuvieron un tiempo de inmersión de 20 min. Una vez aplicados, los frutos de todos los lotes fueron almacenados a 12 °C durante 20 días para sus respectivos análisis cada 4 días.

2. Pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Henríquez y col. (2005). Se pesaron 10 frutos de cada tratamiento durante todo el almacenamiento. Se registró el peso de los frutos cada 2 días con el empleo de una balanza Sartorius modelo TE 4101 (Goettingen, Alemania). Los valores se expresaron como porcentaje de pérdida de peso en relación al peso inicial, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

3. Color externo

El color en cáscara se evaluó utilizando un colorímetro Minolta CR 200 (Minolta Chromameter, Japón). Se registraron los parámetros de luminosidad (L), cromaticidad (C), y el ángulo de matiz (H°) en tres puntos ecuatoriales equidistantes de cada fruto.

4. Color interno

La determinación de color en pulpa se realizó utilizando un colorímetro Minolta CR 200 (Minolta Chromameter, Japón). Se evaluaron 9 puntos en la pulpa y se registraron los valores obtenidos para los parámetros L*, C y H°.

5. Firmeza

La firmeza en pulpa se determinó empleando un penetrómetro digital Chatillon DFE 100 (DFE AMETEK, Florida, EUA) equipado con una punta plana de 11 mm de diámetro, a una profundidad de penetración de 5 mm con una velocidad de 50 mm/min. Los resultados fueron expresados en Newtons.

6. Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales se determinó de acuerdo al método oficial 22.014 de la AOAC (2012) utilizando un refractómetro manual (Fisher Scientific S66366, CHINA). 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 (°Brix).

7. pH

Se determinó de acuerdo a la AOAC (1999). Se homogenizaron 10 g de muestra con 100 mL de agua destilada neutra y se determinó el pH mediante la inmersión directa del electrodo de vidrio de un potenciómetro Orión 3 Star (Thermo Electron Corporation, EUA).

8. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó de acuerdo a la AOAC (2012). Del homogenizado utilizado para pH se tomó una alícuota de 20 mL y se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.1 ± 0.2 . Se reportó como porcentaje de ácido cítrico.

9. Compuestos Bioactivos

a. Ácido ascórbico

La extracción del ácido ascórbico se realizó de acuerdo a la metodología reportada por Gökmen y col. (2000) con algunas modificaciones. La técnica se basa en una reacción de óxido-reducción donde el ácido ascórbico presente en la muestra reacciona con la sal 2,6-diclorofenolindofenol (DCPI) y es oxidado a ácido dehidroascórbico y el DCPI es reducido ganando los dos átomos de hidrógeno que pierde cada molécula de ácido ascórbico. Cuando el DCPI se reduce cambia de color de azul fuerte a rosa y este cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente.

La vitamina se extrajo homogenizando 2 g de tejido fresco con 10 mL de ácido oxálico (0.4%, p/v) por 1 min, posteriormente se hizo reaccionar con el DCPI (0.0012%, p/v). Para obtener la lectura se empleó un espectrofotómetro (UV-Visible Marca Unico Modelo SQ2800, New Jersey, EUA) a una longitud de onda de 520 nm.

Para la determinación de vitamina C se obtuvieron dos valores de absorbancias L1 y L2, siendo L1 la absorbancia de todo el DCPI y L2 la absorbancia del DCPI remanente después de reaccionar con el ácido ascórbico. Para obtener el valor L1 primeramente el equipo se ajustó a cero utilizando agua desionizada y se registró la absorbancia obtenida para una mezcla de 1 mL de ácido oxálico, 1 mL de

amortiguador acetato y 8 mL de DCPI después de 15 s. Posteriormente se procedió a medir el valor L2, el espectro se ajustó a cero con un blanco el cual contenía 1 mL de extracto, 1 mL amortiguador de acetato y 8 mL de agua desionizada, inmediatamente después se leyó la muestra con el DCPI (1 mL de extracto, 1 mL de amortiguador acetato y 8 mL de DCPI) y se registró como L2. Los valores de L2 se restaron al L1 del ácido ascórbico con el DCPI. Las concentraciones se determinaron utilizando una curva estándar de ácido ascórbico. Se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mg ácido ascórbico/100 gramos de fruto fresco (gff).

b. Fenólicos totales

Los fenólicos totales fueron cuantificados por el método de Folin-Ciocalteu (FC) descrito por Mora-Rochin y col. (2010) con algunas modificaciones.

Se pesaron 5 g de muestra y se homogenizaron con 10 mL de metanol (100%), la mezcla se molió con un Ultra-turrax (IKA T18 basic, Germany) por 1 minuto, se sónico por 30 min, se filtró y se recuperó el sobrenadante, el residuo se extrajo de nuevo bajo las mismas condiciones, los sobrenadantes se mezclaron y se aforaron a 50 mL con agua desionizada; se tomaron 10 μ L de esta solución, se le añadió 0.1 mL de FC, y la mezcla se dejó reposar de 1-8 min. A la mezcla se le añadió una solución de carbonato de sodio saturada y se mantuvo por 30 min a 40 °C en baño maría. La absorbancia fue evaluada a 765 nm en un espectrofotómetro (Spectronic 2 GENESIS, EUA). La cuantificación se realizó utilizando una curva estándar de ácido gálico y se reportó como mg de ácido gálico/100 gff.

c. Carotenoides totales

La determinación se realizó utilizando la técnica descrita por López-Valenzuela y col. (2011) con algunas modificaciones. Para la extracción se pesaron 10 g de muestra y se adicionaron 10 mL de acetona, se homogenizó durante 1 min en un Ultra-turrax (IKA T18 basic, IKA, Germany) y se filtró utilizando tela de organza. El filtrado se desechó y se recuperó el pellet, el cual se homogenizó con 10 mL de acetona por 1 min y se filtró en tela de organza. En este caso tanto el filtrado como el pellet se recuperaron, el pellet se volvió a homogenizar con 10 mL de acetona y se filtró sobre tela de organza. El filtrado obtenido se mezcló con el filtrado recuperado anteriormente y se pasó por filtros de jeringa de 0.45 μm (PVDF membrane HPLC Certified, Pall, EUA). Se tomó una alícuota de 1 mL y se analizó en un equipo de HPLC. Se utilizó una columna YMC carotenoid 250 mm x 4.6 mm x 5 μm , una temperatura de 30 °C, una fase móvil de terbutilmetileter (15%), metanol (81%), agua (4%) hasta lograr un gradiente a los 75 minutos de 77.5% de terbutilmetileter, 18.5% de metanol y 4% de agua, un flujo de 0.7 mL/min hasta los 45 min para alcanzar un flujo de 0.8 mL/min a los 75 min, una longitud de onda de 447 nm, una inyección de 100 μL y un tiempo de corrida de 45 min. El contenido de carotenoides fue obtenido usando una curva de calibración de un estándar puro y los resultados se expresaron como mg/100 gff. Se realizaron 3 mediciones por réplica para cada tratamiento.

10. Actividad antioxidante

a. Método ABTS

El método de ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) fue evaluado usando el análisis de decoloración del catión ABTS⁺ de acuerdo con

López-Angulo y col. (2014) con algunas modificaciones. Las soluciones ABTS (7 mM) y persulfato de potasio (2.45 mM) fueron mezcladas en una relación 1:1, la mezcla se mantuvo en reposo por 12-16 h a 25 °C en completa oscuridad para producir el radical ABTS⁺. Esta solución fue diluida con amortiguador de fosfato (PBS) 7 mM (pH 7.4) hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. En un tubo de ensayo se colocaron 100 μ L del extracto metanólico diluido (1:20) y se mezclaron con 1900 μ L del radical ABTS diluido. La mezcla se mantuvo en reposo por 30 min a 27 °C en completa oscuridad y la absorbancia fue leída a 734 nm. Una curva de calibración de Trolox (0-225 μ g/mL) fue utilizada para calcular la actividad antioxidante, expresándose como μ mol ET/100 gff.

b. Método DPPH

El análisis de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se realizó según lo reportado por López-Angulo y col. (2014) con algunas modificaciones. Una alícuota de 20 μ L del extracto metanólico diluido (1:2) se mezcló con 180 μ L del radical DPPH 150 mM (metanol). Las mezclas fueron incubadas por 30 min en completa oscuridad (27 °C) y leídas a una absorbancia de 525 nm en un lector de microplacas (SynergyTM HT Multi-Detection, Biotek, Inc., Winooski, VT). Trolox fue preparado como curva de calibración (Sigma-Aldrich-238813) (0-225 μ g/mL) y la actividad antioxidante fue reportada como micromoles equivalentes de Trolox (μ mol ET)/100 gff.

11. Análisis enzimático

a. Extracción de las enzimas peroxidasa y ascorbato peroxidasa.

La extracción se realizó según lo descrito previamente por Carrillo-López y col. (2002). El tejido del pericarpio de papaya congelada (5 g) se homogenizó con 5 mL

de buffer de extracción que contenía borato de sodio 25 mM (pH 8.8) + EDTA 1mM + polivinilpirrolidona (PVP). El homogeneizado se centrifugó a 18000 g durante 40 min a 4 °C, el sobrenadante obtenido se filtró en tela de organza y se recolectó en un tubo eppendorf el cual se almacenó a -70 °C, hasta que se realizó la prueba enzimática.

b. Evaluación de la actividad de peroxidasa (POD)

La actividad de POD fue determinada de acuerdo a Silva y col. (1984) con algunas modificaciones. Se pesó 0.5 g de tejido congelado y homogenizó con 5 mL de la solución amortiguadora de fosfato ((0.05 M, pH 7.5), 5% de PVPP y EDTA 0.1 M). El homogenizado fue centrifugado a 17,200 g por 20 min a 4 °C. El sobrenadante se utilizó como extracto crudo. Para la cuantificación de la actividad se mezclaron 2,750 µL de buffer de fosfato 0.1 M (pH 7.8), 100 µL guayacol al 1% (v/v), 100 µL de H₂O₂ (0.46%) y 50 µL de extracto crudo. Una unidad de POD fue definida como el incremento de absorbancia de 0.01 min⁻¹ a 470 nm. Reportándose como UA/mg de proteína.

c. Evaluación de la actividad de ascorbato peroxidasa (APX)

La actividad de APX fue determinada con el mismo extracto utilizado en la evaluación de la actividad de POD, siguiendo el método descrito por Jiménez y col. (1997) con algunas modificaciones. La mezcla de reacción contenía 969 µL de amortiguador de fosfato de potasio (40 mM, pH 7.0), 5 µL de L-ácido ascórbico (0.1 M), 1 µL de H₂O₂ (0.1 M) y 25 µL de extracto enzimático para un volumen total de 1 mL. La actividad de APX fue expresada como UA/mg de proteína. El cambio en la

concentración de ácido ascórbico se calculó basándose en el coeficiente de extinción de 2.8 mM⁻¹cm⁻¹ a 290 nm.

12. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño estadístico de 2 factores completamente al azar, los cuales fueron el tratamiento aplicado con cuatro niveles (control, tratamiento hidrotérmico, cloruro de calcio, tratamiento hidrotérmico-cloruro de calcio) y los días de almacenamiento a 12 °C con seis niveles (0, 4, 8, 12, 16, y 20). Para el análisis de carotenoides totales el factor días de almacenamiento constó de tres niveles (0, 8 y 16). Se utilizaron 9 frutos como unidad experimental y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Fisher con un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$), con la ayuda del software Statgraphics plus 5.1 (Statistical Graphics, Warrenton, VA, USA) para Windows.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Calidad poscosecha

1. Pérdida de peso

La pérdida de peso es un fenómeno que repercute directamente en la calidad de las frutas y hortalizas. Un porcentaje alto de pérdida de peso deprecia el valor del fruto de papaya debido a que afecta su apariencia al presentar una superficie arrugada (Almeida-Castro y col 2011). Así también, la papaya se comercializa por unidad de peso y la pérdida del mismo resulta en menores ingresos (Barrera-Bello y col 2012).

En la Figura 2 se puede observar un incremento en la pérdida de peso de los frutos de papaya de los cuatro tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento a 12 °C. Al día 4 todos los frutos habían perdido un 2% de peso, mientras que una pérdida de aproximadamente 10-14% se observó al finalizar el almacenamiento. Este comportamiento es debido a la eliminación de agua causada por los procesos de transpiración y respiración, los cuales aumentan durante el almacenamiento en frutos climatéricos como papaya, mango y plátano, provocando cambios estructurales, bioquímicos y organolépticos en el fruto disminuyendo su comercialización (Acosta-Ramos y col 2001). El ablandamiento del tejido provocado por los cambios estructurales que producen la pérdida de peso en los frutos de papaya son debidos a la degradación de los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, por acción de enzimas como la pectinesterasa y la

poligalacturonasa, provocando además la pérdida de agua de los tejidos y por consecuencia el peso del fruto (Achipiz y col 2013).

Los resultados mostraron que los frutos tratados con agua caliente (TH y TH-Ca) presentaron la menor pérdida de peso el día 20 de almacenamiento, pero solamente el tratamiento combinado TH-Ca mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los frutos control y a los tratados con calcio. Estos resultados son congruentes con los reportados por Castellano y col. (2005) quienes no observaron diferencias significativas entre los tratamientos control y TH-Ca (45 °C, 2%) los primeros 12 días de almacenamiento a 20 °C en frutos de guayaba. Así mismo, concuerdan con lo reportado por Torres y col. (2009) quienes observaron un mayor porcentaje de pérdida de peso al final del almacenamiento en los frutos de atemoya sin tratar a diferencia de los frutos tratados con la combinación hidrotérmico-calcio. Esto puede deberse a que el tratamiento hidrotérmico (TH) ejerció un efecto directo sobre las ceras epicuticulares de los frutos de papaya, las cuales al volverse más fluidas cubren las microheridas y estomas, disminuyendo la transpiración y la pérdida de peso (Ayón-Reyna y col 2017; Corrales y Umaña 2015). Además, el calcio es un ión implicado en la apertura y cierre estomático; si la concentración de calcio alrededor de las células oclusivas aumenta, la conductancia estomática disminuye y promueve el cierre de los estomas (Salazar-Irribé y Gamboa-de Buen 2013; Lara y col 2004).

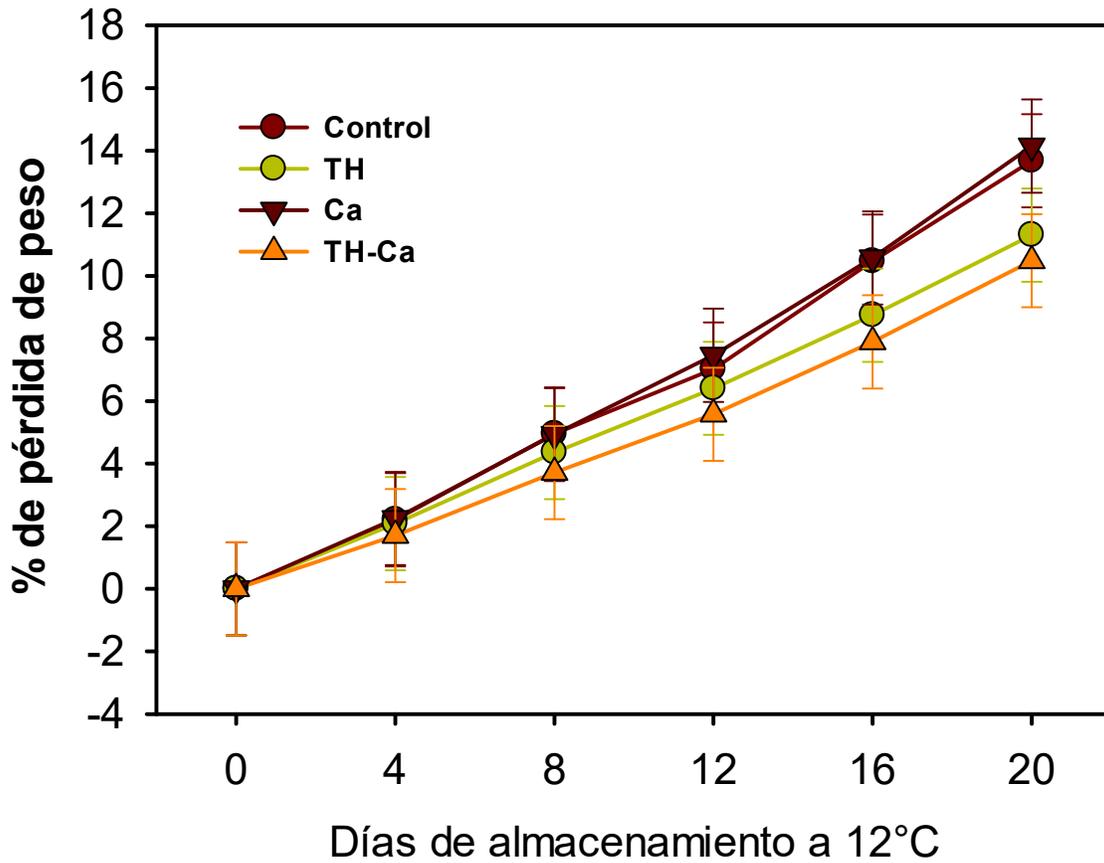


Figura 2. Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el porcentaje de pérdida de peso en frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD=1.4889 ($\alpha=0.05$).

Shafiee y col (2010) mencionaron que la aplicación combinada de un tratamiento hidrotérmico (45 °C) y cloruro de calcio (1%) ayudaba a prevenir en mayor medida la pérdida de peso en frutos de fresa comparado con la aplicación de manera individual. Los autores sugieren que puede deberse a que la aplicación del tratamiento hidrotérmico en combinación con cloruro de calcio permite la introducción de los iones exógenos al interior de las células del fruto disminuyendo la actividad metabólica, la respiración y la transpiración. Así mismo, Corrales y Umaña (2015) reportaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico a 49 °C por 20 minutos no evitó la pérdida de peso en frutos de papaya, pero la aplicación del hidrotérmico en combinación con otros tratamientos (aceites esenciales y quitosano) si lo hizo. Un comportamiento parecido fue observado en guayaba, al aplicar agua caliente a 45 °C por 5 min en combinación con cloruro de calcio al 2% por 5 min, resultando en una menor pérdida de peso respecto a los frutos control (Castellano y col 2005).

Por su parte, De Faria y col. (2003) y Arina y col. (2010) no encontraron diferencias significativas en la pérdida de peso entre frutos de papaya inmersos en agua caliente a 49 °C por 20 min y 40 °C por 10 min, respectivamente en comparación con los frutos control.

2. Color externo

El color de los frutos es quizás el primer atributo que el consumidor valora cuando determina la apariencia y la calidad de un producto, y por tanto va a condicionar su aceptabilidad. Una apariencia natural siempre será evaluada positivamente, mientras que un color extraño o inesperado suele ser interpretado en términos de deterioro o manipulación inadecuada de las frutas y hortalizas. El color

es determinado por los pigmentos naturales del producto tales como: clorofilas, carotenoides y antiocianinas, o por pigmentos que resultan de reacciones enzimáticas y no enzimáticas (Santamaría-Basulto y col 2009^b ; Ruiz y col 2005).

a. Luminosidad (L*)

En color, L* representa la brillantez del fruto y varía de 100 para el blanco a 0 para el negro (Herrera y col 2013). En los resultados obtenidos se pudo observar que los valores de luminosidad al día inicial del periodo de almacenamiento estuvieron entre 46 y 47 para los frutos de papaya de los cuatro tratamientos; así mismo, dichos valores fueron cambiando para cada uno de los tratamientos conforme avanzaron los días de almacenamiento. En general, los valores de luminosidad que presentaron las cáscaras de papayas de los tratamientos control, TH, Ca y su combinación (TH-Ca) aumentaron durante el tiempo de almacenamiento a 12 °C (Figura 3). Dichos resultados concuerdan con Sañudo-Barajas y col. (2008) quienes observaron que el valor de L* incrementó durante el periodo de almacenamiento a 20 °C en la cáscara de frutos de papaya. Contrario a nuestros resultados, Hernandez-Muñoz y col. (2006) observaron que debido a la aplicación de cloruro de calcio al 1% en frutos de fresa los valores de luminosidad se mantuvieron durante el almacenamiento, obteniendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los frutos control.

Los valores más altos durante el almacenamiento (61-63) le correspondieron a los frutos control y Ca, mostando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con TH-Ca (57). Almeida-Castro y col. (2011) reportaron un valor de luminosidad de 60 al inicio del almacenamiento a 8 °C en frutos de papaya en estado de madurez de consumo que

incrementó en el sexto día como resultado de la maduración de los frutos. También, Zerpa-Catanho y col. (2017) reportaron un aumento en la luminosidad en frutos de papaya en estado de madurez 1, mientras que Santamaria-Basulto y col. (2009^b) reportaron un aumento en la luminosidad de la cáscara en frutos de papaya cv. Maradol en estado de madurez 2 durante el periodo de almacenamiento. Según Brasil y col. (2012) este aumento de la luminosidad en la cáscara del fruto de papaya está asociado con un proceso de maduración normal.

Durante el almacenamiento la combinación mostró valores menores de luminosidad. Esto puede ser debido a que el calor del hidrotérmico produce una pérdida en la síntesis y actividad de aminociclopropanocarboxilato (ACC) oxidasa por efecto principal en la disminución de ACC ARNm oxidasa, siendo esta enzima muy lábil al calor; al inhibirse ACC oxidasa se inhibe la síntesis de la hormona etileno retardando el proceso de maduración, evitando la pérdida de agua y oscurecimiento del fruto (Lurie 1998).

