



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

**APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS POR  
VAPOR CALIENTE EN EL CONTROL DE  
ANTRACNOSIS Y EN LOS SÍNTOMAS DE DAÑOS  
POR FRÍO EN MANGOS VARIEDAD 'KEITT'.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A N:  
CESAR FERNANDO ESPINOSA GUIA  
MARICELA HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ**

**ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ**

**CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*El trabajo para esta tesis fue realizado por el apoyo financiero del proyecto PAPIIT, clave: IN212703-3 con el nombre 'Estudio sobre la inocuidad y el mejoramiento de la calidad del mango'.*

*Reconocemos con gratitud infinita la ayuda en el aislamiento, purificación e inoculación el hongo Colletotrichum gloeosporioides, además, del apoyo, la enseñanza, la aportación y el tiempo que nos dedico la M. en C. Ma. Cristina Julia Pérez Reyes, que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de tesis.*

## *Agradecimientos y Dedicatorias*

*Maricela.*

*A mis Padres*

*Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo quiero que sepan y sientan que lo logrado también es de ustedes porque sin su cariño, guía y apoyo no hubiera realizado uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto de su amor y confianza, que construyeron el legado mas extraordinario que pudiera recibir y por lo cual les agradeceré eternamente*

*Por ser mis incondicionales y amigos, pero sobre todo apoyo como el que he recibido durante este tiempo. Muchísimas Gracias Jorge, Mario y Gustavo.*

*A ustedes, Silvia, Ana Elia y Leticia quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron en los momentos más difíciles para lograr una etapa muy importante y con ello demostrar que podemos realizar muchas y grandes cosas que como mujer no impide ni limita.*

*A Luis*

*Por estar conmigo apoyándome y comprendiéndome en este tiempo, por la paciencia que siempre demostraste al escucharme, por enseñarme a levantarme en las caídas y enfrentar lo que venga sin miedo, Gracias.*

*A Claudia A. Cabrera Arriaga*

*Gracias por estar en momentos difíciles ayudándome a sobrellevarlos y demostrarme que los problemas hay que tomarlos con calma y sonreír siempre ante ellos.*

*A mis Amigos*

*Fabián, Martín A, Ernesto J, Angélica, Alma, Josefina, Sergio, Raúl y Flor por sus consejos, el apoyo, por todo lo vivido y que compartimos juntos en los años de nuestra formación profesional, Gracias por su gran Amistad.*

*A la Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez*

*Por el gran apoyo, por su dedicación, inspiración, tiempo y enseñanza que siempre nos brindo, por permitir que formara parte de su equipo de trabajo, por confiar en mi, le agradezco infinitamente el haberme ayudado a lograr la culminación de una de mis metas y el éxito del cual usted también es parte.*

*A la M en C. Norma Angélica Camacho de la Rosa*

*Por el esfuerzo que realiza al venir de tan lejos para concedernos de su tiempo, la enseñanza y colaboración que favorecieron el desarrollo de muchas técnicas, alcanzando así la mejora de nuestro trabajo de tesis, Mil Gracias.*

*A Cesar*

*Por formar parte de este proyecto, por la ayuda mutua que siempre existió y el camino que recorrimos.*

*A todos los que pertenecen al laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales, que de alguna manera contribuyeron al término de nuestra tesis, en especial a Elizabeth de la Torre, Hugo Juárez, Carla K. Pérez, Selene y Karen Ramos, Ing. Benito Guadalupe, Edna Castillo, Ma. Guadalupe Pérez, Guadalupe Ramírez y los nuevos elementos: Sergio, Nathaly, Paloma, Nohemí, Isaac, Jessica, Zaira, Diana y Rodolfo. Gracias por brindarme su amistad y por todas las platicas agradables que siempre tuvimos.*

*A todos los que pertenecen a UNIGRAS, por permitir que pudiésemos hacer uso de sus instalaciones realizando parte de nuestro trabajo de tesis, en especial a La Ing. Gabriela Sánchez, M en C Martha Y. Quezada, M en C Josefina Moreno, M en C Enrique Martínez y **Laurita** por todas sus atenciones y ayuda que siempre fueron muy importantes.*

*Gracias a los Sinodales, quienes se tonaron el tiempo y dedicaron su atención a la lectura de nuestro trabajo de tesis.*

Cesar.

*Dedico éste trabajo a mis padres por regalarme la oportunidad de vivir y agradecer sus preocupaciones, sacrificios, enseñanzas y motivaciones que han sido armas indispensables para seguir adelante enfrentando continuamente a la vida.*

*A **mi madre** quiero agradecerle el infundirme el luchar siempre por conseguir mis metas, actuando con responsabilidad y realizándolas con honestidad y respeto.*

*A **mi padre** le agradezco el inculcarme el enfrentar la vida con carácter y decisión, encontrándole el lado sencillo a lo complicado para no dar marcha atrás cuando las cosas se tornen difíciles.*

*A **mis hermanos**: Juan Carlos, Luis Antonio, Oscar y Claudia, solo puedo decirles que la misma deuda de gratitud la tenemos cada uno de nosotros y solo me resta decirles que he sido muy dichoso por contar con unos hermanos como lo son ustedes y por formar la gran familia que somos.*

*A la **Familia Espinosa Garrido**: Juan Carlos, Yolanda, Juan Carlos Jr., y la nueva integrante Yara, agradezco su interés y apoyo en la culminación de este proyecto, esperando que sirva de aliciente para la nueva generación que viene empujando con fuerza y con ganas de sobresalir.*

*A **Guadalupe Ramírez Villatoro**, gracias por brindarme tu amistad, confianza y cariño, y por el apoyo incondicional para la culminación de éste trabajo, además te agradezco el darme la oportunidad de descubrir en ti lo maravillosa que eres.*

*A la **Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez**, gracias por su tiempo, dedicación y empeño y por el apoyo brindado a lo largo de la estancia en el laboratorio de postcosecha bajo su tutela, y más por su paciencia en la culminación de éste trabajo.*

*A mi compañera de tesis, **Maricela H. V.**, te agradezco por invitarme a colaborar en la realización de este trabajo y por ofrecerme tu amistad a lo largo de todo este tiempo.*

*A mis Amigos de la FES-C: Karina, Pepe, Sandra, Juan Carlos, Marifin, Juan T., Alejandro, Miguel Ángel, Flor, Frida, Guadalupe M., Claudia C., Ernesto P., Martín, Fabián, Alma, Sergio P., Raúl, Enrique, Joel A., Alan... y aquellos que no pueda recordar, no por ser menos importantes, les agradezco su compañía lo largo de la carrera.*

*A la M. en C. Norma Angélica Camacho de la Rosa por la asesoría técnica prestada en el desarrollo experimental del presente trabajo.*

*A mis compañeros del laboratorio de postcosecha: Elizabeth T., Hugo, Carla P., Selene R., Karen R., Edna, Adela L. Selene, Gabriela, Isaac, Sergio, Rodolfo y al Ing. Benito, les agradezco su compañerismo desde la planeación hasta la culminación de este trabajo.*

## CONTENIDO

	Página
<b>Resumen.</b>	ix
<b>1. Introducción.</b>	1
<b>2. Antecedentes.</b>	2
2.1 Generalidades del mango.	2
2.2 Clasificación botánica.	2
2.3 Descripción.	3
2.4 Variedades.	4
2.4.1 Variedades que se cultivan en México.	5
2.5 Importancia económica.	8
2.5.1 Producción mundial del mango.	8
2.5.2 Producción nacional.	9
2.5.3 Principales estados productores.	9
2.5.4 Estacionalidad y distribución geográfica.	10
2.6 Composición química y valor nutritivo.	10
2.7 Cambios asociados al proceso de maduración.	12
2.7.1 Cosecha.	12
2.7.2 Respiración.	13
2.7.3 Producción de etileno.	14
2.7.4 Carbohidratos en el mango.	15
2.7.5 Pigmentos en el mango.	16
2.7.5.1.1 Clorofila.	17
2.7.5.1.2 Carotenoides.	17
2.7.5.1.3 Antocianos.	19
2.7.6 Ácidos orgánicos.	19
2.7.7 Compuestos nitrogenados.	20
2.7.8 Compuestos volátiles.	20
2.7.8.1 Cambios relacionados con el aroma.	21
2.7.9 Compuestos fenólicos.	21
2.7.10 Principales enzimas relacionados con la textura.	22
2.8 Pérdidas postcosecha del mango.	23
2.8.1 Plagas y enfermedades postcosecha.	23
2.8.1.1 Enfermedades postcosecha.	25
2.8.1.2 Antracnosis.	26
2.8.1.2.1 Etiología.	27
2.8.1.2.2 Síntomas causados.	27
2.8.1.2.3 Diseminación y penetración.	28

2.8.1.2.4 Ciclo de vida.	29
2.8.1.3 Antracnosis en mango.	29
2.8.1.3.1 Efecto de factores climáticos.	30
2.8.1.3.2 Manejo postcosecha de la antracnosis en mango.	31
2.8.2 Desórdenes fisiológicos.	32
2.8.2.1 Daños por frío (DF).	33
2.8.2.1.1 Etiología de los daños por frío (DF).	33
2.8.2.1.2 Factores que contribuyen al desarrollo de los daños por frío.	35
2.8.2.1.3 Síntomas de daño por frío (IDF).	36
2.8.2.1.4 Mecanismos del daño por frío.	37
2.8.2.1.5 Pardeamiento enzimático.	38
2.8.2.1.5.1 Descompartimentación celular.	39
2.8.2.1.5.2 Oxidación enzimática.	39
2.8.2.1.5.3 Mecanismo del pardeamiento.	40
2.8.2.1.5.3.1 Propiedades de las enzimas de oxidación.	40
2.8.2.1.5.3.2 Reacción del pardeamiento.	40
2.9 Tratamientos postcosecha del mango.	41
<b>3. Objetivos.</b>	46
Objetivo general.	46
Objetivos particulares.	46
<b>4. Materiales y métodos.</b>	47
4.1 Secuencia metodológica.	47
4.2 Material biológico.	48
4.3 Tratamiento de las muestra.	48
4.4 Sistema de recirculación del vapor.	48
4.5 Establecimiento de las condiciones de los tratamientos térmicos por vapor caliente.	49
4.6 Efecto de los tratamientos con vapor en el control de antracnosis.	49
4.6.1 Preparación de la solución de esporas del hongo <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	49
4.6.2 Inoculación de los frutos con la solución de esporas del hongo <i>C. gloeosporioides</i> .	50
4.6.3 Evaluación del efecto de los tratamientos por vapor en el control de Antracnosis en mango variedad 'Keitt'.	50
4.7 Evaluación del efecto de los tratamientos por vapor en el control de daños por frío en mango variedad 'Keitt'.	51
4.8 Métodos analíticos.	52
4.8.1 Determinación de las actividades enzimáticas de PPO y POD.	52
4.8.1.1 Preparación del extracto crudo.	52

4.8.1.2 Determinación de la actividad de Polifenol oxidasa.	53
4.8.1.3 Determinación de la actividad de Peroxidasa.	53
4.8.2 Determinación de Fenoles Totales.	54
4.8.2.1 Preparación del extracto.	54
4.8.2.2 Cuantificación de fenoles totales.	54
4.8.3 Determinación del contenido de pigmentos.	55
4.8.3.1 Preparación del Extracto.	55
4.8.3.2 Cuantificación de Clorofilas Totales.	55
4.8.3.3 Cuantificación de Carotenoides.	56
4.8.3.4 Cuantificación de Antocianos.	57
4.8.4 Parámetros de calidad.	57
4.8.4.1 Determinación de sólidos solubles.	57
4.8.4.2 Determinación de pH y acidez total.	58
4.8.4.3 Determinación de firmeza.	58
4.8.4.4 Determinación de pérdida de peso.	58
4.8.4.5 Determinación del color.	58
4.8.4.6 Índice de daño por frío.	59
4.8.5 Parámetros fisiológicos.	59
4.8.5.1 Determinación de la respiración.	59
4.8.6 Parámetros químicos.	60
4.8.6.1 Determinación de humedad.	60
4.8.6.2 Determinación de carbohidratos.	60
4.8.6.3 Determinación de proteína.	60
4.8.6.4 Determinación de fibra cruda.	60
4.8.6.5 Determinación de grasa.	61
4.8.6.6 Determinación de cenizas totales.	61
4.8.7 Análisis estadístico.	61
<b>5. Resultados y Discusión.</b>	<b>62</b>
5.1 Evaluación de las características físicas, químicas, fisiológicas y de calidad del mango variedad 'Keitt'.	62
5.2 Selección de condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos por vapor caliente.	65
5.2.1 Efecto de los tratamientos térmicos sobre los cambios en la respiración del mango variedad 'Keitt'.	67
5.3 Efecto de los tratamientos térmicos en el control de antracnosis en mango variedad 'Keitt'.	69
5.4 Evaluación de la infección por antracnosis y de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Keitt'.	74
5.4.1 Efecto en pH.	74
5.4.2 Efecto en acidez.	76
5.4.3 Efecto en sólidos solubles.	77

5.4.4 Pérdida de peso.	79
5.4.5 Efecto en firmeza.	80
5.4.6 Efecto en respiración.	81
5.4.7 Índice de madurez.	83
5.4.8 Color.	84
5.5 Efecto del tratamiento térmico sobre el control de los síntomas del daño por frío en mango variedad 'Keitt'.	88
5.6 Efecto de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Keitt' almacenados a bajas temperaturas.	94
5.6.1 Efecto en el pH.	94
5.6.2 Efecto en la acidez.	95
5.6.3 Efecto en los sólidos solubles.	97
5.6.4 Pérdida de peso.	99
5.6.5 Efecto en la firmeza.	100
5.6.6 Cambios en la respiración.	102
5.6.7 Índice de madurez.	104
5.6.8 Efecto en el Color.	105
5.7 Cambios en el contenido de fenoles y en actividades de PPO y PDO en mangos variedad 'Keitt' almacenados a bajas temperaturas y tratados térmicamente.	111
5.7.1 Contenido de fenoles totales.	111
5.7.2 Actividad de Polifenol oxidasa y Peroxidasa.	118
5.8 Relación de la actividad enzimática, el contenido de compuestos fenólicos e índice de daños por frío en mangos tratados térmicamente.	125
5.9 Efecto de las bajas temperaturas de almacenamiento en el contenido de pigmentos del mango variedad 'Keitt'.	126
5.9.1 Clorofila.	127
5.9.2 Carotenoides.	130
5.9.3 Antocianos.	135
<b>6. Conclusiones.</b>	<b>139</b>
<b>7. Recomendaciones.</b>	<b>141</b>
<b>8. Anexos.</b>	<b>142</b>
<b>9. Abreviaturas.</b>	<b>145</b>
<b>10. Referencias.</b>	<b>146</b>

**Índice de tablas.**

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.	6
2	Valor nutritivo del mango variedad 'Keitt'.	11
3	Principales plagas que atacan a los frutos del mango.	24
4	Principales enfermedades que presentan los frutos del mango.	26
5	Principales tratamientos postcosecha aplicados al mango.	43
6	Escala del grado de avance de la infección.	52
7	Escala del grado de avance de los síntomas de daños por frío.	60
8	Caracterización física del mango.	63
9	Composición química y características fisicoquímicas del mango variedad 'Keitt'.	64
10	Síntomas de daños por frío en los diferentes estadios de maduración del mango variedad 'Keitt'.	94