Aguayo y col (2015) reportaron que la aplicación de una combinación de tratamientos mantiene la luminosidad, encontrando diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los frutos de manzana tratados con hidrotérmico (48 °C por 2 min), ascorbato de calcio al 6% y la combinación (48 °C-6% por 2 min) en comparación con los frutos control durante 28 días de almacenamiento a 4 °C.

En contraste a los resultados obtenidos en esta investigación, los tratamientos TH, Ca y la combinación TH-Ca no presentaron ningún efecto sobre el parámetro de luminosidad durante el almacenamiento de frutos de fresa (Shafiee y col 2010).

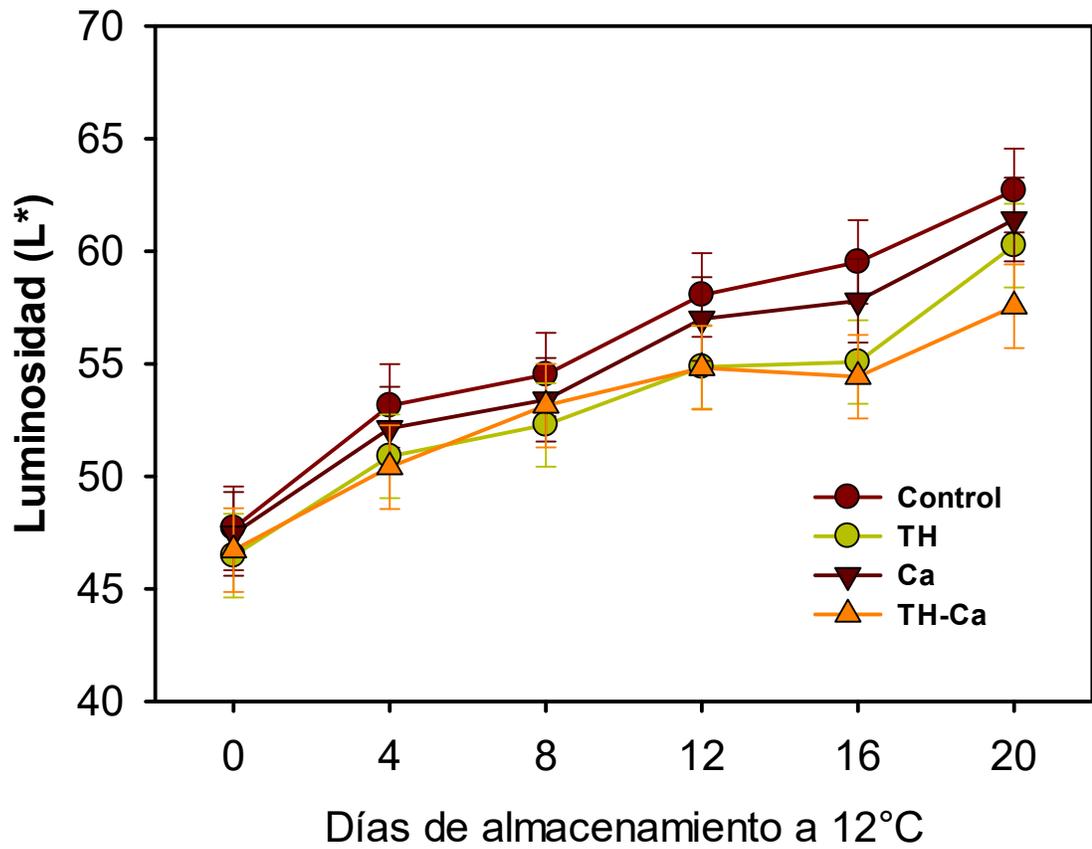


Figura 3. Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotermico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de luminosidad (L*) en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD= 1.8585 ($\alpha=0.05$).

b. Valor croma (C*)

En el círculo cromático, el croma cambia del centro hacia la periferia. Los colores en el centro son grises o apagados y conforme avanza hacia la periferia se vuelven más saturados (vivos). En la fruta de papaya se registra un incremento en los valores de croma conforme avanza la maduración y se pueden retardar por efecto de distintos tratamientos (Lovera y col 2013).

El valor croma de los frutos control tendió a aumentar conforme avanzó el periodo de almacenamiento (Figura 4). El valor inicial de los frutos control fue de 32.6 y alcanzó al final del almacenamiento un valor cercano a 50. Este cambio en la saturación del color es mediado por la biosíntesis de carotenoides y la degradación de clorofilas, eventos regulados parcialmente por el etileno en los frutos climatéricos (Sañudo-Barajas y col 2008).

En la figura se puede observar un incremento en los frutos tratados con calcio durante el almacenamiento; sin embargo, los valores fueron estadísticamente menores ($p \leq 0.05$) a los del control los días 4 y 8. Los frutos que lograron retardar el cambio de croma y por ende el proceso de maduración fueron los tratados hidrotérmicamente (TH y TH-Ca). Estos tratamientos mantuvieron constantes los valores de croma (entre 27 y 30) durante los primeros 16 días de almacenamiento seguido de un incremento al día 20 (valor cercano a 40), y a pesar de que TH tuvo valores ligeramente mayores que la combinación no se mostraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre ambos durante todo el almacenamiento.

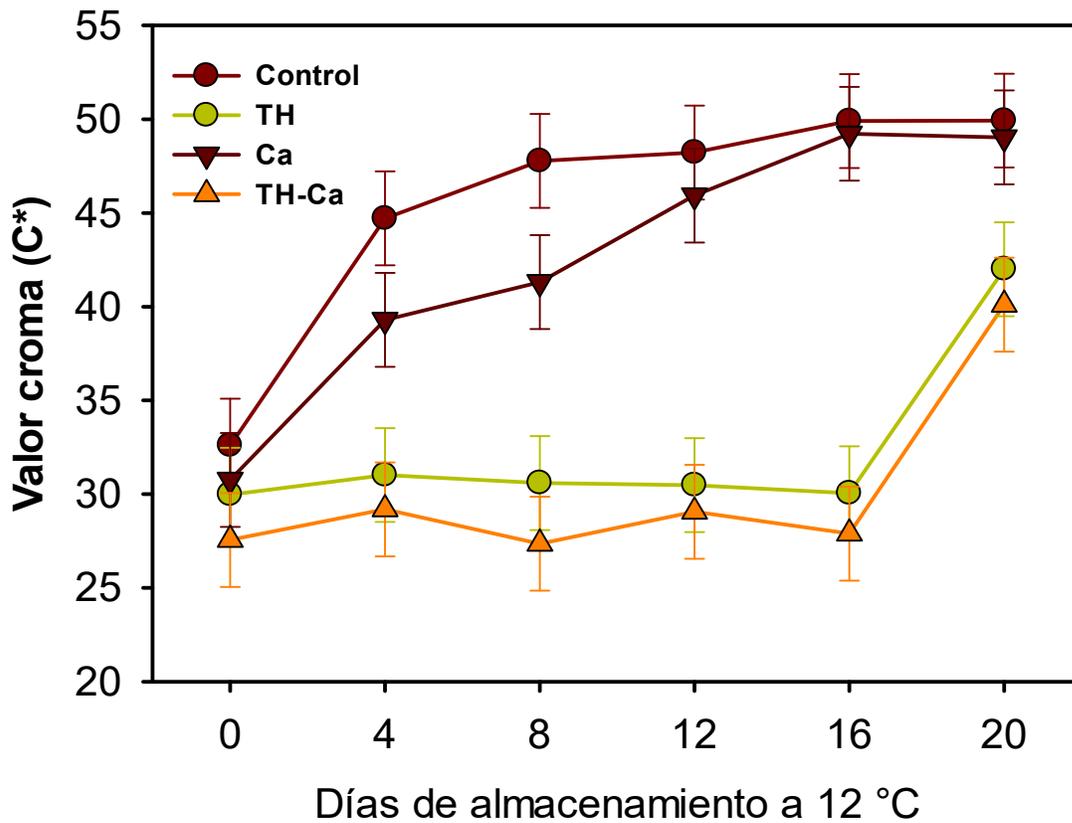


Figura 4. Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de Croma en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD= 2.5022 ($\alpha=0.05$).

Se ha observado que la inmersión de manzana en una solución conteniendo cloruro de calcio (5 g/L) favorece la estabilización del color de los frutos al retrasar los cambios en el color de la superficie (Soliva-Fortuny y col 2002). Así mismo, Dong y col. (2000) reportaron que el tratamiento de lactato de calcio (1%) mantenía el color en frutos de pera cvs. Bosc y Bartlett durante su almacenamiento por 30 días a temperaturas de 2-5 °C. En nuestro estudio este efecto sólo se observó los primeros 8 días.

Caleb y col (2016) reportaron diferencias significativas entre frutos de fresa tratados hidrotérmicamente a 45 °C por 5 min y los frutos control durante el tiempo de almacenamiento. Por su parte, Sharma y col. (2013) observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre frutos de manzana tratados con la combinación TH y Ca (42 °C y 1% por 2 min) y los frutos control. La combinación de tratamientos favoreció la retención del color por más tiempo al igual que lo observado en este estudio.

c. Valor Hue (H°)

Los cambios en el color expresado como ángulo hue se muestran en la figura 5. Al inicio del almacenamiento, los valores del ángulo hue se situaron en el cuadrante verde amarillo, donde los resultados tendieron más al tono verde. A partir del día 4, los ángulos de los frutos tratados con calcio y el control tendieron a situarse en el cuadrante amarillo rojo, mientras que los frutos del tratamiento hidrotérmico y la combinación retuvieron el cambio de color hasta el día 16 de almacenamiento, lo anterior indica que a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, el color verde desapareció y el color amarillo fue cada vez más intenso.

Los frutos de los tratamientos control y calcio presentaron una disminución progresiva durante todo el almacenamiento, sin embargo, se observó diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre ellos a partir del día 12. Esta disminución se debe al cambio de color de verde a amarillo en la epidermis en respuesta al proceso de maduración natural del fruto, en el que gradualmente se degrada la clorofila y se da la formación de pigmentos carotenoides que aportan los colores característicos del fruto maduro (Barrera-Bello y col 2012; Almeida-Castro y col 2011). Estos resultados coinciden con lo reportado por Santamaria-Basulto y col. (2009^a) quienes encontraron una disminución en el tono del color de la cáscara en frutos de papaya cv. Maradol en estado de madurez 2 mostrando que los frutos fueron inicialmente verde-amarillo y cambiaron hacia el anaranjado-amarillo.

Los frutos tratados con TH y TH-Ca mantuvieron constantes los valores de Hue durante los primeros 16 días de almacenamiento, los cuales tendieron a disminuir al final; sin embargo, fueron estadísticamente mayores al control y al calcio desde el cuarto día de almacenamiento. Esto puede ser debido a que las temperaturas altas del hidrotérmico favorecieron una inhibición en la expresión de genes específicos de la maduración incluyendo a la licopeno sintasa (Lurie 1998). Ayón-Reyna y col. (2017) observaron que de manera general los valores H° de papaya disminuyeron con el tiempo de almacenamiento y el color de la piel cambiaba de ligeramente naranja con rayas verdes a completamente naranja al final del período. Así mismo, los autores reportaron que la fruta tratada con TH-Ca (48 °C-1%) mostraba los valores más altos de H° , resultando en una velocidad de cambio de color más lenta con diferencias significativas respecto a los frutos control.

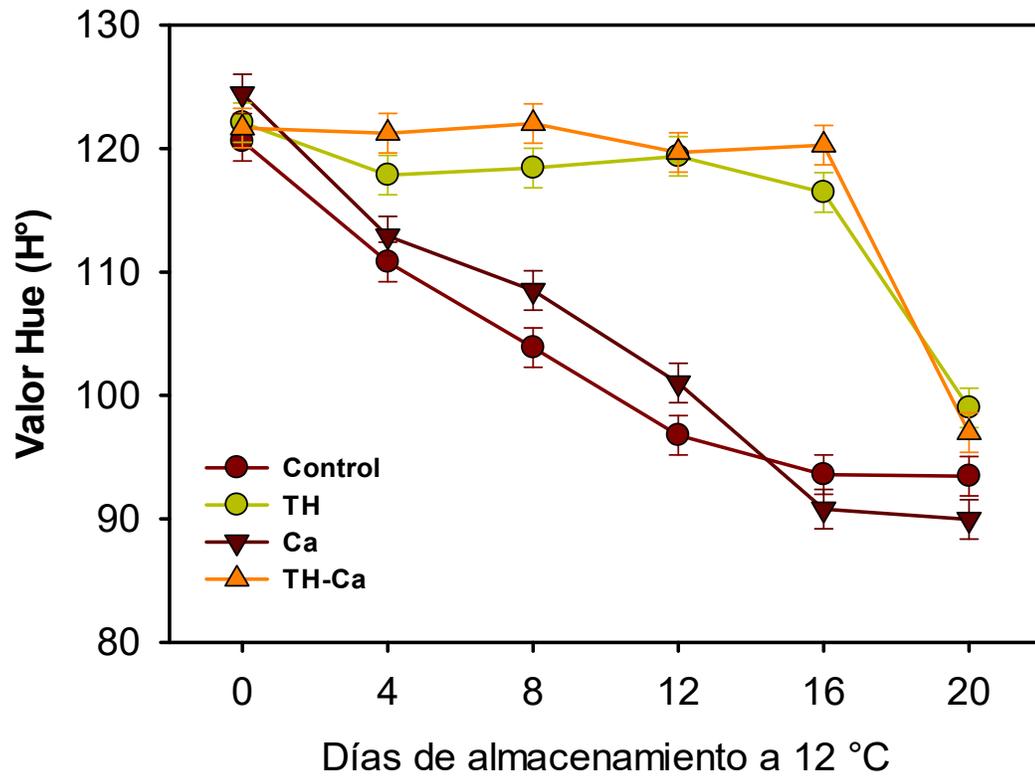


Figura 5. Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de ángulo Hue (H°) en cáscara de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD= 1.5469 (α 0.05).

Por su parte, Caleb y col. (2016) observaron diferencias significativas entre frutos de fresa tratados con agua caliente a 45 °C por 5 min en comparación con los frutos control. Mientras que por el contrario, Pérez-Rivero y col. (2003) no encontraron diferencias significativas entre los frutos de mango tratados hidrotérmicamente a 46 °C por 90 min en comparación con los frutos control, mencionando que presentaron la misma coloración en la cáscara a los 18 días de almacenamiento a 10 °C.

3. Color Interno

a. Luminosidad

La luminosidad en la pulpa de los frutos partió de valores entre 67 y 68 para todos los tratamientos y durante el almacenamiento estos valores se mantuvieron constantes para los frutos tratados con TH y TH-Ca, mientras que los frutos control y los tratados con Ca presentaron una disminución (Figura 6). Cabe señalar, que los frutos del tratamiento control fueron los que presentaron mayores cambios, volviéndose más oscuras las pulpas durante su almacenamiento a 12 °C. Estos frutos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con los frutos de todos los tratamientos, observándose menor luminosidad respecto a los tratamientos TH y TH-Ca desde el cuarto día, y respecto al tratamiento Ca a partir del octavo día.

El descenso en la luminosidad para los frutos puede deberse a la pérdida de humedad durante el almacenamiento mediado por la transpiración y por un aumento de la actividad respiratoria y enzimática que ocasiona pérdida de calidad por oscurecimiento oxidativo (Restrepo y Aristizabal 2010).

El mantenimiento constante de la luminosidad en los frutos tratados con TH y TH-Ca puede ser debido a que por efecto del estrés que genera el hidrotérmico en los frutos, aumenta la actividad de pectín esterasa lo que crea más sitios para la unión del calcio endógeno y exógeno, dando como resultado una fruta más firme evitando la pérdida de agua y retardando la pérdida de la luminosidad (Lurie y Klein 1992). Así mismo, una vez integrado el calcio en la célula por acción del hidrotérmico éste participa en la regulación del metabolismo intracelular y permeabilidad de membranas; se reconoce como un mensajero secundario en el citoplasma, el cual se une a proteínas conocidas como proteínas moduladoras de calcio, tales como calmodulina y la proteína kinasa (Sanders y col 2002). La proteína kinasa se encuentra en la membrana plasmática, la cual junto con el complejo calcio-calmodulina fosforila otras enzimas como la ATPasa, por lo que al calcio se le asigna un papel regulador del crecimiento y de la senescencia (Trujillo-Villagarcía y col 2006).

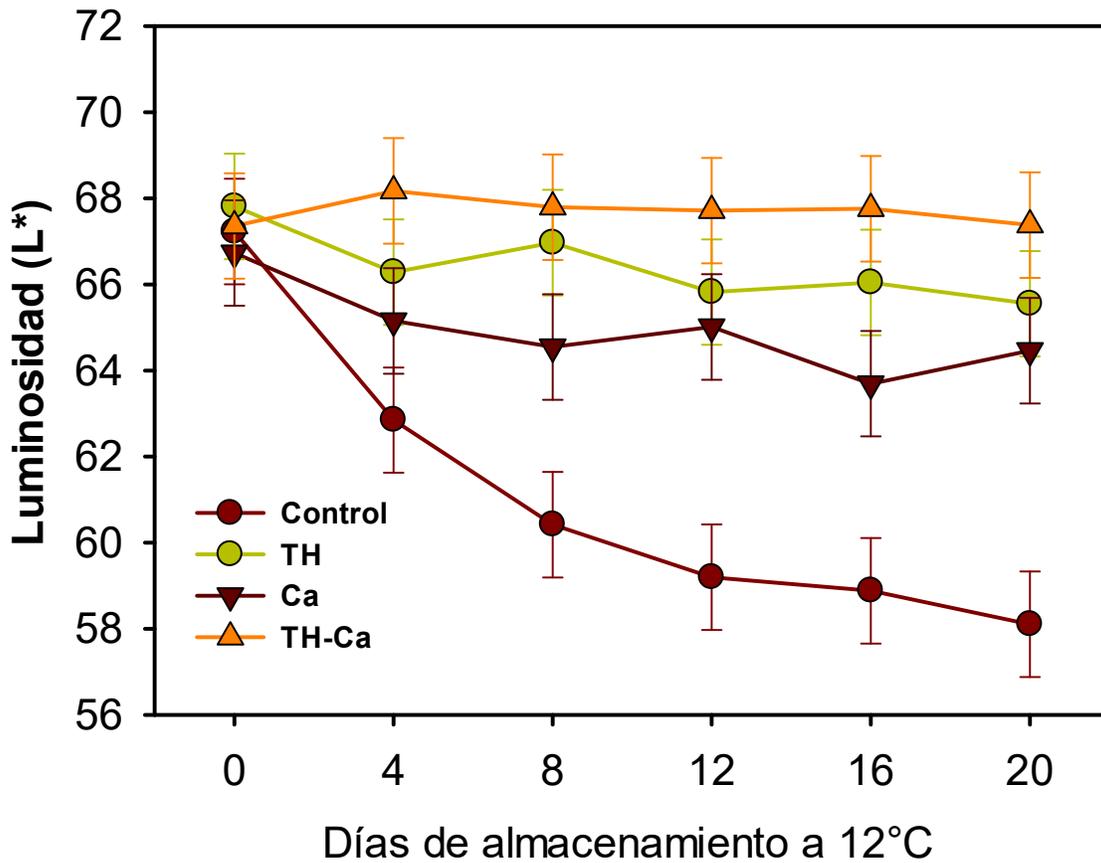


Figura 6. Efecto de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de luminosidad (L*) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD=1.1768 (α 0.05).

Dichos resultados son similares a los reportados por Santamaria-Basulto y col. (2009^a) quienes observaron una disminución en la luminosidad de la pulpa en frutos de papaya cv. Maradol en estado de madurez 2 durante el periodo de almacenamiento.

Para el caso del calcio, Leyva-López y col. (2011) observaron que los valores de luminosidad disminuyeron en papaya fresca cortada; sin embargo, los frutos que presentaron menor luminosidad durante el almacenamiento fueron los frutos control en comparación con los tratados con cloruro de calcio al 1.0 y 3.0% ($p \leq 0.05$). Por su parte, Albertini y col. (2016) señalaron que la aplicación de cloruro de calcio al 0.75% generaba diferencias significativas en la luminosidad de frutos de papaya fresca cortada en comparación con los frutos control durante su almacenamiento por 15 días. La luminosidad de los frutos control disminuyó a lo largo del tiempo de almacenamiento mientras que los frutos con el tratamiento mostraron valores más altos. Estos autores explican que se pudo deber a que el tratamiento formó una atmósfera en el fruto evitando la exposición al oxígeno, retardando la oxidación enzimática o pardeamiento de la pulpa, manteniendo el color amarillo anaranjado característico de la papaya.

b. Valor de Croma (C*)

Al inicio del almacenamiento no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en el parámetro croma; sin embargo, conforme avanzó el tiempo a 12 °C se pudieron observar valores mayores para los frutos control, mientras que los frutos tratados con TH, Ca y TH-Ca no mostraron diferencias significativas durante

todo el almacenamiento. Sólo los frutos tratados con Ca presentaron un incremento al final del almacenamiento, en comparación con los frutos tratados con TH y TH-Ca, los cuales se mantuvieron constantes. El valor inicial de croma fue de 40 para el tratamiento control, manteniéndose constante durante los primeros 12 días, finalizando el almacenamiento con valores de 44.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Albertini y col. (2016) en donde señalan un croma de 42 en la pulpa de frutos de papaya, además, observaron valores menores de croma en los frutos tratados con cloruro de calcio al 0.75% en comparación con los frutos control, obtenido diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante el almacenamiento a 5 °C por 15 días.

Así mismo, Shafiee y col. (2010) encontraron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico combinado con calcio generó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en comparación con el tratamiento control. Observando un mantenimiento contante del parámetro croma en los frutos de fresa tratados con la combinación.

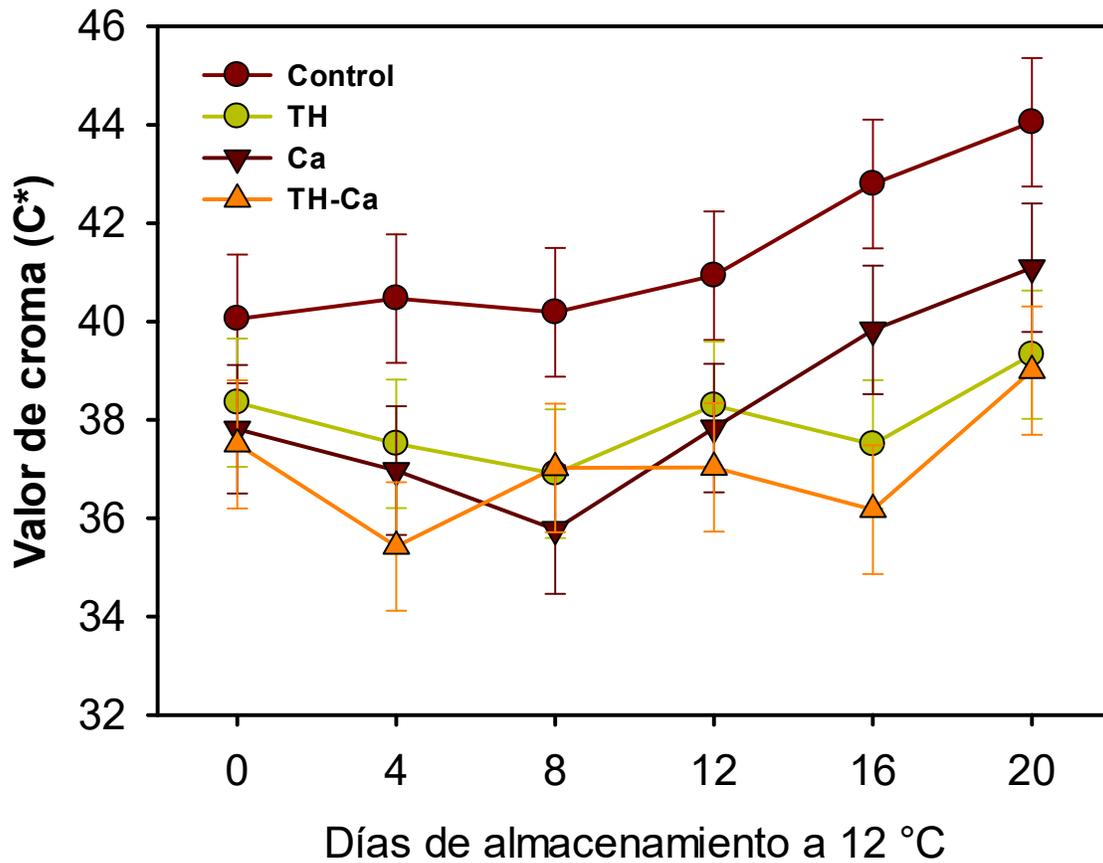


Figura 7. Efecto de La aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH), Calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre los valores de Croma (C*) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante el almacenamiento a 12 °C. Las barras verticales indican LSD= 1.3066 (α 0.05).

c. Valor Hue (H°)

Durante el almacenamiento, la pulpa de los frutos de papaya mostró disminuciones en el valor Hue (H°), sobre todo para los tratamientos control y calcio ya que fueron los tratamientos que presentaron los mayores cambios (Figura 8). Dichos resultados concuerdan con lo reportado por Bron y Jacomino (2006) quienes reportaron una disminución de H° en pulpa de papaya durante el almacenamiento.

Los frutos control presentaron 76° al día inicial, dicha cantidad disminuyó significativamente hasta valores de 63° para el día 8 lo que indica que el color amarillo predominó muy rápidamente en esos frutos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Santamaria-Basulto y col. (2009^b) quienes observaron el cambio del color de la pulpa amarillo-claro a amarillo-anaranjado desde el primer día de almacenamiento de papaya Maradol. La manifestación del color amarillo durante la maduración de papaya está relacionada con cambios en el contenido de pigmentos, principalmente por la degradación de la clorofila, como consecuencia de procesos oxidativos, así como por la síntesis, desenmascaramiento y predominancia de otros pigmentos como los rojos y amarillos (Umaña y col 2011).

En cuanto a los frutos tratados con calcio, el comportamiento fue similar a los frutos control, sin embargo, se observó un ángulo inicial de 74°, ese valor disminuyó con el paso del tiempo aunque en los últimos 12 días de almacenamiento presentó valores mayores que los frutos control, indicando que retardó el cambio de color de verde a amarillo. Leyva-López y col (2011) observaron previamente que la aplicación de cloruro de calcio al 3% en frutos de papaya cv. Maradol almacenados por 8 días a 5 °C tenía efectos significativos ($p \leq 0.05$) sobre el valor del ángulo H° respecto a los

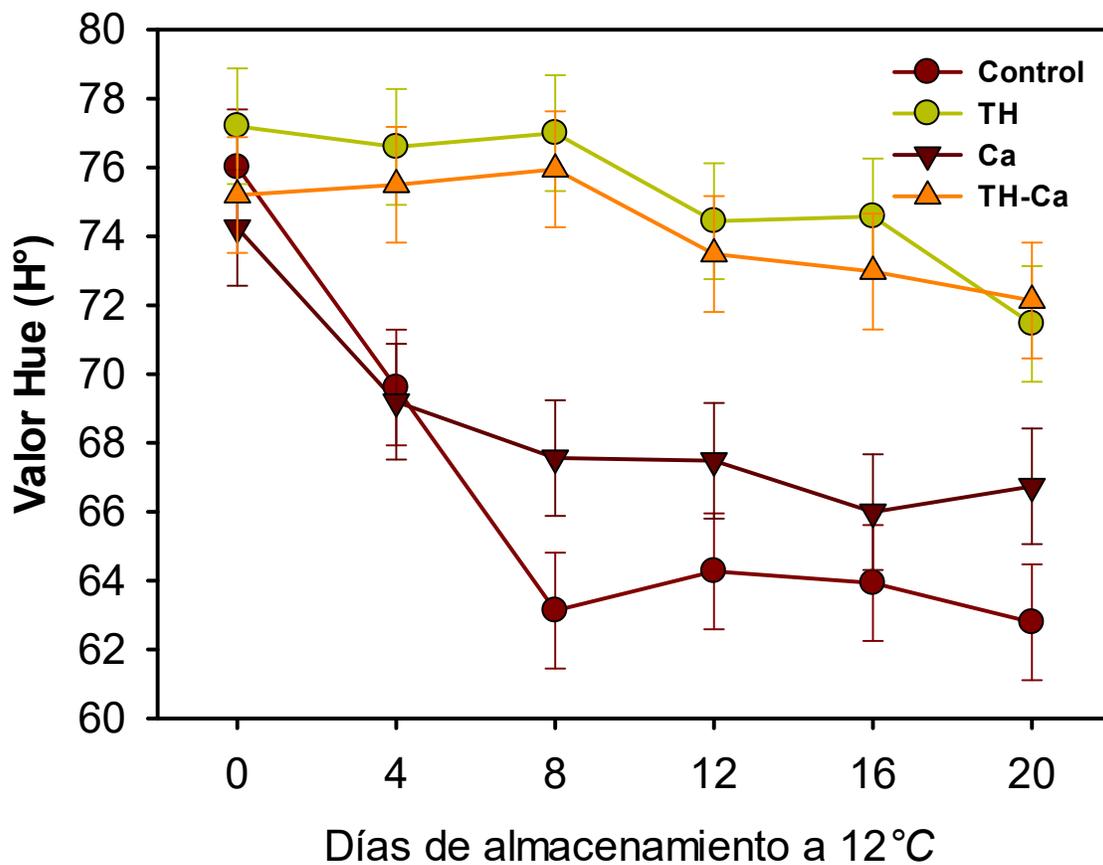


Figura 8. Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el valor de Hue (H°) en pulpa de frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 1.6811 (α 0.05).

frutos control. Esto puede atribuirse a la lenta velocidad de la respiración y la reducción en la producción de etileno, que conducen a una microatmósfera modificada en el interior de la fruta. Esto, a su vez, retrasa la velocidad de maduración y la senescencia de la fruta, lo que resulta en la reducción de cambio de color y la firmeza.

Durante el almacenamiento poscosecha los frutos tratados con TH tuvieron pequeños cambios en el ángulo H° donde se observó un valor inicial promedio de 77° , el cual disminuyó conforme avanzó el tiempo obteniendo un ángulo de 71° al finalizar el almacenamiento. Sin embargo, a pesar de esa ligera disminución no se mostraron diferencias significativas durante todo el almacenamiento con respecto a los frutos tratados con la combinación.

Los frutos que presentaron menores cambios en el tono de las pulpas de los frutos de papaya fueron los tratados con la combinación (TH-Ca) ya que el valor inicial (75°) se mantuvo constante durante todo el periodo de evaluación. Dicho resultado sugirió que el tratamiento TH-Ca tiene potencial para actuar como un método alternativo en la prevención de pérdida de color para el almacenamiento a largo plazo. Esto pudo ser debido a que la aplicación del tratamiento térmico y calcio interrumpe la síntesis normal de proteínas y enzimas como clorofilasas, probablemente en forma temporal (Shahkoomahally y Ramezania 2015).

4. Firmeza

La firmeza de los frutos de papaya de todos los tratamientos tendió a disminuir en diferente porcentaje para cada tratamiento durante el almacenamiento a 12°C

(Figura 9). El decremento de la firmeza en frutos de papaya es debido al proceso natural de maduración (Gayosso-García y col 2010).

Los frutos que presentaron las mayores pérdidas en los últimos días de almacenamiento fueron los del control. Al inicio se pudo observar un valor promedio de 65.9 N para estos frutos que fue disminuyendo considerablemente al paso del tiempo hasta 23.8 N al día 12, lo que representa una pérdida del 63% de firmeza. A partir de ese día la firmeza se mantuvo constante. Se pudieron observar diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con los frutos de la combinación (TH-Ca) en los días 8, 12 y 16 de almacenamiento con valores inferiores; así mismo los días 12 y 16 con los frutos tratados con calcio y TH. Esto es debido a que durante el proceso de maduración uno de los mayores cambios es la pérdida de firmeza, favorecida por la acción de enzimas como hidrolasas inducidas por el etileno, las cuales degradan hidratos de carbono poliméricos, principalmente péctinas y hemicelulosas, lo que debilita las paredes celulares y la fuerza con que se mantienen unidas las células (Zerpa-Catanho y col 2017; Almora y col 2004).

Cabe destacar que la fruta del tratamiento TH-Ca obtuvo los mayores valores de firmeza durante el almacenamiento. A pesar de que al día inicial todos los frutos presentaron valores de firmeza estadísticamente iguales, para el día 4 el tratamiento TH-Ca ya presentaba diferencias significativas con el tratamiento TH y

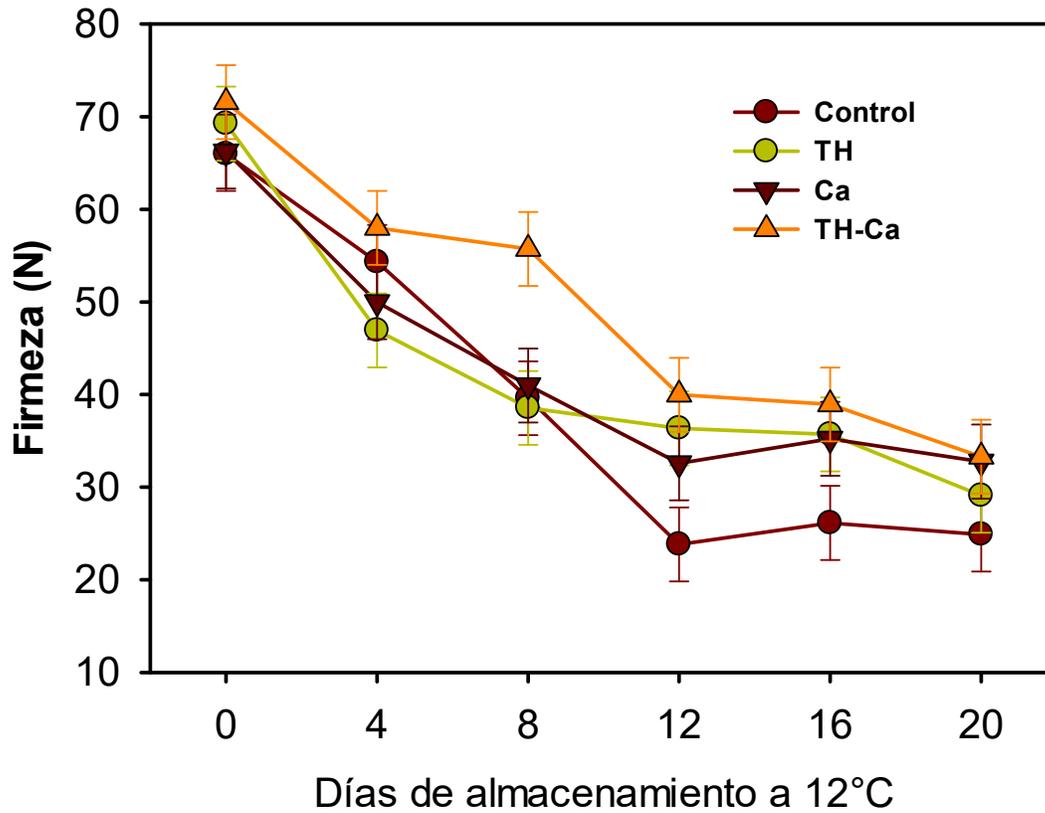


Figura 9. Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la firmeza de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 3.9952 (α 0.05).

para el día 8 registró un valor estadísticamente mayor al resto de los tratamientos. Esto sugiere que existe un efecto positivo al combinar el TH y Ca. Es posible que la enzima pectin metilesterasa (PME) se activara en respuesta a la alta temperatura, desmetilando pectinas de la pared celular y la lámina central, lo que puede haber favorecido la unión del calcio endógeno y exógeno con los grupos carboxilo libres, resultando en una menor actividad de poligalacturonasa, la cual está relacionada con la estructura de las paredes de la célula (Ayón-Reyna y col 2015; Núñez-Castellano y col 2012). Aguayo y col. (2008) y Silveira y col. (2011) han reportado que la combinación tratamiento hidrotérmico y calcio mejora o mantiene la textura, generalmente explicada en términos de la activación de PME por efecto del proceso térmico. También, la combinación de un tratamiento hidrotérmico y cloruro de calcio favoreció la retención de la firmeza en frutos de manzana mínimamente procesada, presentando diferencia significativa con los frutos control (López-López y col 2013). Además, Silveira y col. (2011) reportaron un efecto sinérgico al combinar un tratamiento hidrotérmico con sales de calcio, encontrando una mayor retención de la firmeza en melón fresco cortado en comparación con el no tratado.

Respecto al calcio, nuestros resultados concuerdan con lo señalado por Albertini y col. (2016) y Núñez-Castellano y col. (2012) en donde pudieron observar que frutos de fresa tratados con cloruro de calcio obtuvieron valores mayores de firmeza durante el tiempo de almacenamiento en comparación con los frutos control. Así mismo, Castellano y col. (2005) reportaron valores más altos de firmeza en frutos de guayaba inmersos en cloruro de calcio (2%) durante el almacenamiento a 20 °C. A su vez, concuerda con lo reportado por Chen y col. (2017) quienes reportaron

diferencias entre frutos de melocotón sin tratar y los frutos tratados hidrotérmicamente.

5. Sólidos Solubles Totales (SST)

Con la maduración, el contenido de sólidos solubles totales (SST) en los frutos de papaya tiende a aumentar (Santamaría-Basulto y col 2009^b). Este comportamiento se observó en los frutos de los cuatro tratamientos (Figura 12).

El contenido inicial de SST para los frutos control fue de 7.2 °Brix, dicho valor fue aumentando hasta obtener un promedio de 8.2 el último día de almacenamiento (Figura 12). El aumento en los SST obedece a la degradación de los carbohidratos de cadena larga, dentro de los que se destacan los polisacáridos de la pared celular, los cuales se degradan en azúcares simples que pueden ser utilizados como sustrato en reacciones metabólicas de respiración (Achipiz y col 2013). Estos resultados concuerdan con el reporte de Umaña y col (2011) donde señalan que el contenido de sólidos solubles totales en frutos de papaya cv. Pociquí estuvo comprendido entre 7.9 y 11.3 °Brix.

No se observaron diferencias significativas entre los frutos de los diferentes tratamientos durante el tiempo de almacenamiento a 12 °C. De manera específica, los frutos tratados hidrotérmicamente mostraron un comportamiento ascendente en el contenido de SST, lo cual puede deberse a que el calor del hidrotérmico pudo incrementar la actividad enzimática de sacarosa sintasa y sacarosa fosfato sintasa, lo que provoca el aumento en los contenidos de glucosa, fructosa y sacarosa provocando una acumulación de los mismos en los tejidos de los frutos (Gomez y col 2002).

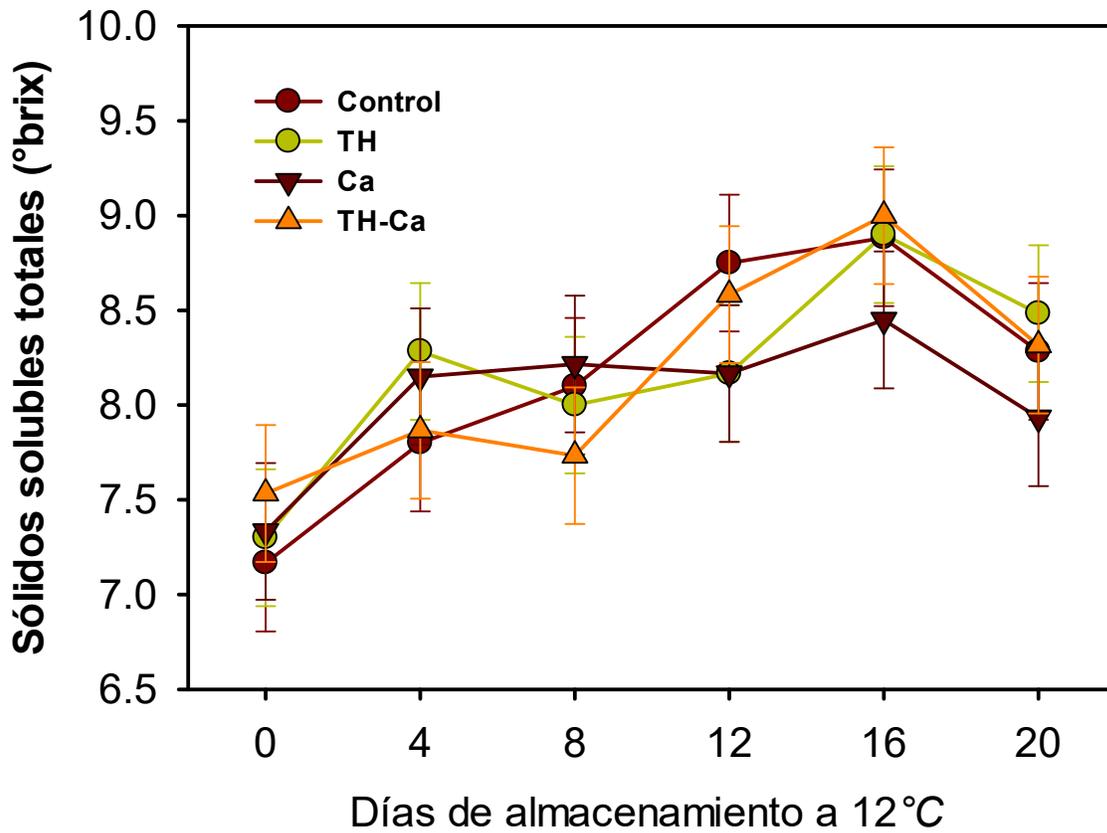


Figura 10. Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 0.3282 (α 0.05).

Por su parte, los frutos tratados con calcio presentaron un mantenimiento de los sólidos solubles totales durante el almacenamiento. Este mantenimiento puede atribuirse a que el calcio genera una barrera en la pared celular de los frutos, lo cual se relaciona con una menor tasa de respiración, retardando la síntesis y degradación de compuestos de reserva en el ciclo de Krebs, que en el caso de la papaya son los azúcares y los ácidos orgánicos predominantes en el fruto (Achipiz y col 2013).

La combinación de tratamientos mantuvo los SST por 8 días, posteriormente se observó un aumento hasta el día 16 para cerrar con una disminución el último día de almacenamiento. El descenso al final del almacenamiento se justifica por el consumo de sustratos en el metabolismo respiratorio de los frutos (Almeida-Castro y col 2011).

Los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado por Santamaria-Basulto y col. (2009^b) quienes reportaron un aumento en el contenido de SST en papaya Maradol durante el almacenamiento a 23 °C. También, Acosta-Ramos y col. (2001) observaron que en los primeros 10 días de almacenamiento los SST incrementaron en frutos de papaya Maradol producto de la hidrólisis de los polisacáridos. Posteriormente en los últimos días de almacenamiento se reflejó un descenso en el contenido debido a que los frutos adquirieron su madurez de consumo. Por su parte, Pinal y col. (2015) observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (50 °C) en conjunto con cloruro de calcio al 1% mantenía el contenido de SST durante el almacenamiento de frutos de chirimoya, observando menor contenido en los frutos de la combinación que en los frutos control.