## Índice de figuras.

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Diferentes tejidos del mango.	3
2	Diferentes tipos de árboles del mango.	3
3	Diferentes variedades de mango.	4
4	Principales variedades de mango cultivadas en México.	6
5	Distribución de la producción mundial de mango en el 2004.	8
6	Distribución de la exportación mundial de mango en el 2003.	9
7	Distribución de la producción nacional de mango en el 2003.	10
8	Estructura de la molécula de la Clorofila.	16
9	Carotenoides más distribuidos en la naturaleza.	19
10	Estructuras de antocianos comúnmente encontrados en tejidos vegetales.	20
11	Antracnosis en el mango.	31
12	Cámara de aplicación de tratamientos de vapor.	50
13	Cambios en la respiración del mango variedad 'Keitt' durante el almacenamiento a 20°C.	65
14	Cambios en la respiración de mangos sometidos a tratamientos por vapor caliente.	69
15	Avance de la infección por antracnosis en las diferentes tratamientos.	71
16	Índice de decaimiento (IDC) de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C.	72
17	Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre el pH de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	76
18	Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la concentración de acidez de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	77
19	Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre los sólidos solubles totales (SST) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	79
20	Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la pérdida de peso de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C.	80
21	Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la firmeza de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	81

22	Cambios en la respiración del mango infectado con <i>C. gloeosporioides</i> durante el almacenamiento a 20°C y 95% de HR.	83
23	Índice de madurez (IM) de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	85
24	Luminosidad de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	86
25	Tono de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	87
26	Intensidad del color de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.	89
27	Índice de daños por frío (IDF) de mangos tratados térmicamente, almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	91
28	Mangos variedad 'Keitt' tratados térmicamente, almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	92
29	Efecto de los tratamientos térmicos en el pH de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	96
30	Efecto de los tratamientos térmicos en la acidez de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	98
31	Efecto de los tratamientos térmicos en los sólidos solubles totales (SST) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	100
32	Efecto de los tratamientos térmicos en la pérdida de peso de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	101
33	Efecto de los tratamientos térmicos en la firmeza de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	102
34	Cambios en la respiración de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	104
35	Índice de madurez (IM) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	106
36	Efecto de los tratamientos térmicos en la luminosidad del color de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	107
37	Efecto de los tratamientos térmicos en el tono del color de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	109
38	Efecto de los tratamientos térmicos en la intensidad del color de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	111

39	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de fenoles totales en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	113
40	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de fenoles totales en la pulpa de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	117
41	Actividad de Polifenol oxidasa (PPO) en piel de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	122
42	Actividad de Polifenol oxidasa (PPO) en pulpa de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	123
43	Actividad de Peroxidasa (POD) en piel de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	124
44	Actividad de Peroxidasa (POD) en pulpa de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	125
45	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de clorofila en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	129
46	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de carotenoides en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	132
47	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de carotenoides en pulpa de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	135
48	Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de antocianos en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.	137

---

## RESUMEN.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de los tratamientos térmicos por vapor caliente en el control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y en la disminución de los síntomas de Daños por frío en mango variedad 'Keitt'.

Se trabajó con mangos variedad 'Keitt' procedentes de Sinaloa y se sometieron a tratamientos térmicos en las siguientes condiciones de temperatura y tiempo: 46°C por 10 y 20 minutos, respectivamente. Para evaluar el efecto de los tratamientos en el control de la antracnosis se inocularon frutos sanos con una solución de esporas del hongo *C. gloeosporioides*, posteriormente se aplicaron los tratamientos y se evaluó la presencia de la enfermedad a lo largo de la maduración. Para evaluar los daños por frío, los frutos tratados térmicamente se sometieron a una temperatura de almacenamiento de 5°C por 25 días, y posteriormente se transfirieron a 20°C. Los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza y color) y la respiración se determinaron durante la maduración. Además, se evaluaron los contenidos de fenoles totales, pigmentos (clorofila, carotenoides y antocianos) y las actividades enzimáticas (polifenol oxidasa y peroxidasa) y se estableció la relación con los síntomas de daños por frío en el fruto.

De los resultados obtenidos se encontró que los tratamientos térmicos con vapor caliente fueron efectivos para controlar la antracnosis, registrándose un daño moderado en los frutos sometidos a tratamientos de 46°C por 10 minutos y daños mínimos en los de 20 minutos. De igual manera, en el caso de los daños por frío el tratamiento de 46°C por 20 minutos fue el más efectivo para su control. En cuanto a los parámetros de calidad no se observó diferencia significativa entre los frutos tratados y los controles. Se estableció que los síntomas de daños por frío, evaluados como IDF presentaron una correlación con los cambios de polifenol oxidasa y peroxidasa, por lo que estos síntomas están relacionados con estas enzimas oxidorreductasas en mango. Los compuestos fenólicos de la piel del mango se incrementaron con las bajas temperaturas de almacenamiento, por lo que presentaron una relación con los daños por frío.

Los tratamientos por vapor caliente fueron efectivos para el control de la antracnosis y los daños por frío en mango variedad 'Keitt'.

## 1. Introducción.

El mango es un fruto climatérico, de color atractivo, delicioso sabor y propiedades nutritivas excelentes, que lo hacen susceptible de ser un producto ampliamente consumido (Mitra y Baldwin, 1997).

México es el mayor productor de mango de América y cuarto del mundo con 1,503,010 MT y es el mayor exportador del mundo con 216.316 MT de las 918.999 MT que se exportaron a nivel mundial en el 2003 (FAO, 2005).

La susceptibilidad de los frutos de mango a las enfermedades se incrementa después de la cosecha y en el almacenamiento prolongado, como un resultado de cambios fisiológicos que ocurren en los frutos, que hacen más fácil el desarrollo de patógenos. *Colletotrichum gloeosporioides* es el patógeno postcosecha más importante causante de Antracnosis en el mango (INFOAGRO, 2005).

Las frutas infectadas por *C. gloeosporioides* pueden tener apariencia sana al tiempo de la cosecha, pero la enfermedad se manifiesta durante el período de almacenamiento, cuando la fruta está en la etapa de maduración. La infección es evidente por la presencia de manchas de color café oscuro a negro sobre la superficie del mango, las cuales afectan su calidad y precio en el mercado. Esta enfermedad puede ser controlada con tratamientos químicos o biológicos (en pre y postcosecha) y térmicos (en postcosecha).

Por otra parte los mangos como muchas otras frutas tropicales y subtropicales, se dañan por las bajas temperaturas durante el almacenamiento. Periodos largos de almacenamiento a bajas temperaturas disminuyen el contenido de azúcar y ácido de las frutas. La conservación se mejora si los frutos son sometidos a un pre-tratamiento por calor antes de su almacenamiento en caso contrario se desarrollan daños por bajas temperaturas, denominadas daños por frío (INFOAGRO, 2005).

Como una propuesta para reducir las pérdidas postcosecha en el mango, principalmente por Antracnosis y Daños por Frío, se estudiaron los efectos que tiene la aplicación de los tratamientos térmicos como una medida para su control. Por este motivo el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la utilización de tratamiento térmico por Vapor Caliente sobre los parámetros fisiológicos, bioquímicos y de calidad, en el control de Antracnosis y Daños por Frío en el mango variedad 'Keitt'.

## 2. Antecedentes.

### 2.1 Generalidades del mango.

El mango (*Mangifera indica* L.) ha estado bajo cultivo desde los tiempos prehistóricos. Aparentemente es originario del noroeste de la India y el norte de Myanmar en las laderas del Himalaya y posiblemente también de Sri Lanka. Es una de las frutas más antiguas que consume el hombre. El mango está distribuido por todo el sureste de Asia y el archipiélago Malayo desde épocas antiguas. Los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales del Continente Americano, por medio del tráfico entre las Filipinas y México desde el puerto de Acapulco a la región del Golfo de México (estado de Veracruz) por los siglos XVI y XVII. La obtención en 1912 en Florida del excelente cultivar 'Haden', a la que luego seguirían otros cultivares como 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Keitt', 'Irwin', etc., marca, sin duda, el comienzo del desarrollo moderno de este cultivo en el mundo occidental (Galán-Sauco, 1999; INFOAGRO, 2005; CCI, 2005).

### 2.2 Clasificación botánica.

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la posición taxonómica siguiente (Shaw *et al.*, 1998; Galán-Sauco, 1999; CCI, 2005):

Nombre científico: *Mangifera indica* Linnaeus  
División: *Phanerogamae*.  
Subdivisión: *Angiospermae*.  
Clase: *Dicotyledonae*.  
Subclase: *Rosidae*  
Orden: *Sapindales*.  
Suborden: *Anacardiineae*  
Familia: *Anacardiaceae*.  
Género: *Mangifera*.  
Especie: *indica*.

Botánicamente el mango es una drupa carnosa, por lo tanto, el pericarpio se divide en tres capas: el epicarpio que consta de una delgada piel externa y ocupa del 8 al 22% del peso total del fruto, el mesocarpio que es una comestible capa carnosa intermedia ocupa del 55 al 75% y el endocarpio que

ocupa del 7 al 23% es una dura cáscara interior la cual rodea y protege a la única semilla del fruto, como se muestra en la figura 1 (Jagtiani *et al.*, 1988; Shaw *et al.*, 1998; Jacobi *et al.*, 2001<sup>b</sup>).



**Figura 1.** Diferentes tejidos del mango.

### 2.3 Descripción.

El mango (*Mangifera indica* L.) es considerado como uno de los frutos preferido a nivel mundial, a causa de su atractivo color, delicioso sabor, agradable fragancia y excelentes propiedades nutricionales, que lo hacen ser un producto ampliamente consumido (Salunkhe y Desai, 1984; Mitra y Baldwin, 1997).



**Figura 2.** Diferentes tipos de árboles del mango.  
Fuente: INFOAGRO (2005)

El mango es un cultivo de clima tropical y subtropical, por lo tanto su distribución geográfica se encuentra entre los trópicos de cáncer y capricornio. Las condiciones de clima que requiere este frutal para su desarrollo son: época seca, durante tres meses antes de la floración, temperatura óptima de 24 a 27°C y una altura máxima de 600 metros sobre el nivel del mar; el suelo en que se cultiva debe estar bien drenado, profundo y fértil (SIAP/SAGARPA, 2003).

El frutal es una planta arbórea erecta, originaria de la India, es un hermoso árbol de talla media, que puede alcanzar los 20-25 m de altura y en ocasiones hasta 40 m (Figura 2). Este árbol es de follaje persistente, con copa densa y ancha (Mitra y Baldwin, 1997).

Las frutas son drupas oblongas con ligeras variaciones en el tamaño, forma, color, presencia de fibra, textura, sabor y olor, según la variedad (Figura 3). El tamaño del fruto varía desde 5 hasta 30 cm de largo. El peso fluctúa entre 50 g hasta los que pesan más de 2 kg, la forma de la fruta varía de redonda a ovalada u oblonga, o bien puede ser alargada con una longitud que varía de 5 a 20 cm según la variedad o tipo de que se trate (FAO, 2005). La piel del fruto (epicarpio) es bastante fuerte, lisa, dura, cerosa y puede poseer una o varias combinaciones de color verde, amarillo, naranja, púrpura o rojizo cuando el fruto está maduro. La pulpa (mesocarpio) es extremadamente jugosa y puede o no ser fibrosa. Es firme, rica en azúcares y tiene un sabor que va de muy dulce a ácido ó agrio, mientras el color ronda de amarillo pálido a anaranjado intenso. Algunas tiene un olor a trementina, mientras que otras son agradablemente fragantes. La semilla es ovoide, oblonga o alargada la cual esta recubierta por una dura, gruesa y leñosa cáscara (endocarpio) con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la pulpa (Cruz y Pérez, 1998; Shaw *et al.*, 1998; INFOAGRO, 2005; FAO, 2005).



**Figura 3.** Diferentes variedades de mango  
Fuente: Fairchild Tropical Botanic Garden (2005).

## 2.4 Variedades.

Los rasgos primarios que diferencian a los cultivares son la forma y el color del fruto. Dentro de los rasgos secundarios se encuentran la forma de la especie de la hoja y los pares de nervadura en la misma y los rasgos terciarios incluyen a la configuración de la inflorescencia y de las hojas. Además de las numerosas variedades de semillero, más de mil cultivares vegetativos se encuentran

reportados. La mayoría de estos cultivares, originarios de la India, surgieron a partir de la selección de semilleros y de la manutención de recombinaciones controladas (Samson, 1986; Morton, 1987).

Los cultivares en el mundo se clasifican en dos grupos (Morton, 1987; CRFG, 1996; DIR's Hortinfo, 2000; Cornell University, 2002):

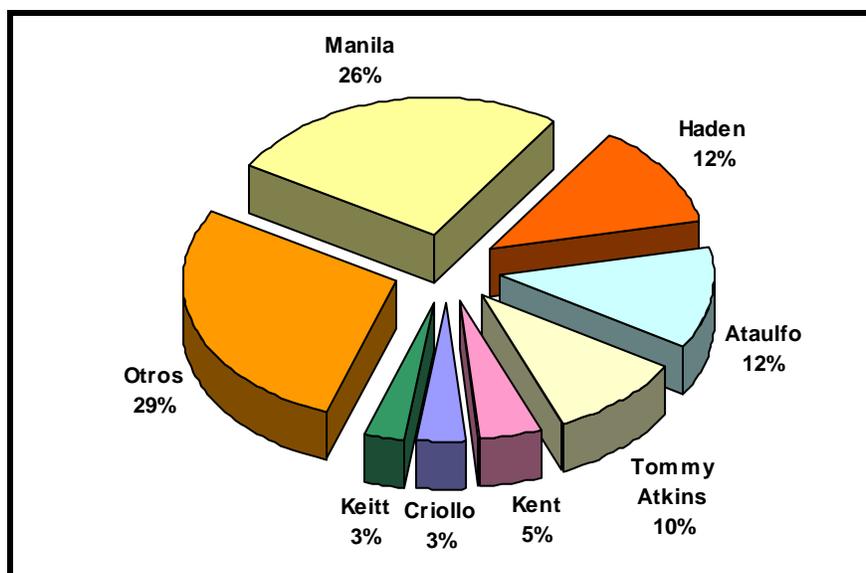
- a) Monoembrionicos (originarios de la India). La semilla tiene un solo embrión, que contiene los genes de ambos padres y produce un solo semillero. Son altamente coloreados, susceptibles a antracnosis, deterioro interno y tiene un carácter resinoso.
- b) Poliembrionicos (originarios de Indochina y Filipinas). Embriones, muchos semilleros que son genéticamente idénticos al árbol, la semilla tiene varias madres. Los frutos crecen de coloración atractiva y son relativamente resistentes a antracnosis.