Nuestros resultados no concuerdan con lo reportado por Hemmaty y col. (2007) quienes observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico-calcio en frutos de manzana no tuvo efecto sobre el contenido de SST.

6. pH

Durante la maduración de los frutos de papaya la concentración de ácidos orgánicos libres disminuye, por lo que puede influir en el aumento de la acidez de la pulpa y consecuentemente en el pH a medida que avanza el periodo poscosecha (Parra-Coronado 2014).

Los frutos de papaya de manera general presentaron un aumento en pH durante el almacenamiento por 20 días a 12 °C. El incremento es debido al consumo de los ácidos orgánicos utilizados como fuentes de energía durante el proceso de maduración de los frutos (Sañudo-Barajas y col 2008).

De acuerdo con la figura 10, los valores de pH estuvieron entre 5.8 y 5.9 para los cuatro tratamientos el día inicial del almacenamiento; estos valores aumentaron posteriormente finalizando entre 6.2 y 6.6, presentando diferencia significativa ($p \geq 0.05$) únicamente el día 16 entre los frutos tratados hidrotérmicamente y los frutos control, indicando que el tiempo de almacenamiento fue el factor que afectó el pH de todos los frutos.

El poco aumento del pH en los frutos de papaya durante el almacenamiento se puede explicar por la presencia de un sistema de autorregulación del pH, resultado del efecto amortiguador del ácido cítrico. Este ácido alifático tiende a

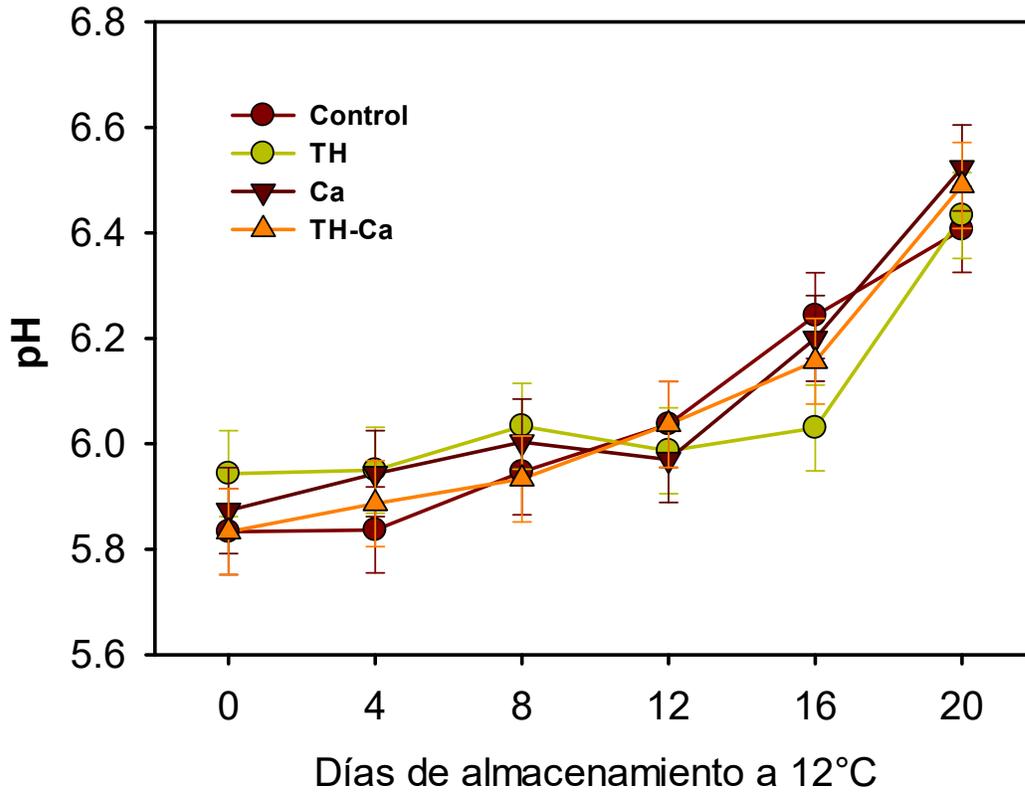


Figura 11. Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el parámetro de pH en los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 0.0814 (α 0.05).

convertirse en la sal correspondiente, dando como resultado el efecto amortiguador de la solución en la región de sus valores de pKa, disminuyendo la acidez (Torres y col 2013).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ayón-Reyna y col. (2015) quienes observaron un incremento de pH en los frutos de papaya mínimamente procesada tratada con hidrotérmico, cloruro de calcio y quitosano, durante 10 días de almacenamiento a 5 °C. Leyva-López y col. (2011) observaron que el pH incrementó en los frutos de papaya mínimamente procesada tratados con cloruro de calcio al 1.0% y lactato de calcio al 3.0%, así como para los frutos control; sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos durante el tiempo de almacenamiento. Resultados similares fueron obtenidos por Mahmud y col. (2008) quienes encontraron que los valores de pH en papaya tratada con cloruro de calcio al 1.5% se incrementaron durante el almacenamiento. Castellano y col. (2005) observaron que al comparar estadísticamente los valores de pH de los tratamientos evaluados (control, TH 45 °C, Ca 2% y TH-Ca 45 °C-2%) almacenados a 10 °C y 20 °C no existían diferencias entre ellos. Así mismo, los valores de pH incrementaron durante el tiempo de almacenamiento en frutos de guayaba.

Contrario a nuestros resultados, Brasil y col. (2012) observaron que los frutos de papaya tratados con cloruro de calcio al 1% se mantuvieron constantes en el contenido de pH durante 12 días de almacenamiento a 4 °C. Por su parte, Hemmaty y col. (2007) observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en frutos de manzana generaba valores más bajos durante todo el periodo de almacenamiento a diferencia de los frutos control en donde observaron un incremento prologando.

7. Acidez Titulable

El proceso de maduración de la papaya se debe en gran parte al consumo de ácidos orgánicos como ácido málico y cítrico en mayor proporción, así también, se debe al consumo de ácido galacturónico, tartárico, succínico y muchos otros ácidos orgánicos, ya que esta fruta no tiene reservas de almidón (Almeida-Castro y col 2011). Los ácidos orgánicos desempeñan un papel crítico en el desarrollo del aroma y sabor característico de los frutos, en el valor nutricional de los alimentos y en el metabolismo poscosecha; algunos son componentes esenciales en el ciclo de los ácidos tricarbónicos de la respiración y son una fuente de energía disponible que puede ser utilizada cuando otras fuentes se agotan (Parra-Coronado 2014).

Los cuatro tratamientos aplicados en papaya mostraron un comportamiento similar sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre ellos durante todo el almacenamiento (Figura 11). Los valores iniciales de AT oscilaron entre 0.049 y 0.050, y un aumento ligero no significativo se observó en el cuarto día de almacenamiento, lo cual puede ser explicado por la formación de ácido galacturónico en el proceso de degradación de la pared celular durante la maduración de la fruta (da Costa y Balbino 2002). Así mismo, en el climaterio ocurren reacciones relacionadas con la maduración y la senescencia es acelerada, por lo tanto la liberación de ácidos orgánicos de estas reacciones pueden conducir a un aumento en la acidez del fruto (Castricini 2009).

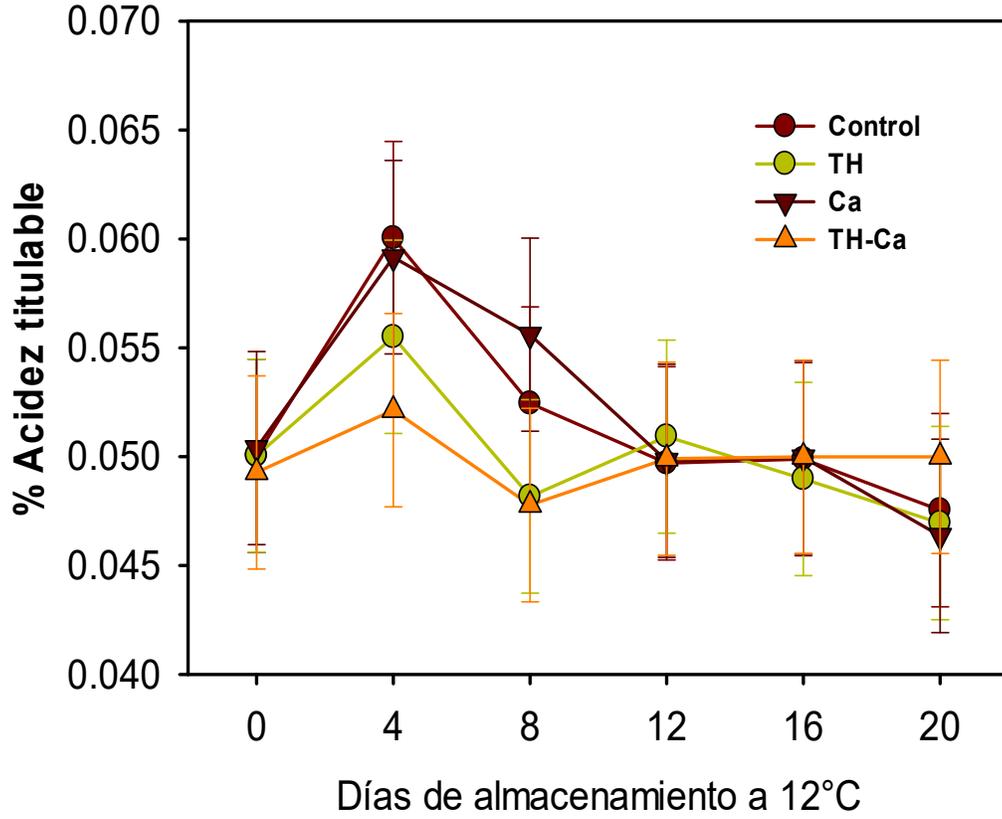


Figura 12. Efecto de los tratamientos TH, Ca y TH-Ca sobre el contenido de acidez titulable de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican $LSD=0.007439$ (α 0.05).

A partir del octavo día de almacenamiento se observó un mantenimiento en el contenido de AT en los frutos de los tratamientos hidrotérmico y la combinación, mientras que se presentó una disminución para el control y calcio sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos. El mantenimiento de la acidez puede ser debida a un retardo en el proceso de maduración, evitando que los ácidos orgánicos sean usados como sustratos en el proceso de respiración y fuentes de energía (Almora y col 2004). Un comportamiento similar fue reportado por Almeida-Castro y col. (2011) en frutos de papaya en los que se observó un mantenimiento en la acidez titulable conforme avanzaron los días de almacenamiento.

Para el caso de la disminución, ésta se asocia con la utilización de los ácidos orgánicos como sustratos durante la respiración del fruto como proceso natural de la maduración, siendo varios de estos ácidos componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos tricarbóxicos (Del Pilar-Pinzon y col 2007).

Los resultados de este estudio coinciden con lo reportado por Leyva-López y col. (2011) para frutos de papaya tratados con cloruro de calcio y con Shafiee y col. (2010) para frutos de fresa tratados con un tratamiento hidrotérmico (45 °C), cloruro de calcio (1%) y la combinación con respecto a los frutos control.

También, Castellano y col. (2005) reportaron que el porcentaje de acidez titulable de frutos de guayaba disminuyó a medida que se incrementó el tiempo de almacenamiento, mientras que Brasil y col. (2012) observaron que la combinación de los tratamientos quitosano, CaCl_2 y pectina mantenía la acidez titulable de papaya presentando un comportamiento decreciente durante el almacenamiento.

Por su parte, los resultados presentados en este estudio no concuerdan con lo reportado por Acosta-Ramos y col. (2001) quienes observaron un incremento del

ácido málico durante el almacenamiento poscosecha en los frutos de papaya Maradol.

B. Compuestos Bioactivos

Entre los beneficios que se han atribuido a los compuestos bioactivos está su papel como reductores del estrés oxidativo causado por los radicales libres que producen daño celular (Beserra-Almeida y col 2011). Las propiedades biológicas de las sustancias bioactivas dependen de su capacidad para reaccionar con los radicales libres y desarrollar capacidad reductora (Biesaski y col 2009). Los polifenoles y los carotenoides son los antioxidantes que comúnmente están presentes en frutas tropicales y también están asociados con la actividad antioxidante (Nieto y col 2016).

1. Ácido ascórbico

La vitamina C o ácido ascórbico (ÁA) es un potente antioxidante hidrosoluble que protege al cuerpo contra el estrés oxidativo debido a su capacidad de atrapar radicales hidroxilo y superóxido. Además, la vitamina C también está implicada en la síntesis de colágeno (Wall 2006).

En el primer día de almacenamiento la concentración de ácido ascórbico en los frutos fue de aproximadamente 55 ácido ascórbico (ÁA) mg/100 g de fruto fresco (gff) para todos los tratamientos, valor que tendió a disminuir conforme avanzó el tiempo de almacenamiento. Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por

Ayón-Reyna y col. (2015) quienes observaron que al comienzo de la evaluación, las rodajas de papaya mostraron valores entre 51.1 y 52.2 ÁA mg/100 gff; sin embargo, dichas cantidades disminuyeron conforme avanzó al tiempo de almacenamiento. También coinciden con Wall (2006) quien reportó un contenido de ácido ascórbico cercano a 50 ÁA mg/100 gff en 5 variedades de papaya. Por otra parte, no concuerdan con lo reportado por Marelli-de Souza y col. (2008) quienes encontraron un contenido de ácido ascórbico en frutos de papaya de 75.9 ÁA mg/100 gff mientras que Rivera-López y col. (2005) reportaron una cantidad de ácido ascórbico de 64.5 ÁA mg/100 gff en frutos de papaya.

Durante los primeros 8 días, los frutos control disminuyeron su contenido obteniendo un valor promedio de 42.25 ÁA mg/100 gff, el cual se mantuvo constante el día 16, durante el resto del almacenamiento volvió a bajar el contenido. Cabe destacar que los frutos control fueron los que presentaron las mayores pérdidas de ácido ascórbico durante el almacenamiento presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con los frutos tratados con calcio y con la combinación TH-Ca al final del almacenamiento (Figura 13). La disminución de ácido ascórbico puede deberse a que éste es fotosensible y muy inestable, pudiendo oxidarse fácilmente a la forma deshidroascórbica en presencia de luz o calor, y factores como el pH, la actividad de agua y la concentración de oxígeno aceleran la velocidad de esta reacción (Hernández y col 2014).

Los frutos tratados con TH presentaron un comportamiento descendente durante los primeros 12 días de almacenamiento, seguido de un comportamiento constante hasta el día 20, finalizando con un contenido promedio de vitamina C de 41.35 ÁA mg/100 gff. Este tratamiento no presentó diferencias significativas con

respecto al control y a pesar de que en los últimos días de evaluación se mostró ligeramente menor comparado con el tratamiento con calcio, la diferencia no resultó significativa durante todo el almacenamiento. Castellano y col. (2005) reportaron previamente que la vitamina C tendió a disminuir en frutos de guayaba a medida que incrementaba el tiempo de almacenamiento a 10 °C, obteniendo el valor mayor los frutos inmersos en agua caliente a 45 °C. Por su parte, Shahkoomahally y Ramezani (2013) observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico mantuvo el contenido de ácido ascórbico en frutos de kiwi en comparación con los frutos no tratados los cuales presentaron menores contenidos.

Los tratamientos Ca y TH-Ca presentaron un ligero descenso en el contenido de ácido ascórbico en los primeros 8 días, obteniendo las concentraciones más altas a partir del día 12 para mantenerse sin cambios el resto del almacenamiento. Sin embargo, solamente el tratamiento TH-Ca fue estadísticamente mayor que los tratamientos TH y control. Aghdam y col. (2013) observaron que la aplicación de cloruro de calcio en frutos de cereza permitió obtener un mayor contenido de ácido ascórbico en comparación con los frutos control. Por otro lado, Nuñez-Castellano y col. (2012) observaron una disminución en el contenido de ácido ascórbico a medida que avanzaba el tiempo de almacenamiento en los frutos control obteniendo diferencia significativa con los frutos de fresa tratados con Ca al 1%, lo cual puede ser atribuido a la conversión del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, disminuyendo la forma activa del ascórbico debido a los procesos de oxidación.

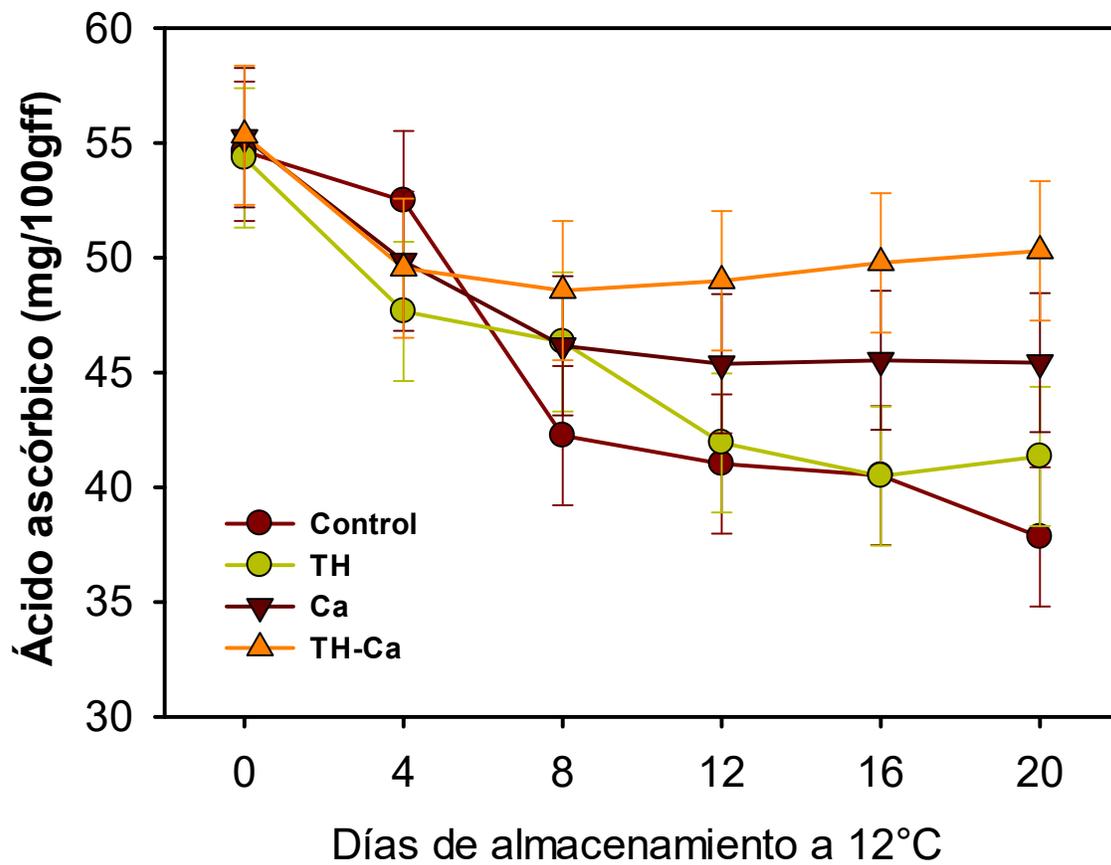


Figura 13. Efecto del tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de ácido ascórbico de los frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 3.0337 (α 0.05).

Acosta-Ramos y col. (2001) señalaron que al prolongarse la vida de anaquel durante 14 días de almacenamiento de los frutos de papaya cv. Maradol el contenido de ácido ascórbico de los frutos disminuía, lo cual podía deberse a la degradación del ácido ascórbico por proceso natural de la senescencia de los frutos.

La integración del calcio a las células debido a la acción del tratamiento hidrotérmico mejora la integridad de la pared celular, ya que interactúa con la matriz celular de la planta debido a la formación de enlaces entre las pectinas y otros componentes de la pared celular, esto reduce la permeabilidad del tejido y en consecuencia la lixiviación de vitamina C (Guiamba y col 2016). Aunado a esto, se ha observado que el uso del tratamiento hidrotérmico y el CaCl_2 favorece la estabilidad del ácido ascórbico presumiblemente como consecuencia de la inactivación de la enzima ascorbato oxidasa (Shahkoomahally y Ramezanián 2015; Aghdam y col 2013). Shafiee y col. (2010) pudieron observar que el contenido de ácido ascórbico en frutos de fresa no mostró diferencia entre el tratamiento hidrotérmico y calcio por sí solos, excepto en el tratamiento combinación en donde se mantuvo más alto el contenido de ácido ascórbico durante el tiempo de almacenamiento, observando diferencia con los frutos control.

2. Fenólicos Totales

La síntesis de fenólicos totales durante el periodo de almacenamiento puede deberse a la combinación en la activación de precursores derivados de las vías del shiquímico y del acetato (Cantillano y col 2012).

En la Figura 14 se puede observar que durante el almacenamiento los frutos de papaya mostraron un contenido inicial de fenólicos totales entre 42 y 50 mg EAG/100 gff. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Mahattanatawee y col (2006) quienes reportaron un contenido de 44.44 mg EAG/100 gff en frutos de papaya. Resultados similares fueron reportados por Siriamornpun y Kaewseejan (2017) señalando que en frutos de papaya cv. Hawaii en estado de madurez 4 el contenido de fenólicos totales fue de 42 mg EAG/100 gff. Por su parte, Patthamakanokporn y col. (2008) reportaron un contenido de fenólicos totales de 54 mg EAG/100 gff en frutos de papaya cv. Maradol.

Se obtuvo un comportamiento constante para los cuatro tratamientos durante los primeros 8 días de almacenamiento y a partir del día 12 se observó que los frutos tratados con la combinación empezaron a incrementar el contenido de fenoles hasta notarse un incremento significativo al final del almacenamiento (valores por arriba de 62 mg EAG/100 gff) en comparación con los primeros días de evaluación. A pesar de que los frutos del resto de los tratamientos mantuvieron un contenido de fenólicos constante durante todo el almacenamiento, el incremento en la combinación TH-Ca fue suficiente para que se observaran diferencias significativas con esos tratamientos a partir del doceavo día.

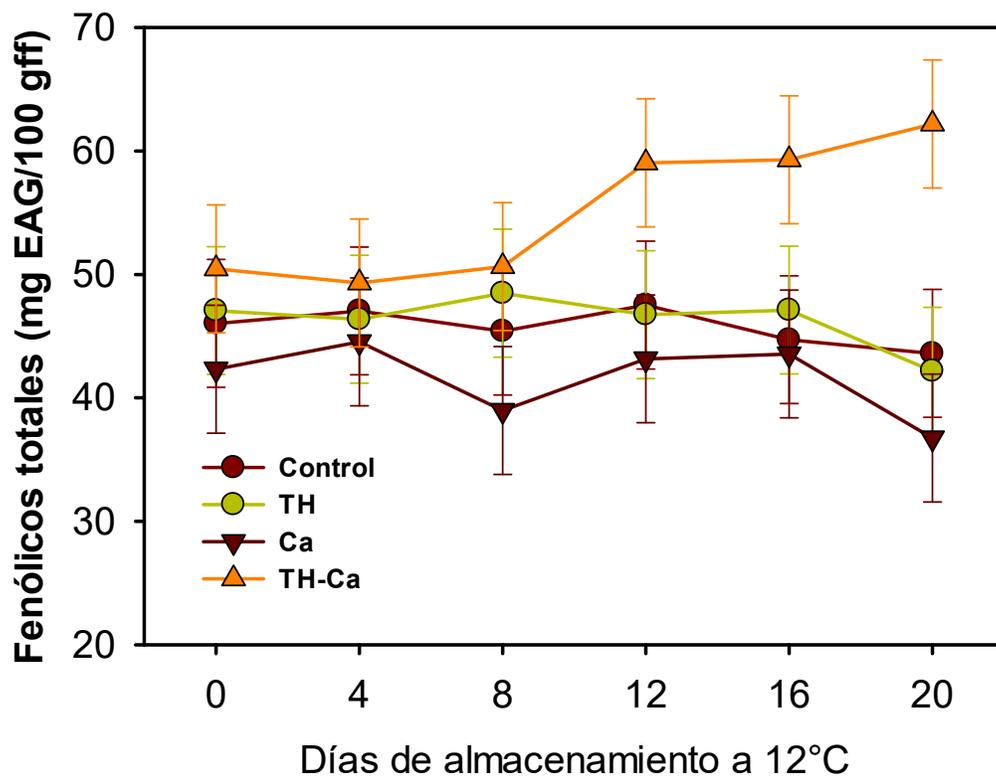


Figura 14. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de fenólicos totales en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD=5.1809 ($\alpha=0.05$).

Este incremento en el contenido de fenólicos totales que se presentó en los frutos tratados con la combinación TH-Ca pudo ser la respuesta del sistema antioxidante debido al estrés al que fue sometido el fruto mediante el calor del tratamiento hidrotérmico. Anudado a esto, dicho incremento puede ser debido al efecto positivo de la combinación de los tratamientos, manteniendo la integridad celular gracias al cloruro de calcio el cual evita el posible contacto de la enzima con su sustrato, ayudando a la disminución en la actividad de degradación de la enzima polifenoloxidasas manteniendo estable el contenido de compuestos fenólicos (Shahkoomahally y Ramezanián 2015).

Shahkoomahally y Ramezanián (2015) encontraron un aumento de fenólicos totales en frutos de kiwi tratados con TH-Ca mostrando diferencia significativa no sólo con los frutos control sino también con los tratamientos TH y Ca aplicados de manera individual, demostrando el efecto positivo de la combinación de tratamientos. Asimismo, Sharma y col. (2012) observaron una mayor cantidad de fenólicos totales en frutos de manzana tratados con una combinación de TH-Ca que en los frutos control y en los tratados individualmente con hidrotérmico y calcio.

Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Leyva-López y col. (2011) quienes no observaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en el contenido de fenólicos totales de los tratamientos con calcio (1% y 3%) con respecto a los tratamientos testigos en frutos de papaya mínimamente procesada mientras que no coinciden con los reportes de Pérez-Márquez y col. (2016) quienes señalaron un incremento en el contenido de fenólicos totales en los frutos de mango tratados hidrotérmicamente (53 °C por 5 min) durante el almacenamiento a 14 °C.

3. Carotenoides Totales

En la Figura 15 se observa el efecto de los tratamientos aplicados (control, TH, Ca y TH-Ca) sobre el contenido de carotenoides totales en frutos de papaya almacenados a 12 °C. La tendencia en los frutos control fue mantener valores casi constantes durante todo el almacenamiento. Sin embargo, el resto de los tratamientos (TH, Ca, TH-Ca) presentaron un aumento más pronunciado en el contenido de carotenoides. En general, los valores mayores correspondieron a los frutos de la combinación mientras que los valores menores fueron para los del control. La concentración inicial promedio fue de 9.46 a 13.21 mg de β -caroteno/100 gff, en el día 8 los valores oscilaron entre 11.89 y 20.54 mg de β -caroteno/100 gff, al día final del almacenamiento los valores oscilaron de 16.05 a 29.56 mg de β -caroteno/100 gff. Nuestros resultados no concuerdan con lo reportado por Nieto y col. (2016) quienes obtuvieron valores de carotenoides totales menores a los encontrados en esta investigación, los cuales estuvieron en un rango de 1.4 a 2.48 mg de β -caroteno/100 gff en frutos de papaya cv. Formosa. El aumento en el contenido de carotenoides totales puede deberse a que durante la maduración, la clorofila empezó a degradarse, coincidiendo con la síntesis de carotenoides lo que resulta en un aumento significativo del color amarillo-naranja. En algunas frutas tropicales, como la papaya, el color característico de los frutos es conferido por los carotenoides (Sancho y col 2011).

En los tratamientos hidrotérmico y cloruro de calcio no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) con respecto al tratamiento control. La combinación

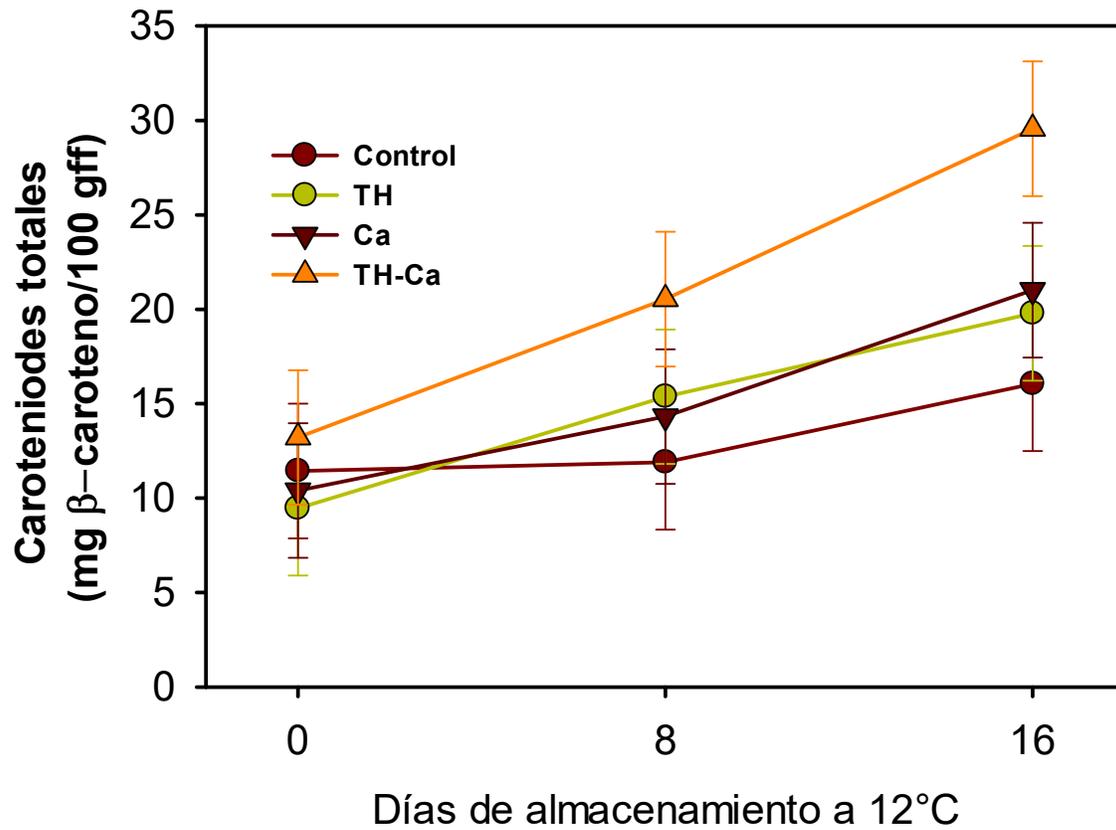


Figura 15. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre el contenido de carotenoides totales en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 16 días. Las barras verticales indican LSD= 3.5630 ($\alpha=0.05$).

de tratamientos (TH-Ca) mostró un contenido significativamente mayor (50%) en comparación con el control durante los días 8 y 16 de almacenamiento. De manera específica, los tratamientos individuales (hidrotérmico y calcio) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con la combinación únicamente el último día de almacenamiento.

Dutta y col. (2005) también reportaron que cuando los frutos están en estado de madurez avanzada su contenido de carotenoides disminuye o bien se mantiene constante, ya que los carotenoides al ser compuestos altamente insaturados son propensos a la isomerización y la oxidación, lo cual resulta en la pérdida de color y actividad biológica. Por otra parte, Glowacz y col. (2013) reportaron que el tratamiento hidrotérmico tiene un efecto positivo en el contenido de carotenoides totales en espinacas. Este comportamiento se debe a que la exposición de los frutos o las hortalizas a temperaturas elevadas no tiene efectos dañinos permanentes sobre la síntesis de carotenoides, lo que se comprueba cuando las frutas se transfieren a una temperatura baja y reinician rápidamente la síntesis de carotenoides (Vega-Espinoza 2010).

Según reportes, los tratamientos térmicos incrementan la actividad antioxidante total y la bioaccesibilidad del contenido de carotenoides en tomates (Dewanto y col 2002). Además, Ordóñez y col. (2009) reportaron que el tratamiento térmico de frutas y hortalizas mejora la biodisponibilidad de los carotenoides probablemente al disociar los complejos proteicos. Así mismo, mientras los frutos están expuestos al calor se promueve la expresión de genes de las enzimas que participan en la biosíntesis de carotenoides esto puede indicar el aumento en el

contenido de carotenoides totales durante el almacenamiento de los frutos de papaya (Ordóñez y col 2009).

Yahia y col. (2007) observaron un incremento en el contenido de carotenoides tanto en tomates tratados con aire caliente a 34 y 38 °C como en los tomates control (no tratados), sin embargo, las frutas tratadas a 34 °C tuvieron el contenido de carotenoides ligeramente más alto comparadas con las control y las expuestas a 38 °C. Esto sugiere que el control de la temperatura es un factor determinante en la retención de carotenoides ya que temperaturas adecuadas pueden mejorar su contenido y temperaturas demasiado altas pueden afectar negativamente.

C. Capacidad antioxidante

Durante el manejo poscosecha los frutos de papaya sufren daños, sobre todo mecánicos, que se traducen en un aumento del estrés oxidativo. Cuando este estrés aumenta se producen en la célula las llamadas especies reactivas de oxígeno (ROS) como el superóxido ($\cdot O_2^-$), el hidroxilo ($\cdot OH^-$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que, si no son eliminadas rápidamente, provocan daños celulares que pueden llegar a ser irreversibles. Para ello, los frutos disponen de un sistema antioxidante enzimático y de uno no enzimático que actuando de manera conjunta eliminan eficazmente estas ROS (Miranda-Ham y Castro-Concha 2009).

La determinación de la capacidad antioxidante de frutos de papaya tratados con TH, Ca y TH-Ca se realizó utilizando dos técnicas distintas, el método ABTS que

está generalmente indicado para evaluar la actividad antioxidante de compuestos hidrófilos y el método DPPH que es comúnmente utilizado para extractos acuosos con compuestos hidrófilos y lipófilos (Repo-De Carrasco y Encina-Celada 2008).

1. Método ABTS

Los valores de capacidad antioxidante encontrados al día inicial del almacenamiento variaron entre 282 y 286 μmol equivalente de trolox (ET)/100 gff para los ensayos con ABTS. A la mitad del almacenamiento los valores de capacidad antioxidante fueron de 283 a 300 μmol ET/100 gff y al finalizar el almacenamiento la capacidad antioxidante varió de 295 a 319 μmol ET/100 gff para los frutos de papaya de todos los tratamientos aplicados (Figura 16).

Durante el almacenamiento la capacidad antioxidante de los frutos de papaya tratados con calcio y los no tratados se mantuvieron casi sin cambios durante los 20 días; sin embargo, esta tendencia fue distinta para los frutos tratados hidrotérmicamente (TH y TH-Ca) ya que se observó un aumento en los valores correspondientes. Al final del almacenamiento se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la combinación TH-Ca y el resto de los tratamientos.

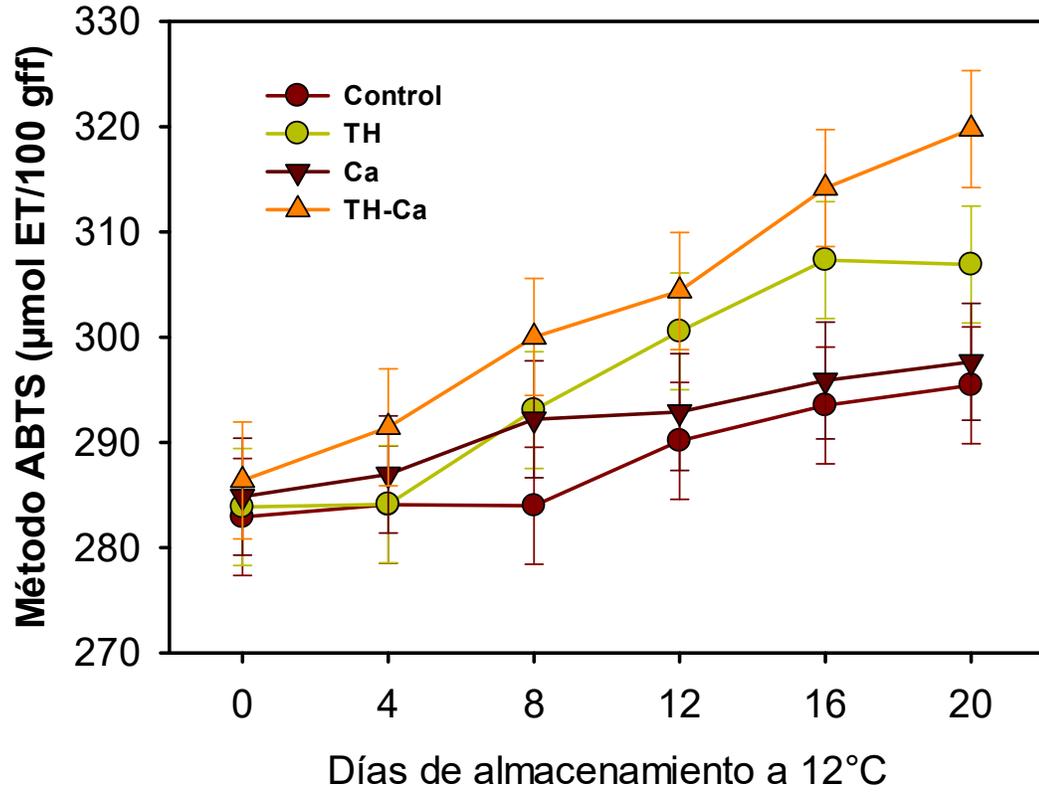


Figura 16. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la capacidad antioxidante obtenida por el método de ABTS en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD=5.5556 ($\alpha=0.05$).

Los frutos de papaya evaluados en este estudio presentaron una mayor actividad antioxidante (282 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$) en comparación con otros frutos como sandía (98 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$), pera cv. Honey (119 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$), nectarina (184 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$) y pitaya pulpa blanca (157 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$) (Chen y col 2014) también evaluados por el método de ABTS.

Los resultados de actividad antioxidante obtenidos en esta investigación son mayores a los encontrados por Leong y Shui. (2001) en frutos de papaya variedad Solo (141 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$), así como en frutos de papaya variedad Foot Long (72.5 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$) ambas en estado de madurez comercial.

2. Método DPPH

Durante el periodo de almacenamiento la capacidad antioxidante medida por el método de DPPH incrementó en los frutos tratados control, calcio, TH y la combinación durante los 20 días de almacenamiento (Figura 17).

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la combinación y el tratamiento control los días 16 y 20 de almacenamiento; por el contrario, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos control, hidrotérmico y calcio durante el almacenamiento. Con respecto, a los tratamientos individuales, no se observaron diferencias significativas entre los frutos tratados hidrotérmicamente y los tratados con la combinación; mientras que se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) únicamente el día 20 entre los frutos tratados con calcio y la combinación.

La concentración inicial de capacidad antioxidante estuvo entre 330 y 345 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$. Resultados menores fueron reportados por Beserra-Almeida y col. (2011)

quienes obtuvieron una capacidad antioxidante de 224 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$ en frutos de papaya. Por su parte, Gayosso-García y col. (2010) reportaron una actividad antioxidante por el método de DPPH de 116 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$ en pulpa de papaya cv. Maradol en estado de madurez 4 almacenada a temperatura ambiente.

Posteriormente, la actividad aumentó a valores entre 403 y 440 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$ el día 16 para finalizar el almacenamiento con actividades entre 425 y 454 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ gff}$.

El aumento de la capacidad antioxidante en los frutos puede ser una respuesta del efecto sinérgico de la combinación de los tratamientos, debido a que la temperatura del TH puede aumentar la velocidad de difusión del calcio en el tejido de los frutos mejorando su estructura, en adición a ello los tratamientos pueden aumentar la solubilidad de los compuestos bioactivos en el agua y el tejido de la papaya (Aguayo y col 2015; Aguayo y col 2008).

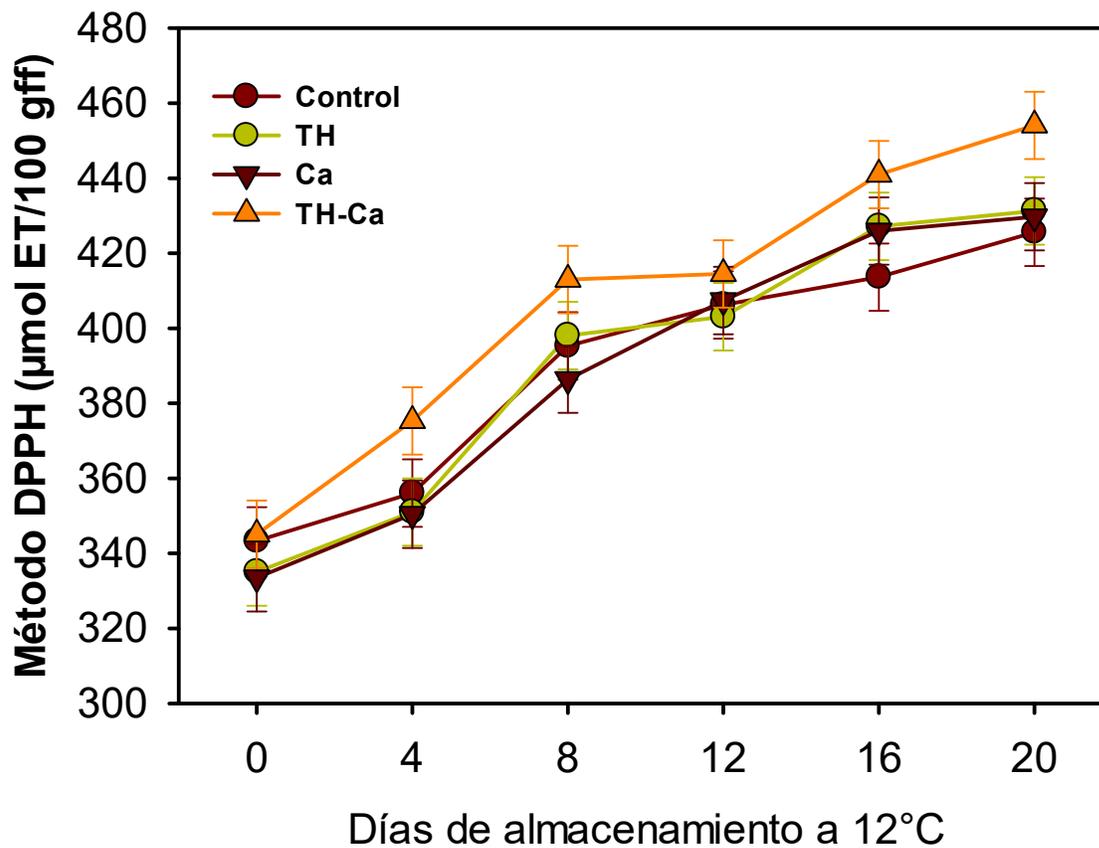


Figura 17. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la capacidad antioxidante obtenida por el método de DPPH en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican $\text{LSD}=7.6049$ ($\alpha=0.05$).