La mayoría de las plantaciones comerciales de mango están establecidas sobre patrones poliembrionicos que aseguran la deseable homogeneidad de los mismos. Teniendo de hecho, cada zona productora, un patrón poliembrionico típico.

De los mangos mexicanos, el 65 % son selecciones de Florida, el 35 % son del tipo común que crece en Filipinas.

#### **2.4.1 Variedades que se cultivan en México.**

Las principales variedades cultivadas en México son: 'Ataulfo', 'Haden', 'Irwin', 'Keitt', 'Kent', 'Manila', 'Palmer', 'Sensation', 'Tommy Atkins' y 'Van Dyke' (tabla 1). Sin embargo, las que más se comercializaron en el 2003, fueron: 'Manila', 'Haden', 'Ataulfo', 'Tommy Atkins', 'Kent', 'Criollo' y 'Keitt' entre las cuales se concentró el 70% de la producción total (figura 4) (SIAP / SAGARPA, 2004; EMEX, 2005).



**Figura 4.** Principales variedades de mango cultivadas en México.  
Fuente: SIAP/SAGARPA (2004)

**Tabla 1.** Características principales de las variedades de mango cultivadas en México.

Variedad	Tamaño	Características	SA	SF	SEA	Estacionalidad	Principales estados productores
 Ataulfo	Pequeño y plano, de forma alargada	De tipo indonesio, cultivar de Hawái, descendiente del mango Manila, con un peso de 150-350 g, de color amarillo oro cuando esta maduro, de sabor muy dulce y casi en fibra.	B	A	M	Enero-Junio	Chiapas, Michoacán, Guerrero y Nayarit
 Haden	Forma oval regular, grande.	Descendiente de Mulgova, de origen indio. Introducido por el capitán Haden. Con un peso de 400-700 g de peso, color amarillo con tonalidades rojas, de sabor ligero con muy poca fibra.	A	A	F	Febrero-Agosto	Michoacán, Jalisco, Guerrero, Colima, Nayarit y Sinaloa
 Irwin	Forma oval alargada de tamaño mediano.	Descendiente "lippens", fruto con un peso de 350-450 g, Su piel es de color amarillo-naranja a rosa con tonos rojo oscuro. Su pulpa es amarilla, casi sin fibra, con un sabor dulce moderado.	M	B	B	Mayo-Julio	Nayarit, Guerrero, Michoacán
 Keitt	Es grande de forma oval redonda	Descendiente "Mulgova", originario de Homestead. Su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo verdoso con tonos rojo claro y lavanda. Su pulpa es de color amarillo-naranja, firme, libre de fibra y de sabor muy dulce.	B	A	B	Abril-Septiembre	Nayarit, Jalisco, Colima y Sinaloa

Variedad	Tamaño	Características	SA	SF	SEA	Estacionalidad	Principales estados productores
 Kent	Es de forma oval y grande.	Se deriva del semillero Sandersha. De 500 a 800 g de peso, su piel es de color amarillo grisáceo, hombros rojos y lenticelas pequeñas de color amarillo. Su pulpa esta libre de fibra, es jugosa y rica en azúcares.	M	B	M/A	Abril-Agosto	Michoacán, Nayarit, Jalisco, Sinaloa y Colima
 Manila	Forma alargada plana y pequeño.	Originario de México, de tipo filipino. De color amarillo, con un peso de 180-300 g y de sabor dulce.	B/M	B	M	Enero-Agosto	Chiapas, Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Colima y Sinaloa
 Palmer	Fruto grande de forma ovalada y gruesa.	Su piel es ligeramente gruesa, de color amarillo-naranja con tonos rojos, lenticelas grandes y numerosas. Su pulpa es amarilla, firme, con una moderada presencia de fibra .	M	M	B	Julio-Agosto y algunas veces septiembre	Baja California Sur, Sinaloa
 Sensation	De forma oval, oblicua y puntiagudo; de tamaño mediano-pequeño a mediano	Desciende de "Edgehill", su piel es delgada, adherente, de color amarillo brillante a amarillo-naranja con tonos rojizos, y con lenticelas pequeñas de color amarillo claro. Su pulpa presenta muy poca fibra, muy aromático, con un moderado sabor dulce.	M	B	B	Agosto-October	Guerrero
 Tommy Atkins	La fruta es de forma oval regular, de tamaño medio-grande	Desarrollado y cultivado para la exportación. De 300-700 g de peso, de color naranja-rojo con tonos oscuros y púrpuras, con lenticelas amarillas verdosas, de piel gruesa. Su pulpa es jugosa, firme, con poca fibra.	B	B	B	Febrero-Agosto	Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Campeche. Colima, Jalisco, Nayarit y Veracruz
 Van Dyke	Fruto de forma oblonga-oval, de tamaño pequeño	Es un cultivar relativamente nuevo. De 250-400 g de peso, tiene buen color rojo-amarillo. Su pulpa contiene una escasa presencia de fibra y una excelente calidad.	B	B	B	Junio-Julio	Oaxaca, Sinaloa

SA = Susceptibilidad a Antracnosis, SF = Susceptibilidad al Frío, SEA = Sensibilidad a Enfermedades de Almacenamiento; A = Alta, B = Buena, M = Mala, F = Fuerte.

Fuente: Samson (1986); Morton (1987); Galán-Sauco (1999); Aguirre y Fernández(1999); EMEX (2005); Páez (2005)

## 2.5 Importancia económica.

El mango, por su sabor único y atractiva apariencia, es considerado uno de los mejores frutos en el mercado mundial por ser una apreciada fuente de ingresos de exportación de los países productores (Salunkhe y Desai, 1984; Jacobi *et al.*, 2000).

Después de la uva, los cítricos, el plátano y la piña tropical, el mango es una de las especies de fruta tropical más comercializada en el mundo, pero ocupa el segundo lugar, tan sólo superándolo los plátanos, en términos de uso doméstico (Galán-Sauco, 1999; INFOAGRO, 2005; EMEX, 2005). Sin embargo, según cifras de la FAO, sólo se comercializa el 3.5% de la producción mundial (FAO, 2005).

### 2.5.1 Producción mundial del mango.

Debido a que la producción del mango requiere de la conjunción de factores climáticos que favorezcan su óptimo desarrollo, solo unos cuantos países pueden considerarse como productores potenciales de este frutal. El 71% de producción mundial en el 2004 se concentró en cinco países: India, China, Tailandia, México y Pakistán. Entre estos destaca la participación de India, que aportó cerca de la mitad del volumen total de la producción mundial, seguido a gran distancia de China, Tailandia, México y Pakistán, entre otros (figura 5 ) (FAO, 2005).

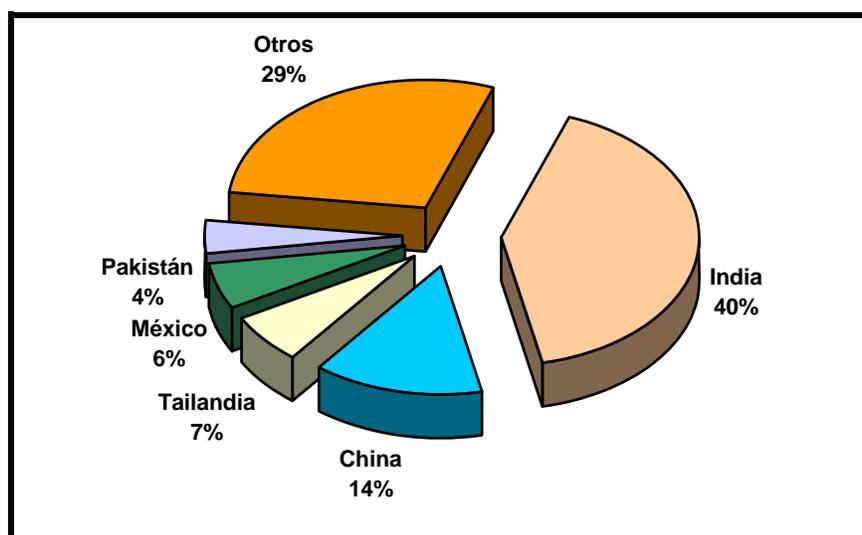


Figura 5. Distribución de la producción mundial de mango en el año 2004  
Fuente: FAO (2005).

### 2.5.2 Producción nacional.

México es el mayor productor de mango de América con 1,503,010 MT y cuarto del mundo. Con una superficie cultivada de 173,837 hectáreas ocupando el primer lugar por volumen de exportación en el mundo con el 24% de las exportaciones mundiales (figura 6 ), colocando 216,316 MT de las 918,999 MT que se exportaron en el 2003. Sin embargo, tan sólo el 14.4% de lo que produce lo dedica a la comercialización internacional en fresco y el restante 85,6% lo consume internamente (FAO, 2005). Sus exportaciones se destinan a los mercados de Estados Unidos (86%), Canadá (7,5%), Europa (3,2%) y Japón (1,85%) (Exploración de mercados, 2003).

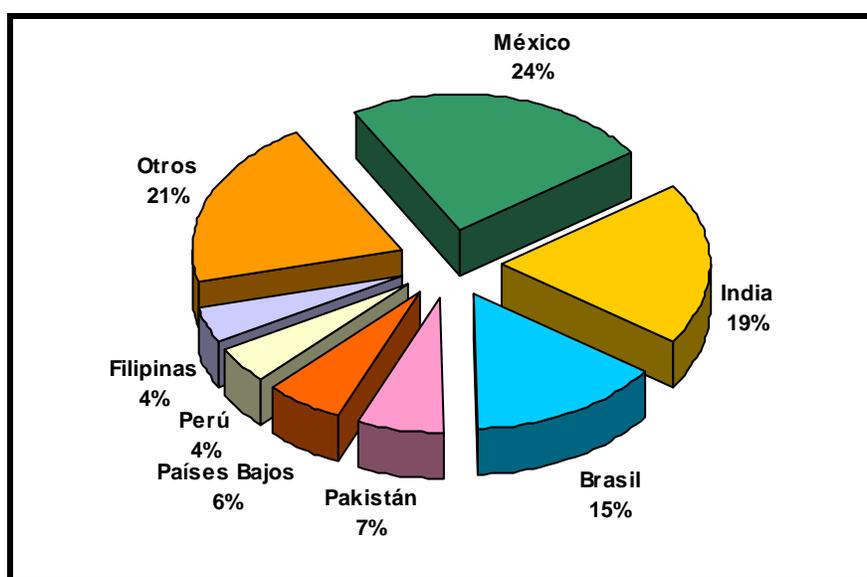
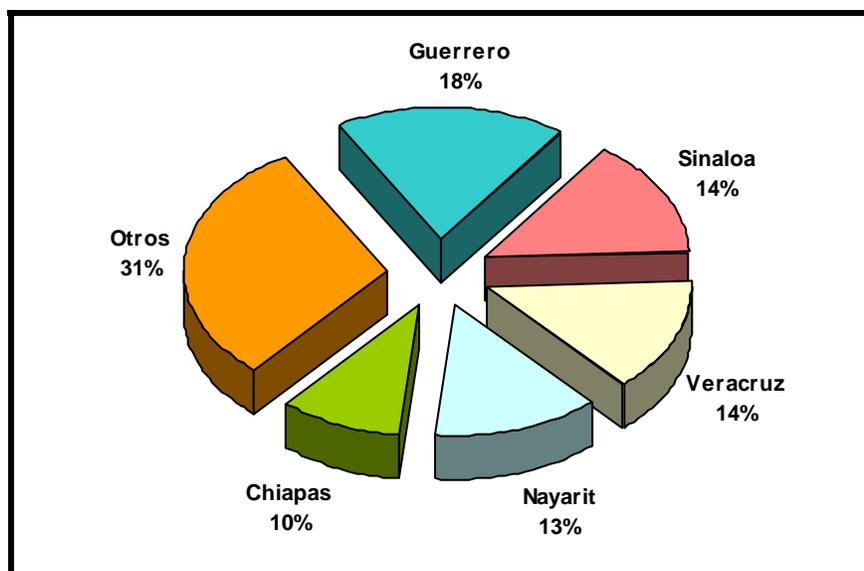


Figura 6. Distribución de la exportación mundial de mango en el año 2003.  
Fuente: FAO (2005).

### 2.5.3 Principales estados productores.

La importancia del mango es relevante, ya que dentro de los frutales, ocupa el tercer lugar en superficie cosechada con el 16.5% del total nacional y primer lugar durante el periodo en lo que a productores frutícolas de exportación se refiere. En México, las zonas productoras se ubican en las zonas costeras, más específicamente en los estados de: Guerrero, Sinaloa, Veracruz, Nayarit y Chiapas que en conjunto, aportan el 70% de la producción nacional (figura 7) (Allende *et al.*, 2002; SIAP / SAGARPA, 2004).



**Figura 7.** Distribución de la producción nacional de mango en el 2003.  
Fuente: SIAP/SAGARPA (2004)

#### 2.5.4 Estacionalidad y distribución geográfica.

En cuanto a la estacionalidad de la producción de mango en nuestro país, en enero se inicia la temporada de cosecha en Chiapas y en febrero se suman Guerrero, Oaxaca y Colima, entidades donde la época fuerte de producción se presenta a finales de junio. En estos estados se cultivan principalmente las variedades: 'Manila', 'Manililla', 'Criollo', 'Oro' y 'Ataulfo', de las cuales, a excepción de la 'Ataulfo', prácticamente toda la producción se comercializa en el mercado nacional. La oferta de mango proveniente de los estados de Veracruz, Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Michoacán se inicia prácticamente a partir del mes de mayo, extendiéndose su cosecha hasta agosto y en Nayarit y Sinaloa hasta septiembre. En estos cuatro estados se producen principalmente las variedades conocidas como "Petacones" ('Kent', 'Keitt', 'Tommy Atkins', 'Haden'), que son las más aceptadas en el mercado internacional (Allende *et al.*, 2002; SIAP / SAGARPA, 2004; FAO, 2005).

#### 2.6 Composición Química y Valor Nutritivo.

Por su sabor y aroma, el mango es un producto que generalmente se consume fresco, pero además es considerada como una fruta altamente saludable. Su alto contenido de vitamina A y C, minerales, fibras y anti-oxidantes; bajo en calorías, grasas y sodio, son cualidades adicionales que convierten a esta fruta en imprescindible en toda dieta balanceada (EMEX, 2005).

El mango es rico en vitaminas (A, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> y C), minerales (como potasio, hierro y calcio) y antioxidantes, como el  $\beta$ -caroteno. Tiene alto contenido en fibra, pocas calorías (aproximadamente 69 calorías por 100 g de porción comestible de mango), bajo en grasa (0.5 g) y baja concentración de sodio. Este fruto ayuda a la digestión, mejora la cicatrización, alivia los calambres y la acidosis, evita problemas cardiacos por su contenido de polifenoles y ácido gálico, protege las membranas, ayuda a la visión, estimula el metabolismo, ayuda a aliviar y prevenir el cáncer, estimula la memoria y la concentración (Gorinstein *et al.*, 1999; Soule y Harding, 1956). En la tabla 2 se muestra el valor nutritivo del mango variedad 'Keitt'.