Resultados similares fueron observados por Oluwafemi y col. (2017) en donde la capacidad antioxidante determinada por DPPH fue aumentando durante el tiempo de almacenamiento sin presentar diferencias significativas entre los frutos de fresa tratados hidrotérmicamente y sin tratar.

Aguayo y col. (2015) reportaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en conjunto con ascorbato de calcio generaba una capacidad mayor para eliminar agentes oxidativos, presentando diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los frutos de manzana tratados con la combinación respecto al control.

Por su parte, Shahkoomahally y Ramezania (2013) reportaron que la combinación de tratamientos hidrotérmico y calcio favorecía una actividad antioxidante mayor en kiwi durante su almacenamiento, obteniendo diferencias significativas entre la combinación y los frutos control.

Aghdam y col. (2013) reportaron que la aplicación de CaCl_2 en frutos de cereza permitió obtener una capacidad antioxidante más alta en los frutos tratados en comparación con los frutos control.

D. Actividad enzimática

Las condiciones adversas a las que son sometidos los frutos, como el frío, la sequía y el calor a menudo conducen a un aumento de las concentraciones de especies reactivas de oxígeno (ROS) en las células vegetales. Con el fin de mantener niveles bajos de ROS, la célula tiene dos líneas de defensa que no son mutuamente excluyentes. La primera es la presencia de compuestos antioxidantes como ácido ascórbico y fenólicos totales los cuales son utilizados como sustratos de

las enzimas antioxidantes y la segunda es la acción de estas enzimas que eliminan a ROS, como peroxidasa (POD) y ascorbato peroxidasa (APX) que convierten el peróxido de hidrógeno en agua (Wouter y Saichol 2014).

1. Peroxidasa (POD)

La enzima peroxidasa (POD) controla los niveles de peróxidos que se generan en casi todas las células vivas por lo que su acción es muy importante para las plantas ya que evita el efecto perjudicial de los radicales libres (Mendoza y col. 2012).

De acuerdo a los resultados obtenidos, la actividad de POD se vio influenciada por los tratamientos aplicados ya que en los frutos control no se observaron cambios significativos con respecto al tiempo de almacenamiento, mientras que en el resto de los tratamientos se presentó un incremento en la actividad. Este aumento en respuesta a la exposición de la fruta a los tratamientos aplicados puede deberse a la activación de formas latentes o nuevas isoformas de peroxidases, solubilización de las que estaban unidas a la pared celular o por síntesis de novo presentes en las células de los frutos de papaya (Boonkorn 2016; Baquero-Duarte y col 2005; Lurie y col 1997).

Los frutos no tratados presentaron actividades mínimas y máximas de 0.1572 y 0.3070 UA/min-mg proteína durante los 20 días de almacenamiento a 12 °C (Figura 18). Por su parte, en los tratamientos hidrotérmico y calcio la actividad de la enzima se mantuvo sin cambios durante los primeros 12 días de almacenamiento con valores cercanos a 0.4 y 0.3 UA/min-mg proteína, respectivamente; sin embargo, a partir de ese día la actividad incrementó alcanzando su máximo al finalizar el

almacenamiento para los frutos tratados con hidrotérmico se observó un valor de 0.6016 UA/min-mg proteína y los tratados con calcio un valor de 0.5516 UA/min-mg proteína. En los frutos tratados con la combinación (TH-Ca) la actividad de POD fue aumentando a partir del 4to día de almacenamiento con un valor de 0.3711 UA/min-mg proteína, posteriormente se reflejó su actividad máxima el día 12 de almacenamiento con un valor de 0.8723 UA/min-mg proteína, el cual se mantuvo sin cambios notorios el resto del almacenamiento.

El análisis de estos comportamientos arrojó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la combinación y el resto de los tratamientos a partir del 8vo día de almacenamiento en comparación con el resto de los tratamientos. El tratamiento hidrotérmico presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los días 0, 4, 12, 16 y 20 respecto al control, para el caso del calcio se reflejaron diferencias los días 4, 16 y 20 en comparación con el control, entre los tratamientos TH y Ca se observaron diferencias únicamente el día 0 y 16.

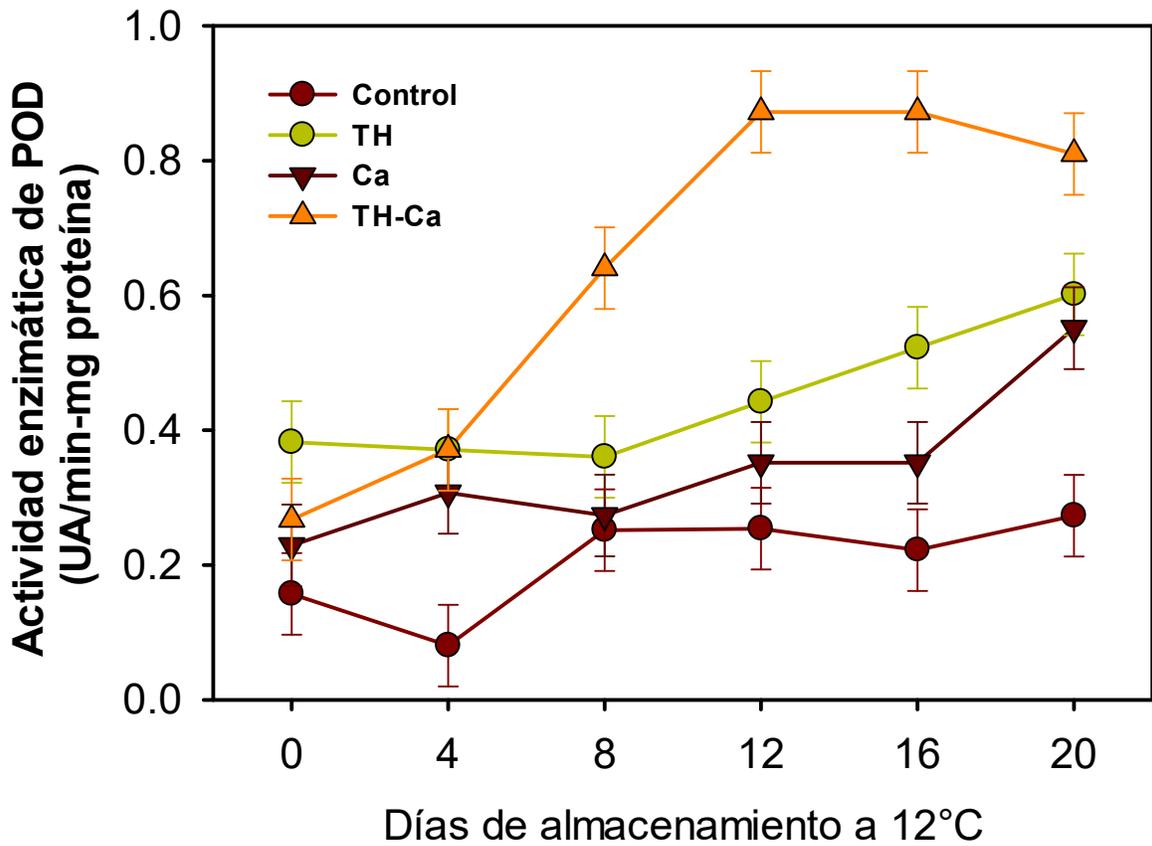


Figura 18. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la actividad enzimática de peroxidasa (POD) en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD=7.6049 ($\alpha=0.05$).

El aumento observado en los tratamientos puede estar asociado a la generación de un estrés oxidativo provocado por la exposición de los frutos a condiciones no favorables de temperatura, por lo que se puede generar una mayor liberación de POD al citoplasma incrementando su actividad (Ding y col, 2009; Altunkaya y Gokmen 2008). Así mismo, puede deberse a la lignificación en las paredes celulares de las frutas debido a que el CaCl_2 induce la reticulación de las cadenas de poligalacturonano formando una estructura que puede ser reconocida por isoperoxidasa (Bahgeri y col 2014).

Algunos reportes validan estas aseveraciones. El calentamiento a 40 °C en presencia de cloruro de calcio al 6% previo al almacenamiento de frutos de atemoya favoreció un aumento en la actividad de POD a partir del 6to día (Torres 2009). Además, frutos de limón tratados hidrotérmicamente (50 °C por 5 min) y almacenados a 10 °C presentaron un aumento en la actividad de peroxidasa a partir del día 10 alcanzando su punto máximo al día 20 para luego disminuir al día 30 (Opio y col 2017). Por su parte, Zhou y col. (2014) mencionaron que la aplicación del tratamiento hidrotérmico incrementaba la actividad de POD en frutos de naranja almacenados a 20 °C por 35 días mientras que Boonkorn (2016) indicó que la exposición de frutos de tomate al tratamiento hidrotérmico (35 y 40 °C) tuvo una influencia en la actividad de POD; señalando que a medida que la temperatura aumentaba la actividad enzimática también lo hacía. Así mismo, Ghasemnezhad y col. (2008) señalaron que a mayor temperatura aplicada (TH a 45 °C, 47.5 °C, 50 °C, 52.5 °C y 55 °C) a frutos de mandarina mayor resultaba la actividad enzimática de POD, obteniendo diferencias significativas entre los tratamientos en comparación con los frutos control.

Sin embargo, nuestros resultados no concuerdan con lo reportado por Goncalves y col. (2000) quienes mencionaron que los tratamientos aplicados TH-Ca (38 °C-2%), TH-Ca (40 °C-2%) por 10 y 20 min en frutos de piña mostraron una actividad significativamente menor de POD en comparación con los frutos control.

2. Ascorbato Peroxidasa (APX)

La enzima ascorbato peroxidasa (APX) está involucrada en el ciclo de ascorbato-glutati3n el cual utiliza ascorbato como donante de electrones, desempeña el papel m3s esencial en la captura de ROS es por ello que se utiliza como elemento esencial en la respuesta al estr3s oxidativo causado en las plantas (Ahmad y Yoshihiro 2014).

En la Figura 19 se muestra el comportamiento de la actividad de la enzima APX durante el periodo de almacenamiento de los frutos de papaya. En el d3a 8 la actividad para los frutos tratados hidrot3rmicamente y la combinaci3n fue de 0.09 y 0.11 UA/min-mg prote3na respectivamente, a partir de ese d3a se observ3 un aumento el cual persisti3 hasta finalizar el almacenamiento registr3ndose un valor de 0.16 y 0.20 11 UA/min-mg prote3na para TH y Ca, cabe se3alar que en el d3a 20 se registr3 la m3xima actividad de ascorbato peroxidasa. Este comportamiento fue diferente para los frutos tratados con calcio debido a que la actividad se mantuvo constante durante todo el almacenamiento, observ3ndose un valor de 0.12 UA/min-mg prote3na al inicio y al final del almacenamiento; sin embargo, en los frutos control la actividad m3xima de la enzima se present3 el d3a 8 con un valor de 0.13 UA/min-mg prote3na a partir de ese d3a se observ3 una disminuci3n hasta finalizar con un valor de 0.09 UA/min-mg prote3na el d3a 20.

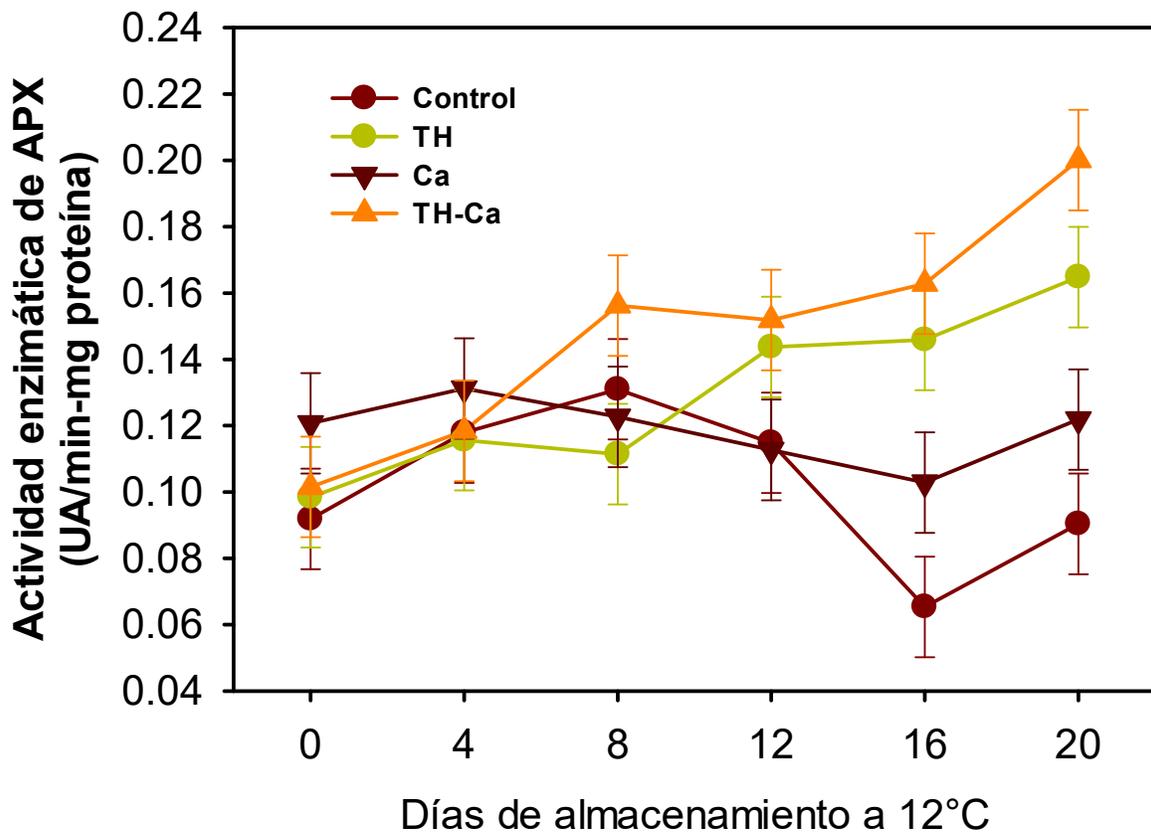


Figura 19. Efecto de los tratamientos tratamiento hidrotérmico (TH), calcio (Ca) y su combinación (TH-Ca) sobre la actividad enzimática de ascorbato peroxidasa (APX) en frutos de papaya cv. Maradol durante su almacenamiento a 12 °C por 20 días. Las barras verticales indican LSD= 0.01516 ($\alpha=0.05$).

Al inicio del almacenamiento todos los tratamientos presentaron actividades similares, sin embargo, a partir del día 12 se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la combinación y los frutos calcio y control, así mismo, en el día 16 y 20 se reflejaron diferencias ($p \leq 0.05$) entre el calcio y el control, por otra parte el tratamiento hidrotérmico generó diferencias el días 16 y 20 con respecto al control.

El aumento en la actividad enzimática de APX puede ser el resultado de una tolerancia térmica originada por el calor del hidrotérmico. Como resultado, el estrés moderado generado activó las vías de señalización celular y la respuesta celular, seguido por la producción de captadores de radicales de oxígeno tales como APX (Wang y col 2004). Así mismo, el estrés por calor puede afectar la capacidad de los sistemas biológicos para sintetizar proteínas, lo que resulta en la síntesis de un nuevo conjunto de proteínas especiales denominadas proteínas de choque térmico (HSP, del inglés Heat Shock Proteins) las cuales se manifiestan en la mayoría de los organismos vivos como inducción o síntesis mejorada de HSP. Se sabe que estas HSP evitan la desnaturalización y degradación irreversible de la proteína lo cual sería perjudicial a la célula, además de conferir tolerancia al calor (Ferguson y col 2000; Paull y Chen 2000).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Oliveira-Resende y col. (2012) quienes observaron que la actividad de APX evaluada en la pulpa de los frutos de papaya mostraba un aumento gradual para disminuir posteriormente.

Por otro lado, Shadmani y col. (2015) pudieron observar que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico de doble inmersión 42 °C durante 30 min y luego a 49 °C por 20 min en frutos de papaya cv. Franji aumentaba la actividad enzimática de APX evaluada durante el tiempo de almacenamiento a 12 °C obteniendo diferencias significativas con los frutos control. El aumento de la actividad de enzimas antioxidantes como APX inducidas por tratamientos térmicos puede proteger a la membrana celular contra el daño oxidativo producido por el estrés de enfriamiento.

VIII. CONCLUSIONES

El tratamiento TH-Ca fue efectivo para reducir la pérdida de peso, la pérdida de firmeza y para mantener el color externo e interno de los frutos de papaya almacenados a 12 °C.

Los niveles de pH, AT y SST se afectaron por el tiempo de almacenamiento y por los tratamientos aplicados en los frutos de papaya almacenados a 12 °C.

La aplicación de TH-Ca favoreció la retención del contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y carotenoides totales de papaya durante todo el almacenamiento a 12 °C.

Las frutas tratadas con TH-Ca presentaron una mayor actividad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH durante el almacenamiento a 12 °C de los frutos de papaya.

La combinación del tratamiento hidrotérmico y el cloruro de calcio aumentó la actividad enzimática de POD y APX en los frutos de papaya almacenados a 12 °C.

La aplicación de TH-Ca resultó efectiva para mantener las características de calidad y el contenido de compuestos bioactivos, así como una mayor actividad antioxidante y enzimática en frutos de papaya almacenados a 12 °C por 20 días.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se podría sugerir la aplicación del tratamiento hidrotérmico-cloruro de calcio (48 °C por 20 min; 1%, p/v) para mantener las características poscosecha de la papaya y el incremento de sus compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y enzimática. Este proceso representa una nueva alternativa de comercialización, que incluso podría aplicarse en otros frutos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Achipiz SM, Castillo AE, Mosquera SA, Hoyos JL, Navia DP. 2013. Effect of starch-based coating on the maturation of guava (*Psidium guajava*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 2: 92-100.
- Acosta-Ramos M, Nieto-Ángel D, Domínguez-Álvarez JL, Delgadillo-Sánchez F. 2001. Calidad y tolerancia en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación del hongo *Colletotrichum gloeosporoides* Penz., en poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7: 119-130.
- Adams MZ, Nasuri A. 2014. Application of hot water and temperature treatments to improve quality of keitt and nam doc mai mango fruits. *International Journal of Scientific & Technology Research* 3: 262-266.
- Aghdam MS, Dokhanieh AY, Hassanpour H, Fard JR. 2013. Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. *Scientia Horticulturae* 161: 160-164.
- 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.
- Ahmad P, Yoshihiro I. 2014. Role of Ascorbate Peroxidase in Postharvest Treatments of Horticultural Crops. *Oxidative Damage to Plants* 20: 425–451.
- 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.
- Alam M, Kaur B, Gupta K, Kumar S. 2013. Studies on refrigerated storage of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Agricultural Engineering International* 4: 275-280.

- Albertini S, Lai-Reyes AE, Moreno-Trigo J, Sarriés AG, Fillet MH. 2016. Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chemistry* 150: 1182-1189.
- Almeida-Castro A, Ries-Pimentel JD, Santos-Souza D, Vieira-de Oliveira T, da Costa-Oliveira M. 2011. Study of preservation of papaya (*Carica papaya* L.) associated with the application of edible films. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2: 049-060.
- Almora K, Pino JA, Hernández M, Duarte C, González J, Roncal E. 2004. Evaluation of volatiles from ripening papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol roja). *Food Chemistry* 86: 127-130.
- Altunkaya A, Gökmen V. 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* 3: 1173-1179.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Washington DC, USA.
- Aragaki M, Kimoto WS, Uchida JY. 1981. Limitations of hot water treatment in the control of Phytophthora fruit rot of papaya. *Plant Disease* 65: 744-745.
- Arana P. 2012. Extracción, Caracterización y Composición de Látex Obtenido, en Secado por Aspersión, de Tres Variedades de Papaya (*Carica papaya* L.). Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Consultado el 15 de marzo de 2016.
- Ardila H, Baquero B, Martínez S. 2007. Phenylalanine ammonium liase induction on carnation (*Dianthus caryophyllus* L) by elicitors from *Fusarium oxysporum* f. sp. Dianthi race 2. *Revista Colombiana de Química* 0120-2804.
- Argañosa AC, Raposo MF, Texteira P, Morais A. 2008. Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 2050-2060.

- Armstrong J, Follett P. 2007. Hot water immersion quarantine treatment against Mediterranean fruit fly and Oriental Fruit Fly (*Diptera Tephritidae*) and Larvae in Litchi and Logan Fruit exported from Hawaii. *Journal of Economic Entomology* 100: 1091-1097.
- Artés F, Gómez P, Aguayo E, Escalona V, Artés-Hernández F. 2009. Técnicas de saneamiento sostenibles para mantener la calidad y seguridad del corte en fresco. *Postharvest Biology and Technology* 51, 287-296.
- Arts CW, Hollman CH. 2005. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *American Journal of Clinical Nutrition* 81: 317-325.
- Asgar A, Mahmud M, Kamaruzaman S, Yasmeeen S. 2011. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry* 124: 620-626.
- Attipalli RR, Kolluru VC, Munusamy V. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161:1189-1202.
- Avena-Bustillos R. 1997. Tratamiento hidrotérmico. R. Báez (Editor) En: Manejo Postcosecha del Mango. México. Pp. 30-35.
- Ayón-Reyna LE, González-Robles A, Rendón-Maldonado JG, Báez-Flores ME, López-López ME, Vega-García MO. 2017. Application of a hydrothermal-calcium chloride treatment to inhibit Postharvest anthracnose development in papaya. *Postharvest Biology and Technology* 124: 85-90.
- Ayón-Reyna LE, Tamayo-Limón R, Cárdenas-Torres FI, López-López ME, López-Angulo G, López-Moreno HS, López-Cervantes J, López-Valenzuela JA, Vega-García MO. 2015. Effectiveness of hydrothermal-calcium chloride treatment and chitosan on quality retention and microbial growth during storage of fresh-cut papaya. *Journal Food Science* 80: 594-601.