**Tabla 2.** Valor nutritivo del mango variedad 'Keitt'.

Componentes	Cantidad por 100 g de porción comestible
Energía	251 kJ
Humedad	84.3 g
Proteína	1.0 g
Grasa	0.2 g
Carbohidratos	12.6 g
Fibra	1.5 g
Cenizas	0.4 g
Potasio	250 mg
Hierro	0.5 mg
Vitamina A	397 mg
Vitamina E	1.12 mg
Vitamina C	28 mg
Niacina (B <sub>3</sub> )	0.6 mg

Fuente: Mango keitt médium (2005); Keitt mango (2005).

Posee una fragancia inconfundible y penetrante, que invita a comerlo. Contiene una semilla pequeña en relación con el tamaño de la fruta, la pulpa es anaranjada amarillenta, jugosa, suave, fresca y dulce; con pocas a escasas fibras, su sabor es único y distinto a otras frutas. El mango se consume tanto como fruta fresca o jugos, helados, dulces, mermeladas, conservas. Industrialmente se procesa en pulpa, encurtidos y productos congelados (Aguirre y Fernández, 1999).

## **2.7 Cambios asociados al proceso de maduración.**

### **2.7.1 Cosecha.**

La etapa de madurez a la cosecha del mango es un importante factor que finalmente determina el periodo de conservación y la calidad del fruto (Kudachikar *et al.*, 2003). Los mangos se cosechan en un estado de madurez fisiológica (maduros verdes), la cual se logra después de haberse formado el fruto. Mangos cosechados antes del estado de madurez fisiológica no maduran normalmente, son susceptibles a los daños por bajas temperaturas y desarrollan una piel marchita y deficiencias en sabor, color y aroma (Jagtiani *et al.*, 1988). Mangos cosechados posteriormente presentan gran contenido de ácido, baja concentración de azúcares durante la cosecha, pueden desarrollar un ablandamiento de la pulpa adyacente al hueso, se afecta el sabor y color y aumenta la susceptibilidad al desarrollo de enfermedades (Planella, 1987; Flores, 2000).

Los índices de cosecha son muy subjetivos debido a las diferencias existentes entre mangos monoembrionicos, poliembrionicos, cultivares, zonas productoras, condiciones de producción y destino final (mercado interno o exportación). Sin embargo, se han tratado de definir en función de los parámetros físicos, químicos y fisiológicos que determinan el momento óptimo de la cosecha (Morton, 1987; CRFG, 1996; Aguirre y Fernández, 1999; PROEXANT, 2002)

La maduración del fruto depende de los cambios fisicoquímicos asociados con el crecimiento y desarrollo del fruto (Kudachikar *et al.*, 2003).

Los parámetros físicos ampliamente usados son: tamaño, peso, gravedad específica, firmeza, el color de la piel y la pulpa, formación de picaduras en el pedúnculo, color de las lenticelas, así como la posición de los hombros del fruto en relación con el pedúnculo (Shaw *et al.*, 1998; Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001). Un mango habrá alcanzado su madurez fisiológica cuando tenga textura firme, color verde y sus hombros hayan crecido por arriba del punto de inserción del pedúnculo (estando ya formados y llenos). Por tanto, los mangos destinados a la exportación y embarcados por aire, se cosechan en un estado de madurez fisiológico verde, y duro; si se embarcan por mar, entonces se cosechan semimaduros. Mangos con más de 15% de coloración amarilla, no se exportan y se destinan al consumo interno (Aguirre y Fernández, 1999).

Los parámetros químicos que se utilizan son el contenido de sólidos solubles, acidez, contenido de carbohidratos, carotenoides, formación de compuestos aromáticos y constituyentes fenólicos (Shaw *et al.*, 1998; Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001).

Con el fin de evitar confusión, es necesario diferenciar el concepto de madurez fisiológica y madurez comercial. La madurez fisiológica, es cuando el mango se encuentra en estado verde y ha desarrollado una serie de cualidades aparentes (tamaño, color y forma), pero aún no ha desarrollado los cambios físicos, químicos, bioquímicos y organolépticos, que le dan calidad al fruto. Cuando se hable de madurez comercial es cuando el fruto está listo para ser consumido, en esta etapa el consumidor reconoce los atributos tales como sabor, color, aroma, textura y capacidad nutricional, que definirá si el estado del producto le satisface para decidirse por su adquisición y ser consumido (Ketsa *et al.*, 1991; Ryugo, 1993; London Fruit, 2000; Medicott, 1992; INFOAGRO, 2005).

### **2.7.2 Respiración.**

La división de los frutos de acuerdo a su patrón respiratorio ha servido para estimular una investigación considerable para describir el control bioquímico del climaterio.

El climaterio marca la transición del crecimiento (maduración) a la senescencia. El periodo de maduración de los frutos climatéricos (mango, tomate, banana, manzana, etc.) es caracterizado por una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción autocatalítica de etileno y un incremento en la respiración. Durante el climaterio ocurren también todos los cambios característicos de la maduración: formación de color, sabor y aroma (Salunkhe y Desai, 1984; Flores, 2000). En cambio los frutos no-climatéricos (cítricos, piña, uva, fresas) no exhiben un incremento respiratorio. Este grupo de frutos muestra la mayoría de los cambios de maduración, aunque estos ocurren más lentamente y no va acompañado de una producción autocatalítica de etileno (Wills *et al.*, 1989).

El inicio del descenso de la tasa respiratoria de los frutos inmaduros es acompañado por una constante desaparición del almidón. El subsecuente aumento climatérico corresponde al periodo en el cual los frutos están en óptimas condiciones para ser cosechados, almacenados y consumidos, respectivamente. El descenso de la actividad respiratoria en el postclimaterio indica el inicio de la senescencia, así como la disminución de las propiedades de consumo y conservación (Ryugo, 1993).

La respiración es un proceso catabólico, que en las plantas se envuelve la oxidación enzimática de azúcares a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua acompañado por la liberación de energía. Sin embargo,

otras sustancias tales como ácidos orgánicos y proteínas también entran en la cadena respiratoria. Las pérdidas de éstas reservas alimenticias almacenadas por las plantas son de mucho interés, al igual que la necesidad de oxígeno (O<sub>2</sub>), producción de CO<sub>2</sub> y energía liberada. El agua producida en éste proceso no es significativa en el contexto del manejo postcosecha (Flores, 2000).



Esta ecuación (inversa a la fotosíntesis) nos indica que por la combustión de una hexosa en presencia de 6 moles de O<sub>2</sub>, se forman 6 moles de agua, 6 moles de CO<sub>2</sub> y se liberan 673 kcal.

Las células vivas respiran, desprendiendo bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) mientras consumen oxígeno (Ryugo, 1993). Así es como el consumo de oxígeno y producción de CO<sub>2</sub>, puede tener efecto sobre los productos almacenados. Además evidencian la necesidad de reemplazar el oxígeno consumido y remover el CO<sub>2</sub> producido en el almacén.

La respiración es el principal factor biológico responsable del deterioro de los productos vegetales. En general, los productos que tienen una mayor velocidad de respiración (brócoli, por ejemplo) se deterioran más rápido que aquellos con bajas velocidades (cebolla, por ejemplo). La mayor parte de los controles aplicados en postcosecha se dirigen a reducir la velocidad de respiración, con el consecuente aumento de la vida utilizable del producto. Es muy importante conocer la velocidad de respiración para cada producto y temperatura, pues nos da información sobre: sustrato oxidado, determinando pérdida de alimento y peso vendible (Flores, 2000).

### **2.7.3 Producción de etileno.**

El proceso de maduración puede entenderse como el conjunto de cambios que suceden generalmente luego que el proceso de crecimiento del fruto ha cesado y que determina que adquiera la mejor calidad desde el punto de vista del consumidor (Flores, 2000).

El etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) es una fitohormona naturalmente producida por las plantas. Juega un papel muy importante afectando su crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia, a concentraciones tan bajas como 0,01 ppm. En frutos climatéricos de madurez fisiológica, acelera la maduración, ya sea por su producción endógena o adicionado externamente (Flores, 2000; Hulme, 1970).

El mango produce un pequeño pero notable pico de etileno al inicio del climaterio que es suficiente para iniciar la maduración (Gómez-Lim, 2000).

La producción de etileno empieza antes de que el mango madure completamente. El etileno es la principal fitohormona. Se cree que todos los tejidos vegetales siguen una ruta biosintética común para producir etileno el proceso inicia con la conversión de metionina a S-adenosil metionina (SAM), por la acción de la enzima metionina adenosil transferasa. El SAM se transforma por la acción de la enzima ACC sintetasa en ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). Finalmente, al actuar la enzima ACC oxidasa, el ACC se convierte en etileno (McMurchie *et al.*, 1972; Terai y Mizuno, 1985).

Por lo tanto, las dos enzimas claves que controlan la biosíntesis del etileno: la 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) sintetasa y ACC oxidasa (enzima formadora del etileno). Durante la maduración, los niveles de ACC son bajos en el fruto verde y se acumulan rápidamente por la síntesis de etileno (Terai y Mizuno, 1985; Reid, 1994).

Esto implica que la ACC sintetasa puede ser la enzima clave en el control de la síntesis del etileno. En postclimaterio, los niveles de ACC permanecen altos mientras que la producción de etileno disminuye, esto indica que la ACC oxidasa se vuelve inactiva. Las enzimas involucradas en la biosíntesis del etileno así como la producción de etileno disminuyen durante la maduración, mientras que el contenido de ACC, que es el precursor del etileno, aumenta en los diferentes tejidos (piel, mesocarpio exterior e interior). Las semillas del mango también producen etileno durante la maduración (Tucker, 1987).

Los mangos al madurar desarrollan características organolépticas, físicas, químicas y fisicoquímicas que determinan su calidad.

#### **2.7.4 Carbohidratos en el mango.**

Durante la maduración del mango, el almidón acumulado se hidroliza, con la formación de azúcares. La hidrólisis de los gránulos del almidón en el cloroplasto continúa hasta la maduración (Medlicott *et al.*, 1986; Selvaraj y Kumar, 1994).

La glucosa, la fructosa y la sacarosa constituyen la mayoría de los monosacáridos, que se han distribuido para estar en concentraciones similares en los mangos maduros (Shashirekha y Patwardhan, 1976; Shaw *et al.*, 1998), La sacarosa contribuye el 57% de azúcar total en los mangos

maduros variedad 'Keitt', la fructosa y la glucosa un 28 y 15%, respectivamente (Medlicott y Thompson, 1985; Shaw *et al.*, 1998). Diversos trabajos sugieren el aumento simultáneo de la glucosa, fructuosa y sacarosa durante la maduración (Krishnamurthy *et al.*, 1971; Lakshminarayana, 1973; Lakshminarayana, 1975; Shashirekha y Patwardhan, 1976). Sin embargo, trabajos con cultivares del mango de la Florida ('Haden', 'Irwin', 'Kent' y 'Keitt'), mostraron una reducción gradual en glucosa y fructosa y un aumento continuo de la sacarosa durante la maduración (Vázquez-Salinas y Lakshminarayana, 1985).

El rompimiento de carbohidratos poliméricos, especialmente sustancias pécticas y hemicelulosas debilitan las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen las células unidas. En los estados iniciales del fruto, la textura se hace más palpable, pero al final la estructura de fruto se desintegra. Protopectina es la forma parental insoluble de las sustancias pectídicas, durante la maduración la protopectina es degradada gradualmente a fracciones de menor peso molecular, que son más solubles en agua. La velocidad de degradación de las sustancias pécticas esta directamente correlacionada con la de ablandamiento del fruto (Forney y Breen, 1986; Flores, 2000).

### **2.7.5 Pigmentos en el mango.**

El color de la piel es un importante criterio de aceptación del mango. Durante la maduración el color de la piel cambia gradualmente de verde a naranja/amarillo. Algunos cultivares desarrollan un enrojecimiento, el cual ha sido atribuido a los antocianos, mientras que otros, retienen el color verde, cuando están totalmente maduros (Medlicott *et al.*, 1986; Lizada, 1993).

El desarrollo del color es asociado con una pérdida de la textura, incremento del contenido de azúcares, y disminución de la acidez. En las frutas, la coloración verde y amarilla es impartida por lípidos solubles en clorofila y carotenoides presentes en los plástidos, mientras que el color rojo puede ser por los carotenoides o por los antocianos solubles en agua que se encuentran en la vacuola (Medlicott *et al.*, 1986).

También se ha reportado diferentes desarrollos del cambio en carotenoides y antocianinas, con el incremento en la formación de los primeros durante la maduración. En contraste, los niveles de antocianinas gradualmente declinan, indicando un incremento prominente de rubor en algunos cultivares al incrementarse el contenido de carotenoides. El desarrollo del color de la piel es acompañado por cambios ultraestructurales asociados con la transición cloroplasto-cloroplasto (Medlicott *et al.*, 1986; Lizada, 1993; Ketsa *et al.*, 1999).



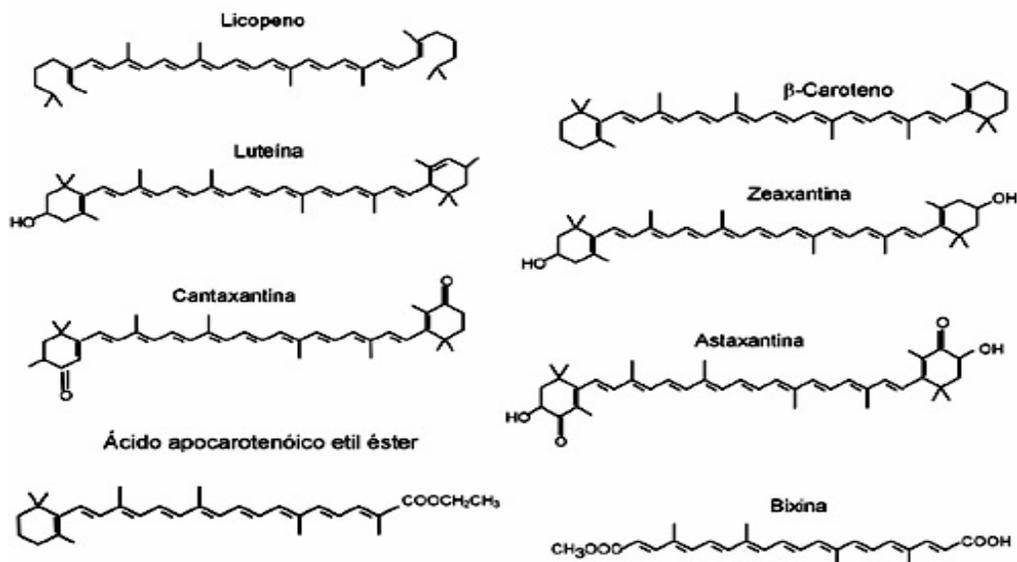
fotosintéticos se encuentra en la mayoría de las frutas y los vegetales con una gran variedad de carotenoides, incluyendo  $\beta$ -caroteno, luteína, neoxantina y violaxantina (Hernández-Ríos *et al.*, 2000).

Su efecto antioxidante hace que estos compuestos tengan un papel esencial para proteger a los organismos de que no sufran daños durante la fotosíntesis, el proceso de convertir la luz solar en energía química (Healthnotes, 2004).

Los carotenoides se encuentran en todos los alimentos de origen vegetal. En general, mientras mayor sea la intensidad del color, mayor será el contenido de carotenoides (Healthnotes, 2004).

Los carotenoides son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas y son virtualmente insolubles en agua. Se disuelven en solventes grasos como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo. Los carotenos son fácilmente solubles en éter de petróleo y hexano (UDEA, 2003).

Los carotenoides se clasifican en dos grupos: carotenos y xantofilas. Los carotenos solo contienen carbono e hidrógeno (por ejemplo el  $\beta$ -caroteno, el licopeno, etc.), mientras que las xantofilas contienen además oxígeno (por ejemplo la luteína).



**Figura 9.** Carotenoides más distribuidos en la naturaleza.  
Fuente: Carotenoides Biológica (2000).

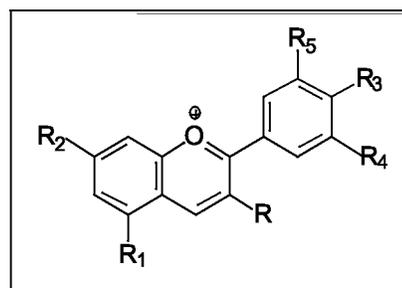
### 2.7.5.3 Antocianos.

Los antocianos, son compuestos flavonoides, varían de tinte rosado pasando por el rojo subido hasta el púrpura (rojo-azulado) en el reino vegetal y se localizan en la vacuola de las células (Ryugo, 1993; CLIA, 2002).

Los antocianos son muy sensibles a las variaciones de pH. Las antocianinas son generalmente rojas en medio ácido, viran al violeta y después al azul oscuro cuando el pH se hace alcalino; del mismo modo la presencia de oxígeno es un factor importante de inestabilidad, también la elevación de la temperatura produce pardeamiento. La presencia de metales, modifica la estabilización de los antocianos (Bueno, 1997).

Los antocianos, pigmentos flavonólicos, tienen una estructura química adecuada para actuar como antioxidantes, pueden donar hidrógenos (Miller y Rice-Evans, 1997; Wang *et al.*, 1997), o electrones a los radicales libres o bien atraparlos y desplazarlos en su estructura aromática (Ramírez *et al.*, 2001). Una actividad antioxidante óptima se relaciona con la presencia de grupos hidroxilos, los cuales confieren una elevada estabilidad al radical formado (Sánchez-Moreno, 2002). Los grupos hidroxilos libres, junto con el grupo carbonilo son donadores de electrones (Rice-Evans *et al.*, 1996).

AGLICONA	R	R1	R2	R3	R4	R5
apigenidina	H	OH	OH	OH	H	H
peonidina	OH	OH	OH	OH	OMe	H
rosinidina	OH	OH	OMe	OH	OMe	H
cianidina	OH	OH	OH	OH	OH	H
malvidina	OH	OH	OH	OH	OMe	OMe
hirsutidina	OH	OH	OMe	OH	OMe	Ome



**Figura 10:** Estructuras de antocianos comúnmente encontrados en tejidos vegetales.

La diversidad estructural contribuye favorablemente a la existencia natural de unos 300 antocianos con diferentes sustituciones glucosídicas (Harborne y Willams, 2000), en la estructura básica del ion fenil-2-benzopirilio o flavilio, representado en la Figura 10.

### 2.7.6 Ácidos orgánicos.

Los ácidos orgánicos disminuyen conforme el fruto madura, por lo que se produce un descenso de la acidez. Los ácidos pueden considerarse como una fuente de reserva de energía del fruto y en

consecuencia disminuyen durante la actividad metabólica que ocurre durante la maduración (Flores, 2000). En la disminución de los ácidos orgánicos cuando la fruta madura, el ácido predominante es ácido cítrico, seguido por cantidades que varían de ácidos glicólico, málico, tartárico y oxálico (Shashirekha y Patwardhan, 1976; Sarker y Muhsi, 1981; Medlicott y Tompson, 1985).

Los ácidos orgánicos predominantes en los mangos 'Keitt ' son ácido cítrico y málico, pero los ácidos tartárico, oxálico, ascórbico y  $\alpha$ -Ketoglutárico también fueron identificados (Medlicott y Tompson, 1985).

En general, los niveles de citrato y succinato disminuyen gradualmente durante la maduración, mientras los niveles de malato sufren cambios diferentes dependiendo del cultivar (Lizada, 1993). Los patrones de actividad de la fosfoenol pirúvato carboxilasa (PEPC) y pirúvato decarboxilasa durante la maduración del mango varía dependiendo del cultivar, mientras que la actividad de la enzima málica aumenta durante la maduración (Selvarajad y Kumar, 1994).

### **2.7.7 Compuestos Nitrogenados.**

Las proteínas y aminoácidos libres son constituyentes menores en el fruto y no tienen efecto sobre la calidad comestible. Los cambios en estos compuestos indican variaciones en la actividad metabólica durante las diferentes fases de crecimiento.

En la fase climatérica hay una disminución de los aminoácidos libres, provocando un incremento en la síntesis de proteínas. Durante la senescencia el nivel de aminoácidos libres incrementa, reduciendo la actividad metabólica y degradación enzimática (Flores, 2000).

### **2.7.8 Compuestos volátiles.**

El sabor de los frutos es basado principalmente en el balance entre los azúcares y los ácidos orgánicos, y de numerosos compuestos aromáticos (Medlicott y Thompson, 1985).

Los compuestos aromáticos son producidos durante la maduración normal del mango para su consumo (Gómez-Lim, 2000; Ryugo, 1993), lo cual explica porque los frutos cosechados prematuramente pierden su sabor. Las sustancias aromáticas fácilmente escapan de los frutos que son mantenidos en el ambiente o se procesan (Ryugo, 1993).

Los diferentes cultivares de mango pueden ser distinguidos sobre la base de su aroma y sabor. La composición de los compuestos volátiles producidos por el mango es probable que cambien como consecuencia de la maduración (Gómez-Lim, 2000).

El perfil de compuestos volátiles responsables del aroma del mango es muy complejo, en estudios realizados se sugieren que algunos hidrocarburos monoterpenos cíclicos son responsables del sabor del mango, junto con ésteres, lactonas y ácidos grasos. Los hidrocarburos del monoterpeno representan casi 49% ( $P/p$ ) de volátiles totales en los mangos variedad 'Kensington', con el  $\alpha$ -terpinoleno con el 26% constitutivo más abundante y 16 ésteres que representan el 33% (MacLeod *et al.*, 1988).

Algunos mangos poseen un sabor parecido al durazno, que puede estar relacionado a la presencia de algunas lactonas importantes y de ésteres, los cuales son los principales contribuyentes al sabor y aroma de los duraznos (Lakshminarayana, 1980; Wilson *et al.*, 1990).

#### **2.7.8.1 Cambios relacionados con el aroma.**

El aroma juega un papel importante en el desarrollo de la calidad en muchos frutos. Debido a la síntesis de muchos compuestos orgánicos volátiles, durante la fase de maduración. La calidad del carbón envuelto en la síntesis de compuestos volátiles es menor de un 1% del desprendido como CO<sub>2</sub>. El mayor compuesto volátil formado es el etileno, el cual representa el 50 a 75% del total del carbón en los volátiles. El etileno no contribuye a los aromas típicos del fruto y la cantidad de compuestos aromáticos es muy pequeña (Flores, 2000).

#### **2.7.9 Compuestos fenólicos.**

Los compuestos fenólicos están ampliamente distribuidos y sus funciones están relacionadas con la protección frente a las heridas y enfermedades, ya que su concentración aumenta después de alguna infección, además se relacionan con procesos de oxidación y son indicadores de la maduración del fruto (Hobson, 1993).

Los compuestos fenólicos sencillos pueden considerarse derivados de fenoles simples, del ácido benzoico, de la acetofenona y del ácido cinámico (fenilpropano). Biosintéticamente derivan de la vía del ácido shikímico. Por repetición de las unidades del ácido benzoico y del ácido cinámico se forman las estructuras poliméricas de los taninos, melaninas y ligninas.

Los polifenoles son derivados de los fenilpropanoides e incluyen una gran variedad de compuestos. El contenido de polifenoles, puede cambiar durante la maduración del mango dependiendo del cultivar, es alto en la parte temprana del crecimiento, decrece durante el inicio de la maduración y esta asociada con la pérdida del contenido fenólico. Estos compuestos restringen el consumo de los frutos hasta que alcanzan la maduración, forman parte de los pigmentos y contribuyen al sabor. La piel de la fruta tiene más alto contenido fenólico que la pulpa en todas las etapas del desarrollo (Mabry, 1970; Lakshminarayana, 1980; Gómez-Lim, 2000; Hobson, 1993).

Los compuestos fenólicos también participan en el sabor del fruto: los ácidos fenólicos proporcionan acidez, los flavanos astringencia y las flavonas amargor. Los flavonoides, constituyen el grupo más amplio de los fenoles naturales. Son sustancias de origen vegetal y les dan los colores (rojos, azules, amarillo) a las flores y las hojas de otoño. Los derivados del ácido cinámico son compuestos importantes y están ampliamente distribuidos. Forman parte de los fenoles más complejos. Los flavanos están ampliamente distribuidos y se localizan a altas concentraciones en las capas externas de los frutos, descendiendo su contenido con la maduración, los más comunes son la catequina y la epicatequina (Hobson, 1993). Las flavonas son compuestos fenólicos que suelen provocar las sensaciones de astringencia y amargor en la sapidez del fruto inmaduro. El contenido en flavonas suele disminuir durante la maduración y esto provoca una mejora de la sapidez que es una característica normal del proceso de maduración (Pantastico, 1987).

Otro tipo de polifenoles encontrados en el mango son los alkenilresorcinoles, los cuales han sido detectados en la piel y la pulpa, predominantemente, de frutos inmaduros y disminuyen en cantidad durante el proceso de la maduración. Estos compuestos parecen ser importantes en la resistencia contra patógenos fúngicos de frutos inmaduros (Lizada, 1993; Gómez-Lim, 2000).

#### **2.7.10 Principales enzimas relacionadas con la textura.**

La maduración del mango se caracteriza por el ablandamiento de la pulpa. El climaterio se asocia con la pérdida de firmeza en el fruto. La información disponible con relación a la pared celular y el proceso de ablandamiento puede obedecer a procesos enzimáticos y no enzimáticos (Hulme, 1970; Díaz, 2002).

El ablandamiento del mango se caracteriza por un aumento en la solubilidad de las pectinas de la pared celular. La temperatura es muy importante no solo en la maduración del mango, sino también en la actividad de las enzimas que causan el ablandamiento de la fruta. La enzima poligalacturonasa

(PG), responsable de la degradación del enlace  $\alpha$ -1-4 de los residuos del ácido galacturónico, y la enzima pectinesterasa (PE), que cataliza la desesterificación de los grupos metilos de las pectinas ácidas, se encuentra presente en mangos maduros. Otras hidrolasas de la pared celular que también se encuentran presentes en mangos maduros son las celulasa,  $\beta$ -galactosidasa, galactanasa y xilanasas. La masa molecular de las hemicelulosas de la pared celular disminuye durante la maduración lo que indica también, que se lleva a cabo un proceso no enzimático durante el ablandamiento de la pulpa. En general, los polisacáridos solubles en agua aumentan durante la maduración (Hulme, 1970).

## **2.8 Pérdidas postcosecha del mango.**

Las pérdidas postcosecha en México se calculan en un rango de 25-45 %, y pueden ser atribuidas a tres factores principalmente: ataque de plagas (mosca de la fruta), infecciones (antracnosis), desordenes fisiológicos (daño por frío) y daño mecánico por un mal manejo desde la cosecha hasta que llega al consumidor (Becerra, 1995; Aguirre y Fernández, 1999; Páez, 2005).

### **2.8.1 Plagas y Enfermedades postcosecha.**

Siendo muy amplio el número de insectos que atacan al fruto del mango, entre las más importantes se encuentra la mosca de la fruta, otros ejemplos de insectos que infestan al fruto son: insectos escaladores, trips, ácaros, capsid bug, escarabajos verdes, pulgones, cochinillas (Ploetz, 2003). Donde las de mayor importancia en el mango, se muestran en la tabla 3.

La Trips de Cinta Roja (*Selenothrips Rubrocintus*) es el más dañino del mango, su daño puede observarse a simple vista. Las hojas atacadas se decoloran y secan, reduciendo el vigor de la planta. Las plantas muy atacadas pueden desarrollar fumagina a partir de las excreciones azucaradas. Los frutos atacados por este trips reducen la producción y los pocos frutos son de calidad inferior. Su control se hace aplicando químicos y/o biológicos. En el caso de control con productos químicos, el más usado es el malathión (endosulfan) (Galán-Saúco, 1999; Ploetz, 2003).

Otro grupo de plagas lo representan las moscas de la fruta (*Anastrepha ludens*) y la mosca del caribe (*Anastrepha Fraterculus*). Son del mismo tamaño que la mosca común, pero de color amarillento y poseen dibujos en las alas. Se controlan aplicando malathión y diazinón en dosis recomendadas (Galán-Saúco, 1999; Páez, 2005).

**Tabla 3.** Principales plagas que atacan a los frutos del mango.

Plaga	Agente parásito	Síntomas	Control
 Mosca de la fruta	<i>Bactrocera phillipensis</i> <i>Bactrocera occipitalis</i> <i>Anastrepha ludens</i>	Las hembras de las moscas depositan sus larvas en la pulpa de la fruta, estas emergen haciendo túneles, con lo que se facilita la pudrición. En los frutos maduros se observan manchas de color café en los puntos de ovoposición.	Se utiliza el manejo integrado con distintas estrategias. Embolsado, utilización de trampas y control químico.
 Gorgojo del Mango	<i>Sternochaetus frigidus</i>	Esta plaga, hace pequeños túneles dentro de la pulpa, haciéndola no comestible.	No se conoce un tratamiento eficaz contra esta plaga.
 Insecto harinoso	<i>Ferrisia virgata</i> <i>Planococcus lilacinus</i>	Los insectos se localizan en la parte superior y emigran a las partes bajas del fruto, se alimentan de la savia del fruto, persisten en la poscosecha alterando la apariencia y calidad de los frutos.	Colocando bolsas en los frutos antes de la cosecha, las cuales deben permanecer cerradas hasta la cosecha.
 Taladrador de la semilla.	<i>Sternochetus Mangifera fabricius.</i>	Se observan pequeñas marcas oscuras en la superficie del fruto en los puntos de ovoposición. Cuando emerge el adulto deja un poco atractivo agujero.	El control es difícil, únicamente adoptando medidas higiénicas

Datos recopilados a partir de información de: Galán-Saúco, (1999); Mitra y Baldwin, (1997); Shaw *et al.*, (1998); Ploetz, (2003) y Mango information Network, (2005).

Figuras recopiladas de: Mango Information Network, 2005; DPIF Queensland Australia, 2004; Dave's Garden, 2004.