- Ayón-Reyna LE. 2010. Uso combinado de tratamientos hidrotérmicos y atmósferas controlado para prolongar la vida de anaquel de tomate. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Sinaloa. Consultado el 13 enero de 2018.
- Basabe TB. 2000. Funciones de la vitamina C en el metabolismo del colágeno. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición* 14: 46-54.
- Báez R, Bringas E, González-Aguilar GA, Mendoza T, Ojeda J, Mercado YJ. 2001. Comportamiento postcosecha del mango 'Tommy Atkins' tratado con agua caliente y ceras. *Interamericana. Sociedad Tropical Hortícola* 44: 39-43.
- Báez R, Saucedo C, Pérez B, Bringas E, Mendoza A. 2002. Efecto de la aplicación de cera comestible y agua caliente en la conservación del melón reticulado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 375-379.
- Bagheri M, Esna-Ashari M, Ershadi A. 2015. Effect of postharvest calcium chloride treatment on the storage life and quality of persimmon fruits (*Diosyros kaki* Thunb.) cv. Karaj. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 2: 15-26.
- Bai J, Mattheis JP, Reed N. 2006. Reactivación de la capacidad de ablandamiento de peras 'Bartlett' y 'd'Anjou' tratadas con 1-metilciclopropeno después del almacenamiento regular en aire o atmósfera controlada. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81: 959-964.
- Baños-Guevara PE, Zavaleta-Mejía E, Colinas-León MT, Luna-Romero I, Gutiérrez-Alonso JG. 2004. Control Biológico de *Colletotrichum gloeosporoides* [(*Penz.*) *Penz.* Y Sacc.] En papaya Maradol roja (*Carica papaya* L.) y fisiología postcosecha de frutos infectados. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 198-205.
- Baquero-Duarte LE, Castro-Rivera JA, Narváez-Cuenca CE. 2005. Catalasa, peroxidasa, polifenoloxidasas en pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) maduración y senescencia. *Acta Biológica Colombiana* 10: 49-59.

- Barrera-Bello E, Gil-Loaiza M, García-Pajón C, Durango-Restrepo D, Gil-González J. 2012. Use of a coating formulated with propolis for postharvest handling of papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiian) fruits. *Revista de la Facultad Nacional de Agricultura de Medellín*. 65: 6497-6506.
- Baskaran SA, Upadhyay A, Kollanoor-Johny A, Upadhyaya I, Mooyottu S, Amalaradjou MAR, Schreiber D, Venkitanarayanan K. 2013. Eficacia de los antimicrobianos derivados de plantas como tratamientos de lavado antimicrobianos para reducir *Escherichia coli* enterohemorrágica O157: H7 en las manzanas. *Journal of Food Science* 78: 13-99
- Bastías JM, Cerepo Y. 2016. Vitamin C as an effective micronutrient in the food fortification. *Revista Chilena de Nutricion* 43: 81-86.
- Bautista S, Hernández M, Bosquez M, Wilson C. 2004. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporoides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection* 22: 1087-1092.
- Bautista-Baños S, Hernández-López M, Bosquez-Molina M, Wilson C. 2003. Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection* 22: 1087-1092.
- Ben-Yehoshua S, Peretz J, Rodov V, Nafussi B. 2000. Postharvest application of hot water treatment in citrus fruits: the road from the laboratory to the packing-house. *Acta Horticultural* 518: 19-28.
- Beserra-Almeida MM, Machado de Sousa PH, Campos-Arriaga AM, Matias do Padro G, Carvalho-Magalhaes JP, Arraes-Maia G, Gomes de Lemos T. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International* 44: 2155-2159.
- Ben-Dor A, Nahum A, Danilenko M, Giat Y, Stahl W, Martin HD, Emmerich T, Noy N, Levy J, Sharoni Y. 2001. Effects of acyclo-retinoic acid and lycopene on activation of the retinoic acid receptor and proliferation of mammary cancer cells. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 391:295-302.

- Biesalski H, Ove L, Elmadfa I, Grossklaus R, Müller M, Scherenk D, Walter P, Weber P. 2009. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition* 25: 1202-1205.
- Blanco A. Vitaminas. 2006. En: Blanco A editor. *Química Biológica*. 8va ed. Buenos Aires: El Ateneo, 447-79 p.
- Blankenship SM, Dole JM. 2003. 1-metilciclopropeno: una revisión. *Postharvest Biology and Technology* 28, 1-25.
- Boonkorn P. 2016. Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. *International Food Research Journal* 3: 934-938.
- Bowler C, Montague MV, Inze D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43:83-116.
- Brasil IM, Gomes C, Puerta-Gómez A, Castell-Pérez ME, Moreira RG. 2012. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *Food Science and Technology* 47: 30-45.
- Bron IU, Jacomino AP. 2006. Maduración y calidad de frutos de papaya "Golden" cosechados en diferentes estados de madurez. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18: 1677-9452.
- Cabezas-Serrano B, Amodio M, Cornacchia R, Rinaldi R, Colelli G. 2004. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and Technology* 53: 138-144.
- Cai YZ, Sun M, Xing J, Luo Q, Corke H. 2006. Structure-radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants. *Life Science* 78: 2872 – 2888.
- Caleb O, Wegner G, Rolleczek C, Heppich W, Geyer M, Mahajan P. 2016. Hot water dipping: Impact on postharvest quality, individual sugars, and bioactive

- compounds during storage of Sonata strawberry. *Scientia Horticulturae* 210: 150-157.
- Cantillano RF, Ávila JM, Peralta MC, Pizzolato TM, Torallo RP. 2012. Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira* 30: 620-626.
- Carratú B, Sanzini E. 2005. Sostanze biologicamente attive presenti negli limenti di origine vegetale. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità* 41: 7-16.
- Carrasco G, Urrestarazu M. 2010. Química verde en la horticultura protegida: el uso de ácido peroxiacético como una estrategia sostenible. *International Journal of Molecular Sciences* 11; 1999-2009
- 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* 6:1681-5.
- Castellano G, Quijada O, Ramírez R, Sayago E. 2005. Comportamiento poscosecha de frutas de guayaba (*Psidium guajava* L.) tratados con cloruro de calcio y agua caliente a dos temperaturas de almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 6: 78-82.
- Castricini A. 2009. Aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de mamões (*Carica papaya* L.) "Golden". Tese (Doctorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 117 p.
- Castro-Espinoza M. 2011. Aplicación de un tratamiento hidrotérmico e inmersión en una solución de calcio para mejorar el almacenamiento de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. Tesis de Maestría. Culiacán Sinaloa. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

- Chau K, Álvarez A. 1983. A histological study of anthracnose of *Carica papaya*. *Phytopathol* 73: 1113-1116.
- Chávez-Sánchez I, Carrillo-López A, Vega-García M, Yahia E. 2013. The effect of antifungal hot-water treatments on papaya postharvest quality and activity of pectinmethylesterase and polygalacturonase. *Journal of Food Science and Technology* 50:101-107.
- Chen GL, Chen SG, Zhao YY, Luo CX, Li J, Gao YQ. 2014. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after *in vitro* digestion. *Industrial Crops and Products* 57: 150-157.
- Chen H, Shuai H, Li J, An X, Mingliang Y, Yin X, Ruijuan M, Zhifang Yu. 2017. Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology* 126: 1-14.
- Chepngeno J, Owino W, Kinyuru J, Neguwo N. 2016. Effect of Calcium Chloride and Hydrocooling on Postharvest Quality of Selected Vegetables. *Journal of Food Research* 5: 23-40.
- Chidtragool S, Ketsa S, Bowenj A, Ferguson I, Van Doorn W. 2011. Chilling injury in mango fruit peel: Cultivar differences are related to the activity of phenylalanine ammonia lyase. *Postharvest Biology and Technology* 62: 59-63.
- Contreras-Angulo L, Heredia J, Sánchez-Álvarez C, Angulo-Escalante M, Villareal-Romero M. 2011. Efecto del genotipo y sales de calcio en la calidad de tomates frescos cortados. *Revista Chapingo Seria Horticultura* 17: 39-45.
- [CONAFRUT-FAO] Comisión Nacional de Fruticultura. 2012. Manual de manejo poscosecha de frutos tropicales: Manejo poscosecha de la papaya. Consultado en enero del 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm#toc>

- Corrales V, Umaña G. 2015. Efecto de ceras como complemento a la inmersión hidrotérmica sobre la calidad en la fruta de papaya (*Carica papaya* L HIBRIDO POCOCÍ). *Agronomía Costarricense* 39: 91-105.
- Correa JF, Ruiz AA, Garrot G. 2012. Estudio del tratamiento hidrotérmico de fruta de banano. *AfinidAd LXIX* 559: 191-196.
- Couey H, Alvarez A, Nelson M. 1984. Comparison of hot-water spray and immersion treatments for control of postharvest decay of papaya. *Plant Disease* 68: 436-437.
- Da Costa A, Balbino J. 2002. Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In *Mamão: pós-colheita*. Embrapa Informação Tecnológica 21: 12-18.
- Dhall RK. 2013. Avances en recubrimientos comestibles para frutas y verduras frescas: una revisión. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 53, 435-450.
- De Faria D, De Paula S, Rodrigues G, Kiyoshi O. 2003. Efeito do tratamento hidrotérmico na qualidade e vida pos-colheita de mamão (*Carica papaya* L.) cv. golden, producido no Oeste da Bahia. *Interamerican Society for Tropical Horticulture. Proceedings* 47: 228-230.
- Del Pilar-Pinzón I, Fischer G, Corredor G. 2007. Determination of the maturity stages of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomia Colombiana* 25: 83-95.
- Deming DM, Boileau WM, Heintz KH, Atkinson CA, Erdman JW. 2002. Carotenoids: linking chemistry, absorption, and metabolism to potential roles in human health and disease. In *Handbook of antioxidants*. 2^a ed. New York, USA: Marcel Dekker, Inc. 56 p.

- Dewanto V, Wu X, Adom K, Liu R. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:3010-3014.
- Ding Z, Tian S, Meng X, Xu Y. 2009. Hydrogen peroxide is correlated with browning in peach fruit stored at low temperature. *Frontiers of Chemical Engineering in China* 4: 363-374.
- Dixon RA, Paiva NL. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7: 1085-1097.
- Dong X, Wrolstad R, Sugar D. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *Journal of Food Science*. 65:181-186.
- Dutta D, Chaudhuri UR, Chakraborty R. 2005. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology* 4:1510-1520.
- El Moussaoui A, Nijs M, Pul C, Wintjens R, Vinvetelli J, Azarkan M, Looze Y. 2001. Revisiting the enzymes stored in the laticifers of *Carica papaya* in the context of their possible participation in the plant defense mechanism. *Cellular and Molecular Life Sciences* 58: 556-570.
- Fallik E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 125-134.
- Fallik E. 2011. Hot water treatments of fruits and vegetables for postharvest storage. 1^a ed. Neva Jersey: John Wiley y Sons. 9 p.
- FAOSTAT. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible de: <http://faostat.fao.org>. Consultado el 14 de marzo del 2018.

- Feitód M. 2014. La competitividad en las exportaciones de papaya de México: un análisis cuantitativo. *Revista de Análisis de Economía, Comercio y Negocios Internacionales* 4: 27-54.
- Ferguson I, Ben-Yehoshua S, Mitcham E, McDonald R. 2000. Postharvest heat treatments: introduction and workshop summary. *Postharvest Biology and Technology* 21: 16-20.
- Fernández-García E, Carvajal-Lérída I, Jarén-Galán M, Garrido-Fernández J, Pérez-Gálvez A, Hornero-Méndez D. 2012. Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International* 46:438-450.
- Ford NA, Elsen AC, Zuniga K, Lindshield BL, Erdman JW. 2011. Lycopene and apo-12'-lycopenal reduce cell proliferation and alter cell cycle progression in human prostate cancer cells. *Nutrition and Cancer* 63:256-263.
- Ford NA, Erdman JW. 2012. Are lycopene metabolites metabolically active. *Acta Biochimica Polonica* 59:1-4.
- Galvis J, Arjona H, Fischer G. 2003. Efectos de la aplicación de soluciones de cloruro de calcio (CaCl₂) sobre la vida de almacenamiento y la calidad del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. Disponible de <http://digital.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/viewFile/17825/18733>. consultado diciembre de 2012.
- García-Alonso M, De Palcual-Teresa S, Santos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC. 2004. Evaluation of the antioxidant properties of fruit. *Food Chemistry* 84: 13-18.
- Gayosso-García L, Yahia E, González-Aguilar G. 2011. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol). Fruit determined by HPLC-DAD-MS-ESI. *Food Research International* 44:1284-1291.

- Gayosso-García LE, Yahia EM, Martínez-Téllez MA, González-Aguilar GA. 2010. Effect of Maturity Stage of Papaya Maradol on Physiological and Biochemical Parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5: 194-203.
- Ghasemnezhad M, Zareh S, Rassa M, Sajedi RH. 2013. Efecto del recubrimiento de quitosano en el mantenimiento de la calidad del arilo, la población microbiana y la actividad PPO de la granada (*Punica granatum* L. cv.Taom) a temperatura de almacenamiento en frío. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93: 368-374.
- Ghasemnezhad M, Marsh 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.
- Glowacz M, Mogren L, Reade J, Cobb A, Monaghan J. 2013. Can hot water treatments enhance or maintain postharvest quality of spinach leaves. *Postharvest Biology and Technology* 81: 23-28.
- Gökmen V, Kahraman N, Demir N, Acar J. 2000. Enzymatically validated liquid Chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. *Journal of Chromatography A* 881: 309-16.
- Gol NB, Patel PR, Rao TVR. 2013. Mejora de la calidad y vida útil de las fresas con revestimientos comestibles enriquecidos con quitosano. *Postharvest Biology and Technology* 85: 185-195.
- Gomez M, Lajolo F, Cordenunsi B. 2002 Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. *Journal of Food Science* 67: 442-447.

- Gonçalves De Oliveira J, Pierre Vitória A. 2011. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. *Food Research International* 44: 1306-1313.
- González-Aguilar G, Fortiz J, Cruz R, Baez R, Wang C. 2000. Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintains postharvest quality of mango fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 515-519.
- González-Aznar E. 2015. Evaluación de los Anticuerpos Monoclonales anti-polisacárido capsular de *Neisseria meningitidis* serogrupos A, C, Y, W y X para su uso en los ensayos de identidad *Vaccimonitor* 24: 1025-028.
- Guiamba I, Ahrné L, Khan M, Svanberg U. 2016. Retention of β -carotene and vitamin C in dried mango osmotically pretreated with osmotic solutions containing calcium or ascorbic acid. *Food and Bioproducts Processing* 98: 320-326.
- Gupta N, Jawandha S, Gill P. 2011. Effect of calcium on cold storage and post-storage quality of peach. *Journal of Food Science and Technology* 48: 225–229.
- Hagerman A, Austin P. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 34: 441-444.
- Hazbavi A, Khoshtaghaza A, Mostaan A, Banakar A. 2015. Effect of postharvest hot-water and heat treatment on quality of date palm (cv. Stamaran). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 10: 1658-077.
- Hemmaty S, Moallemi N, Naseri L. 2007. Effect of UV-C radiation and hot water on the calcium content and postharvest quality of apples. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5: 559-568.
- Henríquez C, González R, Krarup C. 2005. Tratamientos térmicos y progresión del daño por enfriamiento y de la pigmentación de tomates en poscosecha. *Ciencia e Investigación Agraria* 32: 113-23.

- Hepler K. (2005) Calcium: a central regulator of plant growth and development. *Plant Cell* 17: 2142-2155.
- Hernández-Muñoz P, Almenar EO, Gavara R. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology* 39: 247-253.
- Herrera-Flores TS, Ortiz-Cereceres J, Delgado-Alvarado A, Acosta-Gallegos JA. 2014. Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 859-870
- Herrera M, Núñez C, Guzmán S, Hernández M. 2013. Contenido de algunos compuestos antioxidantes en tres estados de madurez y dos localidades en frutos de membrillo cimarrón (*Malacomeles denticulata*). *Revista Chapingo Serie de Horticultura* 19: 45-57.
- Hewajulige I, Dhekney S. 2016. Papayas. *Encyclopedia Food and Health*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00517-1>.
- Huan C, Han S, Jiang L, Xiujuan A, Mingliang Y, Yin X, Ruijuan M, Zhifang Y. 2017. Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology* 126: 1-14.
- Huerta-Ocampo J, Osuna-Castro J, Lino-López G, Barrera-Pacheco A, Mendoza-Hernández G, De León-Rodríguez A, Barba De La Rosa A. 2012. Proteomic analysis of differentially accumulated proteins during ripening and in response to 1-MCP in papaya fruit. *Journal of Proteomic* 75: 2160–2169.
- Itoh K. 2003. Combined effects of hot water treatment and modified atmosphere packaging on quality tomatoes. *Packaging Technology Science* 16: 171-178.
- Jesse F. Gregory III. 2000. Vitaminas. *Química de los alimentos*. 2a ed. Zaragoza (España): Fennema. 87-97.

- Jiménez A, Hernández J, Del Río L, Sevilla F. 1997. Evidence for the presence of the ascorbate-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves. *Plant Physiology* 114: 275-284.
- Khairule EH, Stanley R, Netzel M, Fanning K. 2015. Phytochemicals of papaya and its traditional health and culinary uses-A. *Journal of Food Composition and Analysis* 41: 201-211.
- Lamikanra O, Watson A. 2007. Mild heat and calcium treatment effects on fresh cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry* 102: 1383-1388.
- Lara I, García P, Vendrell M. 2004. Modifications in cell Wall composition after cold storage of calcium-treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 34: 331-339.
- Leong L, Shui G. 2001. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry* 76: 69–75.
- Leyva-López N, Heredia J, Contreras-Angulo L, Muy-Rangel M, Campos-Sauceda J, González-Lizárraga I. 2011. Calcium salts improve shelf-life and overall acceptability of fresh-cut papaya (*Carica papaya* L. var. Maradol). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2: 001-015.
- Loaiza-Velarde J, Salveit M. 2001. Heat shocks applied either before or after wounding reduce browning of lettuce leaf tissue. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126: 227-234.
- Loaiza-Velarde J, Tomas-Barberan F, Salveit M. 1997. Effect of intensity and duration of heat-shock treatments on wound-induced phenolic metabolism in Iceberg lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 873-877.
- López-Angulo G, Montes-Ávila J, Díaz-Camacho S, Vega-Ávila R, Ahumada-Santos Y, Delgado-Vargas F. 2014. Chemical composition and antioxidant, α -glucosidase inhibitory and antibacterial activities of three *Echeveria* DC.

Species from Mexico. *Arabian Journal of chemistry*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.050>.

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

López-Valenzuela JA, Valverde-Juárez FJ, Mejía-Torres S, López-Angulo G, Vega-García MO. 2011. Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada sobre la calidad poscosecha y nutricional del tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 115-128.

Lovera N, Ramallo L, Salvadori V. 2013. Effect of cooking and fruit ripening of papaya (*Carica papaya* L.) on quality of papaya syrup. *Revista de Ciencia y Tecnología* 20: 44-51.

Lum M. 2011. Effects of Hot Water, Submergence Time and Storage Duration on Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of Agricultural Science* 3: 1916-9752.

Lunardi R, Seibert E, Joao R. 2002. Tolerancia da maca "Fuji" ao tratamento térmico por imersão em água quente. *Ciencia Agrotecnologica Lavras* 26: 798-803.

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

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

Lurie S, Klein J. 1992. Ripening characteristics of tomatoes stored at 12°C and 2°C following a prestorage heat treatment. *Scientia Horticulturae*. 51: 55-64.

Lurie, S. Mitcham, E. 2007. Physiological responses of agriculture commodities to heat treatments. In J. Tang, E. Mitcham, S Wang and S. Lurie (eds). *Heat*

treatments for postharvest pest control: theory and practice. CAB International, United States. 79-104 p.

Madani B, Mirshekari A, Yahia E. 2015. Effect of calcium chloride treatments on calcium content, anthracnose severity and antioxidant activity in papaya fruit during ambient storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96: 2963-2968.

Mahattanatawee K, Manthey J, Luzio G, Talcott S, Goodner K, Baldwin E. 2006. Total antioxidant activity and fiber content of select florida-grown tropical fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 7363-7355.

Mahmoodian F, Peterkofsky B. 1999. Vitamin C deficiency in Guinea pigs differentially affects the expression of type IV collagen, laminin, and elastin in blood vessels. *Journal of Nutrition* 129: 83-91.

Mahmud T, Eryani-Raqeeb A, Syed-Omar A, Mohamed-Zaki AL, Eryani S, Rahman A. 2008. Effects of different concentrations and applications of calcium on storage life and physicochemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.). *American Journal of Agricultural and Biological Science* 3: 526-533.

Marelli-de Souza L, Silva-Ferreira K, Paes-Chaves JB, Lopes-Teixeira S. 2008. L-ascorbic acid, β -carotene and lycopene content in papaya fruits (*Carica papaya*) with or without physiological skin freckles. *Scientia Agricola* 65: 246-250.

Marpudi S, Abirami L, Pushkala R, Srividya N. 2011. Enhancement of storage life and quality maintenance of papaya fruits using Aloe vera based antimicrobial coating. *Indian Journal of Biotechnology* 10: 83-89.

Martins D, Dutra De Resende E. 2015. External quality and sensory attributes of papaya cv. Golden stored under different controlled atmospheres. *Biología y Tecnología de Postcosecha* 110: 40-42.