Otras plagas son La Escama Harinosa (*Pseudococcus Aonidium*), la Escama Verde del Mango (*Coccus Manguifera*), Escama Roja (*Chrysomphalus dictijospermi*) que son *Cóccidae* que succionan la savia y depositan los excrementos azucarados sobre los cuales se desarrollan hongos como la fumigina, que interfieren en la fotosíntesis de la planta (Páez, 2005).

Por último el Falso Piojo Blanco (*Aulacapsis Tubercularis*) se localiza en las hojas, tronco y en las frutas del mango (Ploetz, 2003; Páez, 2005).

### 2.8.1.1 Enfermedades postcosecha.

Las enfermedades postcosecha pueden ocasionar serias pérdidas de fruta tanto en términos de cantidad, como de calidad. Los mangos infectados con enfermedades pierden valor comercial (Wilson *et al.*, 1994; Allende-Molar *et al.*, 2002). Hay muchas enfermedades postcosecha que afectan al mango. Sin embargo, las más comunes son: la muerte negra, pudrición por *Alternaria*, pudrición por moho negro, pudrición por *Rhizopus*, costra del mango y antracnosis, siendo ésta la más importante en todos los sitios de producción a nivel internacional del mango (Tabla 4).

**Tabla 4.** Principales enfermedades que presentan los frutos del mango.

Enfermedad	Agente causal	Síntomas	Control
 Antracnosis	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz <i>C.gloeosporioides Minor Simmonds</i>	Las infecciones latentes se manifiestan hasta la postcosecha. Se forman pequeñas lesiones de color marrón, necróticas de forma irregular, al final se forman masas de esporas de color rosa salmón.	Para frutos de exportación tratamientos de inmersión en agua caliente a 55° C, 5 minutos. Tratamientos químicos con fungicidas.
 Pudrición en el pedúnculo	<i>Dothiorella dominicana</i>  <i>Dothiorella mangifera</i>  <i>Lasiodiplodia theobromae.</i>	Se desarrollan en la parte basal del fruto avanzando con la maduración, se manifiestan por un ennegrecimiento superficial alrededor del pedicelo.	Recolección con parte del pedicelo. Tratamientos térmicos con fungicidas (50-55° C, 5-10 minutos).
 Mancha negra.	<i>Alternaria alternata</i> keisler	Se manifiestan durante la maduración apareciendo manchas negras de forma circular alrededor de las lenticelas.	Se aplican fungicidas en precosecha y postcosecha.
 Mancha negra Bacterial	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>mangiferae indicae.</i>	Aparecen manchas pequeñas e irregulares, húmedas alrededor de las lenticelas que se revientan y supuran, causando nuevas manchas.	Instalación de barreras y poda de los brotes infectados.

Fuente: Datos recopilados de: Galán-Saúco (1999); Mitra y Baldwin (1997); Shaw *et al.* (1998); Ploetz (2003) y Mango information Network (2005).

Figuras recopiladas de: Mango Information Network, 2003; DPIF Queensland Australia, 2004; Dave's Garden, 2004.

Otras enfermedades que atacan al fruto del mango son: Oídio, costras (Scab), moho ennegrecido (Sooty mould), gomosis , Moho negro (Black mildew) (Ploetz, 2003).

❖ **Oídio (*Oidium mangifera*).**

Esta enfermedad causa serios problemas si no se controla oportunamente, principalmente en la fase de floración y cuaje de los frutos. La proliferación de este hongo es favorecida por un ambiente seco y bajas temperaturas nocturnas. Los signos de la enfermedad se observan por la presencia de micelio pulverulento que cubre inflorescencias, sus raquis y pequeños frutos (Roberts y Boothroyd, 1978; Aguirre y Fernández, 1999; Páez, 2005).

❖ **Roña (*Elsinoe mangifera*).**

Causa una especie de ralladura a los frutos, su daño es superficial solo se limita a la piel del fruto. Para su control se aconseja hacer aplicaciones con Benomyl, Tiabendazole o con un fungicida a base de cobre (Allende-Molar *et al.*, 2002; Páez, 2005).

❖ **Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*).**

Es una enfermedad que se encuentra presente en casi todas las áreas productoras del mundo. Ataca hojas, inflorescencia y frutos, se manifiesta con mayor severidad en climas húmedos, sin embargo, el invierno, la primavera y climas secos disminuyen notablemente la incidencia de este hongo, lo que permite obtener frutos de muy buena calidad. Los frutos infectados presentan manchas de color marrón irregulares que se resecan, en los frutos maduros infectados, pueden causar pérdidas considerables durante el transporte, almacenamiento y venta del producto (Aguirre y Fernández, 1999; Páez, 2005).

### **2.8.1.2 Antracnosis.**

Dentro de las enfermedades fúngicas más comunes es la antracnosis, una de las más importantes que ataca a una gran variedad de frutos como: mango, papaya y aguacate, principalmente.

La antracnosis es una enfermedad que se presenta ampliamente en el mango causando serias lesiones y pérdidas en follaje, tallos, flores, frutos jóvenes o maduros bajo condiciones de alta humedad relativa, lluvias frecuentes y una temperatura de 24-32°C (Mitra y Baldwin, 1997; Galán-Saúco, 1999; Allende-Molar *et al.*, 2002; Ploetz, 2003).

Esta enfermedad es de las más importantes del mango, sobre todo en regiones de temperaturas altas con humedades relativas arriba del 95% (Fitzell y Peak, 1984). En México se encuentra diseminada en las diferentes entidades federativas en donde se produce el mango, con ataques destructivos en floración, fructificación y postcosecha, es por ello que causa pérdidas considerables en producción tanto en precosecha como en postcosecha (Cook, 1975; Prusky, 1991; Becerra, 1995).

La antracnosis es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* que ataca el mango, puede tener apariencia sana al tiempo de la cosecha, pero la enfermedad se manifiesta durante el almacenamiento o cuando el mango está en la etapa de maduración. La infección en el fruto se caracteriza por el desarrollo de manchas negras y hundimientos en la superficie que aumentan conforme éste va madurando, con frecuencia las manchas se concentran en el extremo del pedúnculo y algunas veces con rayas en el costado del fruto (Mitra y Baldwin, 1997; Corkidi *et al.*, 2004).

#### **2.8.1.2.1 Etiología.**

La antracnosis es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.), que en su forma sexual corresponde a *Glomerella cingulata* (Ston). El hongo *C. gloeosporioides* pertenece a la superdivisión Deuteromycotera, clase-forma Coelomycete, orden Melanconiales y familia Melanconiaceae. Se caracteriza porque presenta los conidios hialinos, unicelulares, ovoides u oblongas, ubicados en una estructura llamada acérvulo. Estos cuerpos son en forma de disco cerosos subepidermales y típicamente oscuros. Además de los conidióforos y conidios, presentan setas en el borde del acérvulo y entre los conidióforos (Roberts y Boothroyd, 1987; Páez, 2005).

#### **2.8.1.2.2 Síntomas causados.**

Los hongos inician dos tipos de infección (Meredith, 1971; Snowdon, 1990):

##### **❖ Infección no latente.**

La infección latente ocurre en pequeñas heridas, empezando desde la cosecha y continuando hasta desarrollarse. En frutas verdes, las lesiones por antracnosis son generalmente de color marrón oscuro hasta negro con un margen pálido, de forma lenticular y ligeramente hundidas.

La infección en forma no latente se desarrolla en el proceso de la maduración, son caracterizadas por varias manchitas circulares de color marrón o marrón oscuro. Estas manchitas aumentan de tamaño y

se funden para formar manchas grandes. Al progresar la enfermedad, las manchas se tornan hundidas, cuyo centro esta cubierto por masas de esporas de color naranja.

#### ❖ **Infección latente.**

Empieza cuando la fruta todavía se encuentra en la planta, pero el patógeno permanece inactivo como una hifa subcuticular, hasta que la fruta se acerque a la maduración. Cuando el patógeno reanuda su actividad la infección causa la formación de manchas típicas de color marrón sobre las frutas maduras.

Las manchas en las frutas son primero aguadas de forma irregular y amarillentas, se agrandan y se tornan de color marrón oscuro o negro con un margen amarillento aguado. El centro de las manchas puede romperse. Varias manchas pueden unirse y afectar grandes áreas del mango. Las masas de esporas de color naranja se desarrollan en el centro de las manchas en condiciones húmedas. La enfermedad sobre la piel lesionada del fruto se agrava debido a las rozaduras y heridas provocadas durante la manipulación postcosecha. El almacenamiento durante largos periodos y las fluctuaciones de altas temperaturas de almacenamiento favorecen el desarrollo de la antracosis (Ploetz *et al.*, 1994).

#### **2.8.1.2.3 Diseminación y penetración.**

El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* es dispersado localmente por el agua salpicada, corrientes de aire y otras formas de contacto. Infectan los frutos con conidios que son depositados en la superficie de los tejidos por gotas de agua de lluvia o de riego por aspersion, los conidios son incoloros, unicelulares, ovoides, cilíndricos y en ocasiones falcados o en forma de pesas en acérvulos. Las masas de conidios son de color salmón o rosa y se mantienen unidos en una masa viscosa y firme. Los conidios constan de un apéndice redondo y una base angosta, hialina, septada, uninucleada de 9-24  $\mu$  por 3-4.5  $\mu$ , formados en conidióforos cilíndricos de color café (Roberts y Boothroyd, 1987; Agrios, 1995).

Las condiciones de alta humedad y temperatura favorecen que los conidios germinen para formar unas estructuras de adherencia llamados apresorios, que facilitan la penetración de los tejidos y, además, sirven como unidades de sobrevivencia. La duración de la película de agua en la superficie de los tejidos, tiene influencia directa sobre la germinación, penetración, infección y crecimiento del hongo en los cultivos tropicales. Una alta humedad relativa favorece la esporulación y permite la

germinación de los conidios, después de haber germinado, los conidios producen el apresorio y una clavija de penetración; de esta manera el hongo penetra directamente al interior de los tejidos del hospedero. Al principio las hifas crecen rápidamente tanto intercelular como intracelularmente, pero producen poca o ninguna decoloración visible u otros síntomas. La lluvia es el factor que tiene mayor influencia en la dispersión de este patógeno (Sutton, 1980; Cedeño, 2004).

#### **2.8.1.2.4 Ciclo de Vida.**

Los ciclos de vida de los hongos varían ampliamente, la mayoría pasan a través de una serie de etapas que son bastante similares. El hongo *Colletotrichum gloesporioides* tiene una etapa asexual durante la cual se forman conidios que contienen un núcleo haploide. El conidio al germinar, produce micelio septado haploide (hongos imperfectos). Las hifas producen de nuevo esporas haploides o puede fusionarse con otra hifa para producir un micelio heterocarionte en la que los núcleos se fusionan para formar un núcleo diploide denominado cigoto, este proceso se denomina ciclo parasexual; es el mecanismo a través del cual estos hongos obtienen variabilidad genética en células somáticas y que además se presenta en cualquier etapa del ciclo vida

Ciclo asexual de hongos imperfectos:

haploide → micelio haploide → espora haploide

La fase asexual, puede repetirse varias veces en cada estación de crecimiento (Agrios, 1995).

#### **2.8.1.3 Antracnosis en mango.**

En mango, el patógeno afecta hojas, ramitas, inflorescencias y frutos, ocasionando sobre estos últimos severos daños que demeritan su calidad, lo que repercute en la pérdida de valor comercial y disminución de los rendimientos por unidad de superficie (figura 11).

En las hojas viejas se presentan manchas pardo oscuras o marrón con halo amarillo; las hojas jóvenes muestran manchas pequeñas de coloración oscura y de forma irregular que aparecen del ápice y los bordes hacia el centro de la lámina foliar y que pueden unirse para formar áreas necróticas más extensas que provocan su caída o impiden el desarrollo de la fotosíntesis, también es notoria la presencia de puntos necróticos en las nervaduras y encurvamiento y necrosis de los ápices. (Páez, 2005).



**Figura 11.** Antracnosis en el mango

En frutos inmaduros la enfermedad se expresa por medio de manchas de color pardo claro y de aspecto aceitoso, presentándose el mayor número de ellas en la zona cercana al punto de unión con el pedúnculo; generalmente estas manchas no se agrandan debido a que el patógeno se encuentra en estado latente.

En frutos maduros los síntomas son fácilmente distinguibles, apreciándose manchas de color marrón oscuro, ligeramente hundidas en la superficie y acompañadas de cierta emisión de goma; en ocasiones aparece sobre la epidermis del fruto un chorreado oscuro debido a la acción de las esporas del hongo al ser arrastradas por el agua. Por efectos de las toxinas del hongo, la pulpa se deteriora presentando áreas negruzcas que en sus inicios son blandas, pero que después se endurecen; finalmente los frutos se pudren totalmente y se desprenden de la planta con facilidad (Meredith, 1971; Ploetz *et al.*, 1994; Snowdon, 1990).

#### **2.8.1.3.1 Efecto de factores climáticos.**

El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* se disemina a través de la película de agua originada por el rocío y lluvias poco intensas pero frecuentes; cuando los conidios atacan las inflorescencias impiden la formación de los frutos. Independientemente del cultivar, la presencia y severidad de antracnosis está relacionada significativamente en forma directa con la humedad relativa y las precipitaciones (Cedeño, 2004). Lo anterior explica el porque una variedad tiene diferencia en el comportamiento a antracnosis de una región a otra, esta misma variedad provoca que los productores recurran a las aplicaciones de fungicidas para el control de la enfermedad.

El patógeno penetra indirectamente a través de heridas causadas principalmente por insectos. El hongo es favorecido por elevada humedad relativa (82%), alta precipitación y temperaturas oscilantes entre 22 y 32 °C.

En el campo está establecido que la temperatura óptima para la germinación de las esporas del hongo oscila entre 22 y 32°C, siendo la óptima 25°C; las esporas presentes en las ramillas o en el suelo son viables después de dos años, en las ramas superiores después de 19 meses y en las hojas caídas en el suelo después de 14 meses. Las condiciones de alta humedad (más de 82%), lluvias frecuentes y la prevalencia del rocío y nubosidad durante los períodos críticos favorecen el desarrollo de la enfermedad e intensidad de los ataques (Páez, 2005).

#### **2.8.1.3.2 Manejo postcosecha de la Antracnosis.**

El mayor perjuicio económico de la antracnosis se evidencia en la fase de postcosecha (almacenamiento y transporte), pues es allí, en donde se observa con mayor intensidad el daño y de una u otra forma se cuantifican las pérdidas ocasionadas.

Los daños en postcosecha ocurren por lo siguiente:

- Una mala selección de frutos favoreciendo la entrada de frutos enfermos en las cajas u otro tipo de empaque.
- Presencia de infecciones quiescentes o latentes provenientes del campo, que solo se hacen evidentes cuando los frutos maduran y bajo condiciones de humedad y temperatura altas de almacenamiento.

El manejo de la antracnosis requiere que se integren una serie de medidas preventivas y terapéuticas, con miras a reducir el potencial de inóculo o reprimir la infección cuando ésta se ha iniciado.

Para un mayor control de la antracnosis en postcosecha se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones (Cedeño, 2004; Páez, 2005):

- Cortar el fruto con tijeras cosechadoras u otra herramienta similar, dejando una sección de pedúnculo que permita detener infecciones de campo.
- Evitar que los frutos se golpeen durante la recolección.
- Los frutos cosechados deben ponerse en un lugar sombreado y dejarlos un período de tiempo que facilite la pérdida de humedad presente en la superficie de los mismos.

- El transporte a la planta empacadora o acopiadora debe hacerse en canastilla u otros utensilios, que eviten los golpes y magulladuras.
- Hacer selección de frutos, descartando los manchados, magullados, golpeados y pasados de madurez.
- Hacer lavado de los frutos. Aquí se puede adicionar al agua un producto desinfectante como hipoclorito de sodio al 2%, Tiabendazole en dosis de 500 a 700 ppm u otro aceptado por las instituciones de salud.
- De forma complementaria o alterna se puede aplicar tratamiento térmico a los frutos. Por ejemplo, los frutos se sumergen en agua a 52°C por 3 a 15 minutos; al agua se le puede agregar cualquier fungicida autorizado como: prochloraz, benomyl o tiabendazole.
- En algunos países se hace tratamiento de choque térmico; los frutos una vez seleccionados se ponen en agua fría (4°C) por 15 a 30 minutos y luego se les hace la inmersión en agua caliente.
- El almacenamiento refrigerado permite inhibir infecciones latentes procedentes de campo. En papaya se encontró que al 17°C hay una mayor duración de la vida útil de los frutos, con niveles de antracnosis inferior a 5% en incidencia y severidad.

### **2.8.2 Desórdenes fisiológicos.**

Los desórdenes fisiológicos simplemente se refieren al colapso del tejido de la planta o de la fruta que no es causado ni por la invasión de patógenos (organismos que causan enfermedades), ni por daños mecánicos. Ellos pueden desarrollarse en gran medida como respuesta a un ambiente adverso, especialmente a la temperatura, o a la deficiencia nutricional durante el crecimiento y el desarrollo (Wills *et al.*, 1989). Constituyendo una manifestación de un metabolismo anormal (Flores, 2000).

El principal desorden fisiológico, es el conocido bajo el nombre genérico de daño por frío. Aunque en distinto grado y con diferente sintomatología tanto frutas como hortalizas de origen tropical, subtropical (Salveit y Morris, 1990) y templado (Bramlage y Meir, 1990) son susceptibles a este desorden. Dicha susceptibilidad depende del cultivar, de la temperatura y tiempo de exposición, del grado de madurez, de las características climáticas de la zona de cultivo y en especial las temperaturas anteriores a la cosecha (Wang, 1990). Este desorden es una de las principales limitantes a la vida comercial de muchos productos fruti-hortícolas, por lo que su atenuación constituiría un impacto económico importante, permitiendo mayor disponibilidad de alimentos, menor estacionalidad de la oferta y precios más uniformes a lo largo del año, apertura de nuevos mercados

internacionales y disminución de los costos de transporte, al reemplazar el transporte aéreo por marítimo, en mercados ya abiertos.

### **2.8.2.1 Daños por Frío (DF).**

La gran susceptibilidad de los frutos tropicales y subtropicales al daño fisiológico por el frío, referido como daño por frío, "Chilling-injury", es la más seria desventaja de la refrigeración para extender la vida postcosecha de estos productos (Couey, 1982).

Los daños ocasionados por el frío son daños fisiológicos permanentes e irreversibles de los tejidos de las plantas o de las frutas sensibles al frío, que se llevan a cabo a temperaturas menores al límite crítico que es la temperatura mínima en la cual el fruto no presenta ningún daño (Lyons, 1973; Lyons *et al*, 1987).

Como en otras condiciones de estrés, algunas plantas reaccionan temporalmente a un abrupto descenso de la temperatura, pero tienen la capacidad de recuperarse y de protegerse así mismas contra estos efectos. Otras plantas o partes de plantas carecen de esta capacidad y son rápidamente y aparentemente dañadas irreversiblemente en cada exposición a bajas temperaturas de almacenamiento (Couey, 1982).

El daño por frío es un desorden fisiológico que ocurre en la mayoría de los frutos de origen tropical o subtropical, cuando se someten a temperaturas por debajo de la temperatura crítica. Los daños por frío pueden ocurrir tanto en mangos maduros, como inmaduros. Ocasionando la disminución de la calidad de venta y del valor e incluso pérdidas totales (Datzie y Orchard, 1997).

Algunos de los cambios bioquímicos o síntomas del daño por el frío que ocurren durante el almacenamiento en frío del mango son: decoloración, deterioro, maduración irregular, desarrollo de color y sabor pobre y aumento de la susceptibilidad a las enfermedades (Couey, 1982; Zambrano y Materano, 1999). Recientemente, se ha encontrado que las altas temperaturas (36 a 40°C) aumentan la tolerancia de los tejidos sensibles al frío (Zambrano y Materano, 1999).

#### **2.8.2.1.1 Etiología de los daños por frío (DF).**

La intensidad a la que tienen lugar los procesos metabólicos de los órganos vegetales depende estrechamente de la temperatura del organismo y la del medio exterior. Mientras que, los animales

disponen de sistemas de regulación térmica, los vegetales y los frutos no, por lo que son particularmente sensibles a las bajas temperaturas. La aplicación de frío a los vegetales y los frutos, superior al punto de congelación (entre  $-1$  y  $-3^{\circ}\text{C}$ , según los productos), reduce la velocidad de las reacciones metabólicas al modificar la energía de activación, la velocidad máxima y la constante Michaelis de las reacciones enzimáticas. Lance y Moreau, (1992) exponen que tanto la respiración y la fotosíntesis, los principales procesos ligados al metabolismo energético del fruto y el vegetal, como todo el metabolismo en general, se perturban por las temperaturas de refrigeración.

Son muy numerosas las disfunciones celulares, las alteraciones fisiológicas y bioquímicas que induce el frío: generalmente estimula la tasa respiratoria y la emisión de etileno, aumenta la permeabilidad de la membrana, desorganización de la estructura celular y subcelular, disfunción y desequilibrio del metabolismo, acumulación de sustancias tóxicas, retrasa la fluidez del protoplasma, fuga de solutos, pérdida de la compartimentación, reducción de la velocidad de la actividad oxidativa de la mitocondria, incrementa la energía de activación, reducción en la velocidad fotosintética, interfiere en la producción y utilización de energía, aumenta energía de activación e inactiva algunos enzimas (Wang, 1982; Wang, 2000).

El efecto de las bajas temperaturas se manifiesta de inmediato sobre la estructura y composición de las biomembranas, aumentando la microviscosidad de la matriz lipídica y la rigidez de las membranas, que adquieren una estructura gel-cristalina, y se redistribuyen las proteínas integradas, que son expulsadas de las zonas lipídicas rígidas. Los cambios en la temperatura del medio afectan también al funcionamiento de las enzimas y de los transportadores incluidos en la matriz lipídica de las membranas y con esto a los intercambios a través de ella, lo que altera la permeabilidad y perturba las funciones celulares. Todo ello conduce a desviaciones metabólicas y fisiológicas, llegando incluso a la ruptura de las membranas, necrosis y muerte del fruto de la planta (Mazliak, 1992).

Este desorden fisiológico se denomina daños por frío (DF) y sucede tras una cierta permanencia de los productos a temperaturas entre  $-0.5^{\circ}\text{C}$  y unos  $15^{\circ}\text{C}$ . Se desarrollan estos desórdenes cuando sufren el estrés de temperaturas no congelantes. Las especies climatéricas son más proclives a sufrir DF cuando tienen un metabolismo muy activo, con elevada tasa respiratoria. En el desarrollo de los DF intervienen una serie de factores genéticos, fisiológicos y bioquímicos e incluso de las condiciones térmicas del cultivo (Bramlage y Meir, 1990; Watada, 1982; Marcellin y Ulrico, 1983; Luchsinger y Artés, 2000).

La temperatura crítica a la que aparecen los DF, varía de un órgano a otro o de una especie a otra, y puede ser de  $-0.5$  a  $4^{\circ}\text{C}$  para los pocos sensibles, de  $4$  a  $7^{\circ}\text{C}$  para algunas especies de clima templado, y desde unos  $8^{\circ}\text{C}$  hasta  $15^{\circ}\text{C}$  e incluso  $20^{\circ}\text{C}$  para las tropicales y subtropicales más sensibles (Artés, 2001). Para los mangos se ha reportado una temperatura para una maduración satisfactoria (con excelente calidad de consumo) entre  $21$  y  $24^{\circ}\text{C}$ . Como de  $12$  a  $13^{\circ}\text{C}$  es generalmente considerado óptimo para el almacenamiento del mango. Aunque a los  $10$  y  $5^{\circ}\text{C}$  también han sido reportadas para ser temperaturas adecuadas para algunas variedades. La sensibilidad del mango a temperaturas por debajo de los  $10^{\circ}\text{C}$  varía con la maduración del fruto, el cultivar, la duración y temperatura de exposición (Medlicott *et al.*, 1990).

El almacenamiento del mango a temperaturas por debajo de los  $10^{\circ}\text{C}$  causa daños por frío. Los frutos en estado preclimático son generalmente más sensibles a los daños por frío que aquellos en estado posclimático (Mohammed y Brecht, 2002).

La acción del frío produce efectos directos y rápidos sobre las membranas, con la alteración de la célula, cuya gravedad depende de la intensidad y duración de la baja temperatura. Pero también puede tener una acción más gradual y duradera, que conduce a una alteración primaria e indirecta del metabolismo, e incluso a un desequilibrio hídrico, que da lugar a una alteración secundaria y puede tener consecuencias reparables, dependiendo del estado fisiológico (Marcellin, 1992). Se ha observado que los frutos inmaduros o precoces son más sensibles al frío que los maduros o los tardíos de la misma cosecha, con independencia de que sean climatéricos o no. Por ejemplo, en tomate 'Daniela' los frutos pintones fueron menos sensibles a los DF que los verdes (Artés, 1999<sup>a</sup>). Sin embargo, un estrés severo por un choque de frío, que produce daños de manera muy rápida, ejerce una acción irremediable y a veces letal, sin que llegue a producir la congelación de los tejidos. Con el retorno a una temperatura superior al umbral crítico de DF, se manifiesta claramente el estado reversible o irreversible de los desórdenes (Marcellin y Ulrico, 1983; Jackman *et al.*, 1988; Marcellin, 1992; Artés, 1995<sup>b</sup>).

#### **2.8.2.1.2 Factores que contribuyen al desarrollo de los Daños por Frío.**

Hay varios factores que contribuyen al desarrollo de los daños por frío en frutos tropicales y subtropicales. Ellos incluyen los siguientes (Lyons, 1973; Morris, 1982; Salveit y Morris, 1990):

- Temperatura de almacenamiento.
- Duración de la exposición del fruto a las temperaturas frías.

- Si la exposición de los frutos a una temperatura fría es continua o intermitente.
- Humedad relativa, composición de la atmósfera de almacenamiento y tratamiento postcosecha.
- Edad fisiológica, madurez o condición del fruto expuesto.
- Sensibilidad relativa del fruto al frío.
- Condiciones de cultivo y crecimiento.

### **2.8.2.1.3 Síntomas de Daño por Frío (DF).**

Los síntomas de los daños por frío no son evidentes inmediatamente debido a las temperaturas que ocasionan los mismos, sin embargo, se vuelven evidentes de modo creciente después de transferir los frutos a temperaturas normales. Existe una cantidad de síntomas visuales que ocurren comúnmente y que son característicos de los daños por frío (DF) en mango y entre estos se encuentran los siguientes (Lyons, 1973; Morris, 1982; Saltveit y Morris, 1990; Snowdon, 1990; Wang, 1991):

- Lesiones superficiales, como hoyos, grandes áreas hundidas y decoloración de la superficie.
- Áreas oscuras impregnadas de agua en la piel del fruto.
- Decoloración interna (ennegrecimiento) de la pulpa.
- Colapso de los tejidos (fruta, hueso y pepita).
- Los frutos no maduran normalmente: la piel de los frutos cosechados maduros fisiológicamente, pero verdes, es descolorida y gris, el almidón ya no se convierte en azúcar y los frutos no maduran de manera habitual. Cuando ocurren daños severos, el fruto verde desarrolla un ennegrecimiento subepidérmico extenso y la piel puede tornarse totalmente negra durante la maduración. Cuando el daño no es tan severo, los frutos verdes no muestran daños visibles, pero al madurar, el color de la piel varía desde un amarillo descolorido hasta grisáceo-amarillo o gris. Estos síntomas surgen de la acumulación de sustancias fenólicas oxidadas en las áreas epidérmicas y subepidérmicas, acompañada por una retención de clorofila (Palmer, 1971). En frutos maduros, la apariencia general es la de un fruto descolorido, la piel es de color grisáceo, sin embargo, la pulpa puede no ser afectada. Los frutos dañados severamente, desarrollan un ennegrecimiento subepidérmico extenso y eventualmente se tornan negros. Existe una pérdida de desarrollo del sabor y aroma característicos, y a menudo se desarrolla un sabor desagradable.

La sintomatología del daño varía con la especie, con los tejidos interesados, con el tiempo de permanencia por debajo de la temperatura crítica, entre otros factores. Además los síntomas del daño por frío, representan una manifestación de los cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos producidos por la exposición a bajas temperaturas. Generalmente se acepta que la respuesta inicial al frío es de naturaleza física, esto es, cambios en la composición e integridad de la membrana, sin embargo, existen cambios secundarios en los procesos fisiológicos tales como: aumento en la velocidad de respiración, incremento en la producción de etileno, cese en la corriente protoplasmática (Lyons y Breidenbach, 1987).

El oscurecimiento aparece alrededor del tejido vascular, probablemente por la actividad de la enzima polifenol oxidasa sobre los compuestos fenólicos liberados de la vacuola luego del enfriamiento. Si el fruto fue cosechado inmaduro puede fallar en madurar o hacerlo irregularmente (Flores, 2000). Los síntomas que presenta son decoloración y excoriaciones en la piel, maduración no homogénea, poco desarrollo del color y sabor, susceptibilidad al ataque de hongos aumento de la actividad enzimática de la celulosa, peroxidasa y amilasa, disminución de la actividad de la enzima invertasa. Los síntomas aparecen cuando sea almacenado a temperaturas menores a 10°C (Medlicott *et al.*, 1992). Pero también se pueden observar al transferir el mango a una temperatura mayor.

El daño por frío causa la salida de metabolitos, tales como aminoácidos, azúcares y sales minerales, de la célula, que con la degradación de la estructura de la pared celular provee un excelente sustrato para el crecimiento de organismos patógenos, tales como los hongos. Estos generalmente están presentes como infecciones latentes ó pueden contaminar al mango durante la postcosecha. Otra consecuencia relacionada con el daño por frío es el desarrollo de sabores anormales (Flores, 2000).