- Mendoza R, Herrera A. 2012. Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres Condiciones de Escaldado. Información Tecnológica 23: 73-82.
- Mir N, Canoles M, Beaudry R, Baldwin E, Mehla CP. 2004. Inhibición de la maduración del tomate con 1-metilciclopropeno. Mermelada. American Society for Horticultural Science 129: 112-120
- Miranda-Ham L, Castro-Concha L. 2009. El estrés oxidativo en plantas. In: Benavides-Mendoza (Ed) Temas modernos de nutrición vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Saltillo, Coah. México.
- Molinu M, Venditti T, Dore A, D'Hallewin G, Serusi A, Del Caro A, Agabbio M. 2006. Postharvest decay reduction of fig fruit (*Ficus carica*) by hot water sodium carbonate solutions dip. Journal of Agricultural and Biological Science 71: 923-8.
- Nacz M, Shahidi F. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and análisis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 41: 1523-1542.
- Namitha KK, Negi PS. 2010. Chemistry and biotechnology of carotenoids. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 50: 728-760.
- Nayer M, Reza H. 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. World Applied Sciences Journal 3: 448-453.
- Nieto J, Cueto M, Farroni A, de Escalada-Pla M, Gerschenson L. 2016. Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). Journal of Functional Foods 27: 319-328.
- Núñez A. 2011. Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades. Revista Cubana de Salud Pública 37: 644-660.
- Núñez V. 2012. Bacterias antagonistas con potencial para el control biológico postcosecha de la antracnosis en papaya. Tesis maestría. Centro

Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán.

- Núñez-Castellano K, Castellano G, Ramírez-Méndez R, Sindoni M, Marin C. 2012. Efecto del cloruro de calcio y una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria X Ananassa* DUCH). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 30: 1665-0204.
- Ordóñez AL, Balanza ME, Martín FR, Flores CA. 2009. Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. Información Tecnológica 20: 31-37.
- Osuna-García J, Pérez-Barraza M, Vázquez-Valdivia V, Urías-López M. 2009. A commercial alternative to extend shelf-life of “Maradol” papaya. Series horticultural 15: 4030-4034.
- Osuna-García J, Beltrán J, Pérez-Barraza M. 2005. Mejoramiento de vida de anaquel u calidad de papaya “Maradol” con 1-Metilciclopropeno (1-MCP). Revista Chapingo Serie Horticultura 11: 7-12.
- Opio P, Jitareerat P, Pongprasert N, Wongs-Aree C, Srilaong V. 2017. Efficacy of hot water immersion on lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle cv. Paan) catabolism. Scientia Horticulturae 224: 258-264.
- Oliveira-Resende E, Fabiane-Martins P, Antunes de Azevedo R, Pedro-Jacomino A, Urbano-Bron I. 2012. Oxidative processes during ‘Golden’ papaya fruit ripening. Brazilian Society of Plant Physiology 2: 85-94.
- Oluwafemi C, Wenger G, Rolleczeck C, Herppinch W, Geyer M, Mahajan P. 2017. Hot water dipping: Impact on Postharvest quality, individual sugars, and bioactive compounds during storage of ‘Sonata’ strawberry. Scientia Horticulturae 210: 150-157.
- Ötles S, Özlem Ç. 2007. Carotenoids as natural colorants. In Food colorants: chemical and functional properties. Boca Raton, USA: CRC Press. 25-49 p.

- Our B, Hampsch-Wooddil M, Prior Ri. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4619-4626.
- Parra-Coronado A. 2014. Ripening and postharvest behavior in guava (*Psidium guajava* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 8: 314-327.
- Paull R, Chen N. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21-37.
- Paull R, Nishijima W, Reyes M, Cavaletto C. 1997. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology* 11: 165-179.
- Patthamakanokporn O, Puwastien P, Nitithamyong, A. Sirichakwal, P. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Compositions and Analysis* 21: 241-248.
- Pérez-Márquez A, Vidal-Aguilar Y, Mulkay T. 2016. Total phenolic content in Super Haden mango fruits damaged by anthracnose and treated on postharvest. *Cultivos Tropicales* 37: 1819-4087.
- Pérez-Rivero B, Bringas E, Cruz L, Báez-Sañudo R. 2003. Use of edible film on mango fruits. Part I. Effect on fruit physicochemical characteristics during commercial storage. *Revista Iberoamericana Postcosecha* 5: 100-112.
- Petit-Jiménez D, Terán Y, Rojas B, Salinas-Hernández R, García-Robles J, Báez-Sañudo R. 2010. Efecto de las ceras comestibles sobre la calidad en frutos de Papaya. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11: 37-42.
- Petit-Jiménez D, Bringas-Taddeie M, 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 mango 'Kent' durante el almacenamiento. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 21: 351-358.

- Pinal R, Ramana T, Thakkar V. 2015. Combined effects of chemical and physical elicitors on postharvest quality of custard apple (*Annona squamosa* L., cv. Balanagar). *Scientia Horticulturae* 187: 50-57.
- Ramanjulu S, Sudhakar C. 2000. Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *Journal of Plant Physiology* 157:81-85.
- Ramírez M, Sáenz M, Vargas A. 2011. Effect of immersion in hot water of freshly-cut banana clusters on the latex secretion from the Crown. *Agronomía Costarricense* 35: 1-14.
- Ramulu P, Udayasekhara Rao. 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 16: 677-685.
- Repo-De Carrasco R, Encina-Zelada C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 74: 108-124.
- Restrepo A, Cortés M, Rojano B. 2010. Potenciación de la capacidad antioxidante de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) por incorporación de vitamina E utilizando la técnica de impregnación a vacío. *Vitae. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 17: 135-140.
- Restrepo J, Aristizabal I. 2010. Conservación de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimiento comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba. *Vitae* 17: 252-263.
- Ríos-Pérez M, Márquez-Cardozo C, Ciro-Velásquez H. 2005. Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes. *Revista de la Facultad Nacional de Agricultura de Medellín* 4: 0304-2847.

- Rivera-López, J. Vázquez-Ortiz, F. Ayala-Zavala, J. González-Aguilar, G. 2005. Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (*Carica papaya* L. cv. "Maradol"). Revista Iberoamericana Tecnológica de Postcosecha 6: 83–94.
- Rivera-Pastrana D, Yahia E, Gonzalez-Agular G. 2010. Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and the contents under low temperature storage. Journal of the Science of Food and Agriculture 90: 2358-2365.
- Robles-Sánchez M, Astiazarán-García H, Martínez-Belloso O, Gorinstein S, Álvarez-Parrilla E, De La Rosa L, Yepiz-Plascencia Y, González-Aguilar G. 2011. Influence of whole and fresh-cut mango intake on plasma lipids and antioxidant capacity of healthy adults. Food Research International 44:1386-1391.
- Rodrigues S, Da Cunha M, Ventura J, Fernández P. 2009. Effects of the Papaya melira virus on papaya latex structure and composition. Plant Cell Rep 28: 861-871.
- Rodríguez-Amaya DB, Kimura M. 2004. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. HarvestPlus Technical Monograph Series. 2. Washington D. C., USA: International Food Policy Research Institute (IFPRI)-Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Rodríguez A, Ramírez M, Falcón A, Utria E, Bautista S. 2006. Estimulación de algunas enzimas en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) Tratadas con un hidrolizado de quitosana. Cultivos Tropicales 27: 87-91.
- Rodríguez-Félix A, Rivera D, González A. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F, editores. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Hermosillo, Sonora, México: CIAD. p 447-470.
- Rodríguez-Pedroso A, Ramírez-Arrebato M, Rivero-González D, Bosques-Molina E, Barrera-Necha L, Bautista-Baños S. 2009. Propiedades químico-estructurales

- y actividad biológica de la quitosanas en microorganismos Fitopatógenos. Revista Chapingo. Serie Horticultura 89: 2007-4034.
- Roy S, Conway W, Watada E, Sams C, Erbe E, Wergin W. 1994. Heat treatment affects epicuticular wax structure and postharvest calcium uptake in “Golden delicious” apples. HortScience 29: 1056-1058.
- Ruiz S, Gardea A, González G. 2005. Uso de agentes antioxidantes y envasado en atmósferas modificadas para mantener la calidad de rodajas de piña fresca. Tesis de Maestría. Centro de Investigación de Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora. P: 4-10.
- SAGARPA. 2017 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca. Avance de siembras y cosechas. Disponible de: <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de febrero del 2018.
- Salazar-Irbe, A. Gamboa-de Buen, A. 2013. Importancia de las Pectinas en la dinámica de la pared celular durante el desarrollo celular. Tesis de Maestría. Departamento de Ecología Funcional. Universidad Nacional Autónoma de México. México Distrito Federal, México. P: 65-67.
- Sancho L, Yahia E, González-Aguilar G. 2011. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI. Food Research International 44: 1284-1291.
- Sanders D, Pelloux J, Brownlee C, Harper J. 2002. Calcium at the crossroads of signaling. Plant Cell 14: 401-417.
- Santamaría-Basulto F, Díaz-Plaza R, Gutiérrez-Alonso O, Santamaría-Fernández J, Larqué-Saavedra A. 2011. Control of two species of Colletotrichum causing anthracnose in Maradol papaya fruits. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2: 631-643.

- Santamaría-Basulto F, Sauri-Duch E, Espadas y Gil F, Díaz-Plaza R, Larqué-Saavedra A, Santamaría JM. 2009^a. Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia* 34: 583-588.
- Santamaría-Basulto F, Díaz-Plaza R, Sauri-Duch E, Espadas-Gil NM, Santamaría-Fernández J, Larqué Saavedra A. 2009^b. Quality characteristics in Maradol papaya fruits at the consumption ripeness stage. *Agricultura Técnica en México* 35: 347-353.
- Sañudo-Barajas J, Siller J, Osuna-Enciso T, Dolores-Muy R, López-Álvarez G, Labavitch J. 2008. Ripening control of papaya (*Carica papaya* L.) fruits with 1-methylcyclopropene and 2-chloroethyl phosphonic acid. *Revista Fitotética de México* 31: 141-147.
- Serra HM, Cafaro TA. 2007. Ascorbic acid: from chemistry to its crucial protective role in the eye. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 41: 525-532.
- Serek M, Woltering EJ, Sisler EC, Frello S, Sriskandarajah S. 2006. Control de las respuestas de etileno en las flores a nivel del receptor. *Biotechnology Advances* 24, 368-381.
- Siriamornpun S, Kaewseejan N. 2017. Quality, bioactive compounds and antioxidant capacity of elected climacteric fruits with relation to their maturity. *Scientia Horticulturae* 221: 33-42.
- Shadmani N, Ahmad S, Saari N, Ding P, Tajidin N. 2015. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Carica papaya* L. Frangi as influence by postharvest hot water treatment and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology* 99: 111-114.
- Shafiee M, Taghavi T, Babalar M. 2010. Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 124: 40-45.

- Shahkoomahally S, Ramezani A. 2013. The effect of hot water and calcium solution dipping on quality in kiwifruit during storage. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environ Science* 13: 1351-1356.
- Shahkoomahally S, Ramezani A. 2015. Hot water combined with calcium treatment improves physical and physicochemical attributes of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during storage. *Postharvest Biology and Technology* 50: 412–415.
- Sharma R, Singh D, Pal K. 2013. Synergistic influence of pre-harvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of royal delicious apples (*Malus x domestica* Borkh). *American Journal of Plant Sciences* 4:153-159.
- Silva E, Nogueira J. 1984. Estudo da Actividade da Polifenol oxidase e da Preoxidase em algumas frutas e hortaliças. *Scientia Agricola* 76: 43-51.
- Silveira C, Aguayo E, Chisari M, Artés F. 2011. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melón. *Postharvest Biology and Technology* 62: 77-84.
- Stahl W, von Laar J, Martin HD, Emmerich T, Sies H. 2000. Stimulation of gap junctional communication: comparison of acyclo-retinoic acid and lycopene. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 373:271-274.
- Solano V, Arauz L. 1995. Combate de antracnosis en frutos de papaya mediante aplicaciones de fungicidas en el campo en la zona atlántica de Costa Rica. *Agronomia Costarricense* 19: 25-30.
- Soliva-Fortuny R, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O. 2002. Effects of ripeness stage on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed Apple slices. *Journal food Science* 67: 1958-1963.

- Spadoni A, Guidarelli M, Sanzani SM, Ippolito A, Mari M. 2014. Influence of hot water treatment on brown rot of peach and rapid fruit response to heat stress. *Postharvest Biology and Technology* 94: 66-73.
- Storey WB. 1976. Papaya, *Carica papaya*. In: N.W. Simmonds. *Evolution of Crop Plants*. Longman, Londres, Inglaterra 21-24 p.
- Takaichi S, Murakami A, Mochimaru M, Yokoyama A. 2012. α -Carotene and its derivatives have a sole chirality in phototrophic organisms. *Acta Biochimica Polonica* 59:159-161.
- Tang J, Mitcham E, Wang S, Lurie E. 2007. *Heat treatment for postharvest pest control: Theory and Practice*. Massachusetts, US, Cromwell Press 349 p.
- Torres R, Montes EJ, Pérez OA, Andrade RD. 2013. Relation of Color and Maturity Stage with Physicochemical Properties of Tropical Fruits. *Información Tecnológica* 24: 51-56.
- Torres R. 1985. *Fruticultura Tropical*, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Ibagué. Colombia 295-299 p.
- Torres LM, Silva MA, Guaglianoni DG, Neves VA. 2009. Effects of heat treatment and calcium on postharvest storage of atemoya fruits. *Food and Nutrition Department* 14: 801-902.
- Torres WH. 2002. Biología de las especies de oxígeno reactivas. *Mensaje Bioquímico* 26: 19-53.
- Trujillo-Villagarcía BA, Zavaleta-Mancera HA, Mora-Herrera ME, López-Delgado HA. 2006. Effect of CaCl_2 on antioxidant enzyme activity during the base life of gerbera (*Gerberajamesonii* H. Bolux ex Hook F.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12: 203-209.
- Udomkun P, Nagle M, Mahayothee B, Nohr D, Koza A, Müller J. 2015. Influence of air drying properties on nonenzymatic browning, major bioactive compounds and

- antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. *Food Science and Technology* 60: 914-922.
- Udomkun P, Nagle M, Argyropoulos D, Mahayothee B, Latif S, Müller J. 2016. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry* 196: 712-719.
- Umaña G, Loría CL, Gómez JC. 2011. Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido pococí. *Agronomía Costarricense* 35: 61-73.
- USDA. 2014. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (En línea). <http://www.usda.gov>. Consultado el 15 de marzo de 2016.
- Vega-Espinoza A. 2010. Aplicación de métodos secuenciales para la conservación poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. imperial [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa; Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma de Sinaloa. p 16-20.
- Wang Y, Ying Y, Chen J, Wang X. 2004. Transgenic *Arabidopsis* overexpressing Mn-SOD enhanced salt-tolerance. *Plant Science* 167:671-677.
- Watkins CB. 2006. El uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en frutas y verduras. *Biotechnology Advances* 24, 389-409.
- Wall M. 2006. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya* L.) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 434-445.
- Wouter V, Saichol K. 2014. Cross reactivity between ascorbate peroxidase and phenol (guaiacol) peroxidase. *Postharvest Biology and technology* 95: 64-69.
- Yahia EM, Soto-Zamora G, Brecht JK, Gardea A. 2007. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in the stored mature-green tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* 44:107-115.

- Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. 2006. Transcriptional regulatory networks cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses: Annual. Review Plant Biology 57: 781-803.
- Yang J, Fu M, Zhao Y, Mao L. 2009. Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment. Agricultural Science. 8: 304-314.
- Zerpa-Catanho D, Esquivel P, Mora-Newcomer E, Sáenz MV, Herrera R, Jiménez VM. 2017. Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L. Picocí hybrid). Postharvest Biology and Technology 125: 42-51.
- Zhang H, Kotake-Nara E, Ono H, Nagao A. 2003. A novel cleavage product formed by autoxidation of lycopene induces apoptosis in HL-60 cells. Free Radical Biology & Medicine 35:1653-1663.
- Zhao N, Li X, Chen W, Shi J. 2013. Effect of hot water treatment on the inhibition of anthracnose, PG, PME activity and PGIP gene expression in harvested papaya fruits. Food Chemical 975: 487-493.
- Zhou Y, Deng L, Zeng K. 2014. Enhancement of biocontrol efficacy of *Pichia membranaefaciens* by water treatment in Postharvest diseases of citrus fruit. Crop Protection 63: 89-96.

X. ABREVIATURAS

A	Alfa
B	Beta
µL	Microlitro (s)
µg	Microgramo (s)
µm	Micrómetro
µmol	Micromol (es)
%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
Ca	Calcio
Ca ⁺²	Iones calcio
Cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
Col	Colaboradores
cv	Cultivar
Dr	Doctor
Etc.	Etcétera
EUA	Estados Unidos de América
GAL	Galactosidasa
GAX	Glucuronoarabinoxilano
Gff	Gramos de fruto fresco
GRAS	Generalmente reconocido como seguro
h	Hora (s)
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
KCl	Cloruro de potasio
kPa	Kilopascal
L	Litro
L	Linn
M	Molar

MC	Maestro en Ciencias
min	Minuto (s)
mg	Miligramo (s)
MgCl ₂	Cloruro de magnesio
mL	Mililitro (s)
N	Newton
N ₂	Nitrógeno
NaCl	Cloruro de sodio
nm	Nanómetro (s)
O ₂	Oxígeno
s	Segundo
TH	Tratamiento hidrotérmico
TH-Ca	Tratamiento hidrotérmico-Calcio
UV	Ultravioleta

XI. ANEXOS

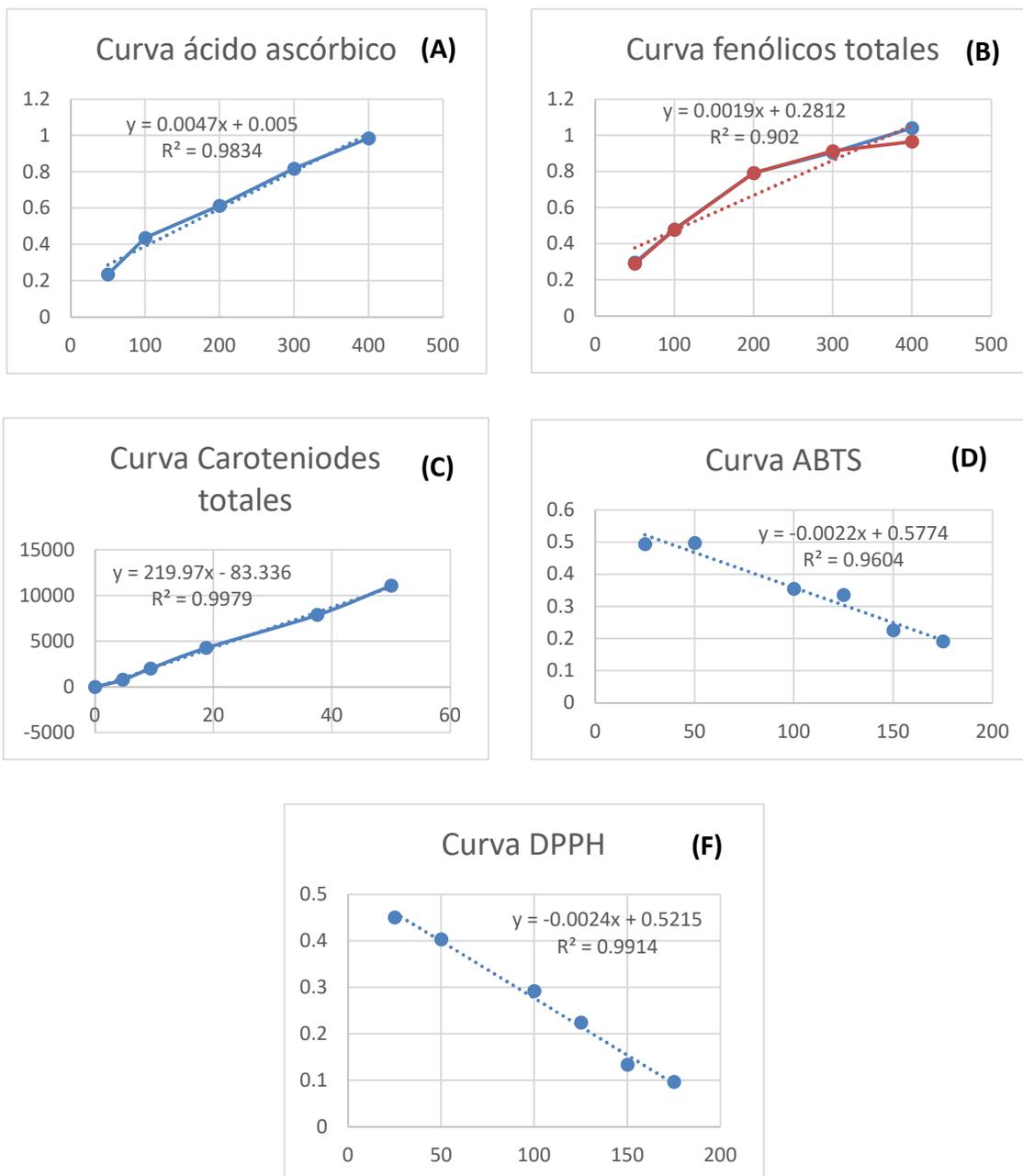


Figura (A). Curva de calibración del ácido ascórbico; Figura (B). Curva de calibración de los fenólicos totales; Figura (C). Curva de calibración de carotenoides totales; Figura (D). Curva de calibración de la capacidad antioxidante por el método ABTS; Figura (F). Curva de calibración de la capacidad antioxidante por el método DPPH.