#### **2.8.2.1.4 Mecanismo del Daño por Frío (DF).**

Un mecanismo primario de la temperatura sobre las membranas celulares tiene que ver con la fluidez de los lípidos. Estos están en una condición más ó menos fluida ó móvil a altas temperaturas pero entran en una condición de gel o se transforman inmóviles por debajo de la temperatura crítica. Afectando las propiedades de la membrana, particularmente las asociadas con las enzimas involucradas en la producción de energía (ATP) y síntesis de la proteína. Estos efectos ocurren a temperaturas alrededor de 10 a 15°C (Flores, 2000).

Aunque no se conoce exactamente el desarrollo de los DF, se sabe que tiene lugar en dos fases sucesivas. La primera se prolonga desde algunas horas hasta algunos meses, no obstante lo más

frecuente es una duración de unas dos semanas. En esta fase inicial las alteraciones son tan poco severas que no se manifiestan los síntomas, lo que se denomina umbral de inducción o fase de latencia, y los frutos pueden retornar a un estado normal, por simple calentamiento superior a la temperatura crítica. La segunda fase tiene lugar cuando, superado el umbral de inducción, aparecen los síntomas, su establecimiento es ya irreversible, y la aplicación de una elevación moderada de la temperatura solo contribuye a acelerar su desarrollo (Marcellin, 1992; Artés, 1995<sup>a</sup>).

Los síntomas provocados por el frío son muy diversos, distinguiéndose dos categorías, que pueden coexistir y desarrollarse simultáneamente. La primera muestra una naturaleza cualitativa y consiste en anomalías del desarrollo o del metabolismo, como la maduración incompleta, o el insuficiente sabor y aroma (Hardenburg *et al.*, 1990; Marcellin, 1992; Artés, 1995<sup>a</sup>; Artés, 1995<sup>b</sup>; Artés, 2000<sup>a</sup>). Varios metabolitos gaseosos como el CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, etanol y acetaldehído, pueden ser bio-indicadores para evaluar y detectar las alteraciones organolépticas, fisiológicas y patológicas antes de que se manifiesten los síntomas (Couey, 1982).

La segunda categoría de DF la integran verdaderas enfermedades que presentan muy variadas manifestaciones: depresiones de la piel o picado, descomposición de tejidos, pardeamientos internos o superficiales (escaldadura), infiltración de agua en los espacios intracelulares, desarrollo de textura algodonosa o harinosa, pardeamiento de las membranas carpelares o membranosis, debilitamiento de la resistencia a daños mecánicos y al ataque microbiano (Hardenburg *et al.*, 1990; Marcellin, 1992; Artés, 1995<sup>a</sup>; Artés, 1995<sup>b</sup>; Artés, 2000<sup>a</sup>).

#### **2.8.2.1.5 Pardeamiento enzimático.**

El pardeamiento es un fenómeno muy normal que se produce en el transcurso de las manipulaciones que se realizan después de la recolección, durante la conservación y por las transformaciones tecnológicas más o menos complejas que sufren los órganos vegetales (Selveraj, 1989; Selvaraj *et al.*, 1994; Badui, 1999; Billot, 2002).

Los órganos vegetales carnosos pueden presentar dos tipos de pardeamientos (Billot, 2002):

- Pardeamiento superficial. Con frecuencia se presenta como consecuencia de una lesión en la cual se observa que, después de seccionarla, la superficie cortada se colorea más o menos rápidamente de un color pardo.

- Pardeamiento interno. Éste se localiza en las partes profundas de los órganos y generalmente aparece después de las enfermedades de conservación a bajas temperaturas (“Chilling injury”). El pardeamiento se produce cuando los órganos, después de estar sometidos a bajas temperaturas, se colocan a temperaturas más elevadas.

La presencia de compuestos fenólicos ocasiona pardeamientos enzimáticos que, en algunas variedades, pueden aparecer en la ralladura o en el corte y se intensifican en la preparación de zumos o de pulpas (Billot, 2002).

Cuando se desarrollan enfermedades fisiológicas en los tejidos del crecimiento rápido, provocadas por una carencia de calcio, se observa una oxidación de los compuestos fenólicos que es la responsable de las coloraciones pardas (Billot, 2002).

#### **2.8.2.1.5.1 Descompartimentación celular.**

Para que tenga lugar el comienzo del pardeamiento es indispensable que se produzca una modificación en la compartimentación subcelular que ponga en contacto a los compuestos fenólicos (localizados principalmente en la vacuola) con las enzimas de oxidación (citósolicas o de membrana). Ésta desorganización celular puede ser debida a múltiples factores de alteración de los tejidos, como: traumatismos mecánicos, choques térmicos o alteraciones fisiológicas. Algunos tratamientos, como el mantenimiento en frío, pueden modificar profundamente la aptitud para el pardeamiento; estos tratamientos son factores secundarios del pardeamiento ya que las primeras causas hay que buscarlas a nivel de las alteraciones de las membranas que tienen como consecuencia que las enzimas y los compuestos fenólicos no se mantengan en diferentes compartimentos celulares. Al comienzo del pardeamiento, en los mecanismos de alteración de las funciones de las membranas desempeñan un importante papel la peroxidación de los lípidos de membrana y los iones calcio (Billot, 2002).

#### **2.8.2.1.5.2 Oxidación enzimática.**

Aunque algunos pardeamientos pueden tener un origen no enzimático (reacción de Maillard), la mayoría de ellos, particularmente los que aparecen de forma muy rápida, son debidos a la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos por acción de las polifenol oxidasas (PPO) o peroxidasas (POD) (Badui, 1999; Pérez-Tello *et al.*, 2001; Billot, 2002). El desarrollo del color pardo en los tratamientos tecnológicos es debido en primer lugar a la oxidación de los compuestos fenólicos por

las polifenol oxidasas y de forma secundaria, si hay calentamiento, a la formación de productos de la reacción de Maillard (Billot, 2002).

### **2.8.2.1.5.3 Mecanismo del pardeamiento.**

#### **2.8.2.1.5.3.1 Propiedades de las enzimas de oxidación.**

Las enzimas que intervienen en la oxidación de los compuestos fenólicos son las polifenol oxidasas (PPO) y las peroxidasas (POD). El papel esencial lo desempeña la PPO. Sin embargo, el papel fisiológico de esta enzima en el desarrollo y en la maduración de los órganos vegetales no está claramente establecido. Las POD se caracterizan por su capacidad de oxidar diferentes donadores de hidrógeno, y están implicadas en diversas funciones bioquímicas y fisiológicas, en particular en la reticulación de las paredes por los ácidos fenólicos y en la disposición de las ligninas. Las reacciones catalizadas por las peroxidasas generan compuestos que modifican el sabor de los productos vegetales y favorecen el pardeamiento. La limitación más importante para que las peroxidasas participen en el pardeamiento de los vegetales provendría de la escasa disponibilidad de peróxido de hidrógeno ya que es rápidamente detoxificado por las células (Billot, 2002).

#### **2.8.2.1.5.3.2 Reacción del pardeamiento.**

Los compuestos fenólicos que presentan un grupo orto-difenólico se oxidan fácilmente por las PPO. Los principales sustratos naturales de las PPO en los órganos vegetales (frutas y hortalizas) son las catequinas y los derivados hidroxicinámicos y más concretamente los derivados cafeicos como el ácido cloragénico. La formación de productos coloreados que caracterizan el pardeamiento se realiza en dos etapas (Billot, 2002):

- **Etapas enzimáticas.** Es una etapa enzimática que conduce a la formación de orto-quinonas. Las orto-quinonas formadas son compuestos generalmente inestables, de una gran reactividad y que son muy tóxicas para las células. Esta oxidación en quinonas constituye una primera etapa en la que intervienen la descompartimentación celular, las PPO y eventualmente las POD, el oxígeno (segundo sustrato de la enzima), así como otros factores (inhibidores naturales, pH, temperatura, etc.). Las orto-quinonas formadas se transforman de forma muy rápida por medio de reacciones no enzimáticas complejas.

- Etapa no enzimática. Etapa donde se termina con la polimerización y condensación de las quinonas en “complejos pardos”.

La complejidad de esta segunda etapa, se debe principalmente a la intervención de mecanismos de oxidaciones acopladas que permiten explicar que los compuestos fenólicos no son sustratos de las PPO (o son malos sustratos) puedan ser, sin embargo, degradados durante el fenómeno de pardeamiento.

## **2.9 Tratamientos postcosecha del mango.**

El mango es un fruto sensible al daño por frío y se infesta con una gran variedad de enfermedades e insectos, los cuales resultan en pérdidas muy significativas.

Se han desarrollado tratamientos postcosecha, los cuales tienen efectos positivos para alargar su vida de anaquel y control de varios patógenos e insectos reduciendo también el problema del daño por frío. La aplicación y el desarrollo de estas técnicas favorecen la progresiva eliminación de tratamientos químicos que van unidos a la conservación. En la tabla 5 se mencionan algunos tratamientos físicos y químicos aplicados en el mango para la prevención de infecciones y alteraciones fisiológicas.

Una de las razones del porque de la utilización de los tratamientos térmicos postcosecha en la conservación de frutos y hortalizas es la de evitar el uso de ciertos tratamientos químicos postcosecha, pues el mercado actual demanda productos, en la medida de lo posible, exento de productos químicos. Otra de las razones para su aplicación es que se adapta mejor a la evolución fisiológica del órgano vegetal a conservar.

La máxima tolerancia de las plantas a las altas temperaturas normalmente es en el rango de 42-60°C. Una corta exposición a temperaturas cercanas a la máxima soportada, son una situación de crisis que relaciona la supervivencia y la capacidad de recuperación, mientras más expuesto a temperaturas inferiores es más difícil de cuantificar el daño (Paull y Chen, 2000).

Los mangos son considerados con una relativa alta tolerancia al calor, cuando se compara con otras frutas. Los tratamientos de desinfección por calor han sido desarrollados y expandidos en los frutos desde principios de siglo (Batista, 1999).

**Tabla 5.** Principales tratamientos postcosecha aplicados al mango.

Tratamiento	Características	Condiciones	Efecto	Control
AC y AM	<p><b>Atmósferas Controladas</b> Al madurar los frutos consumen O<sub>2</sub> y desprenden CO<sub>2</sub>, si ocurre en un ambiente cerrado el oxígeno se reducirá y el anhídrido carbónico aumenta, tiende a crear una atmósfera favorable para alargar su conservación, ya que ambos son reductores del metabolismo.</p>	Se basa en 3 elementos (baja temperatura, bajos contenidos en O <sub>2</sub> y altos contenidos en CO <sub>2</sub> ), por ejemplo: 5-10 % de CO <sub>2</sub> .	Disminución de la velocidad de respiración, producción de etileno, maduración y senescencia.	Reducción de los daños por frío y antracnosis.
	<p><b>Atmósferas Modificadas</b> Consiste en una alteración en la composición de los gases y en los alrededores del producto fresco modificando mediante películas plásticas u otros materiales el metabolismo del fruto: la respiración y transpiración.</p>	Incluyen ceras y otros revestimientos de superficies, coberturas plásticas de baja permeabilidad, películas de alta permeabilidad, tecnología de barrido de CO <sub>2</sub> , limpiadores y emisores de CO <sub>2</sub> , absorbentes de etileno, sistemas de fácil abertura y resellado.	Disminución de la concentración de O <sub>2</sub> para que se lleven a cabo las reacciones metabólicas, alta concentración de CO <sub>2</sub> y por tanto disminuye la velocidad de respiración	Reducción del daño por frío y antracnosis, además de disminuir la pérdida de peso.
Térmico	<p><b>Inmersión en Agua Caliente</b> Los frutos son sumergidos en un baño con agua caliente.</p>	35°C-54°C por periodos de tiempo de 30-90 min.	Si son aplicados correctamente se extiende la vida del fruto y se proporciona una mejor calidad.	
	<p><b>Aire Caliente Forzado</b> Se utiliza aire caliente como medio de calentamiento.</p>	43°C-47°C por rangos de tiempo similares a los utilizados en vapor.	Mantiene la humedad relativa (50 %) con el fin de prevenir pérdida de peso y retrasar la maduración, alargando por tanto su vida de anaquel.	Acción fungicida e insecticida efectiva, facilidad de aplicación, no deja residuos químicos y disminuyen la sensibilidad del fruto al frío.
	<p><b>Vapor</b> Tratamiento térmico donde se utiliza vapor caliente como medio de calentamiento.</p>	43°C-47°C por rango de tiempo desde 10 min hasta 6 h.	Cambios en la composición de la membrana y un aumento en el contenido de sólidos solubles.	
	<p><b>Calentamiento intermitente (CI)</b> Consiste en someter el fruto a elevaciones periódicas de temperatura, en el curso de conservación frigorífica, con duración e intensidad variables.</p>	6 días a 9°C/1 día a 20°C	Capacidad para restaurar la alteración de las membranas celulares.	

Tratamiento	Características	Condiciones	Efecto	Control
Químico	Hidróxido de cobre	4.0 - 5.5 g / l	Destrucción del hongo <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	Control de antracnosis.
	Carbendazim	0.3 l / ha		
Hormonales	Metil - Jasmonato	Vapor por 20 h a 20°C 1x10 <sup>4</sup> M	Efecto en la biosíntesis de etileno y en el proceso de maduración del fruto.	Reducción de daños por frío e inhibe el desarrollo de antracnosis.
Biológico	<i>Bacillus subtilis</i>	10 <sup>7</sup> UFC / ml	Efecto antagonista con el <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	Control de antracnosis.
Radiaciones	UV-C	198-280 nm por 10 -20 min.	Estimulación de la biosíntesis de poliaminas (Putrescina) y de compuestos fenólicos.	Control de antracnosis y no hay efecto en la reducción de los daños por frío.

Datos recopilados a partir de información de: Artes (1992); Lurie y Klein (1992); Sharp (1992); Parry (1995); Gallegos y Hosnaya (1997); Yahia *et al.*(1999); Zambrano y Materano (1999); Aguirre y Fernández (1999); Páez (2005).

La influencia de la aplicación de calor en la maduración postcosecha del fruto depende de (Paull y Chen, 2000):

- i. Nivel de termotolerancia del fruto.
- ii. Tipo de cultivar.
- iii. Tamaño del fruto y características morfológicas.
- iv. Estado fisiológico (etapa de maduración).
- v. Velocidad de transferencia de calor y balance de energía (diferencia térmica, capacidad de calor y humedad relativa).
- vi. Temperatura final.
- vii. Duración de la exposición a las diferentes temperaturas.

Shellie y Mangan (2000) indican que debido a que las plantas responden a diferentes tipos de estrés, se pudiera proveer un método totalmente nuevo para controlar esta respuesta estos autores sugieren que un estrés puede ser aminorado por la simultánea imposición de otro estrés.

La justificación de la eficacia de los tratamientos térmicos para controlar la infección de antracnosis y daños por frío (DF), como inmersión en agua caliente, aire caliente forzado, vapor y calentamiento intermitente (CI), depende mucho de la variedad y del estado fisiológico del fruto (Marcellin y Ulrico, 1983; Martínez *et al.*, 1987).

Las razones que justifican el empleo y desarrollo de tratamientos térmicos son las siguientes:

- Comerciales, en la actualidad cada vez son mayores las exigencias de los consumidores de productos sin residuos químicos.
- Sanitarias, con la eliminación de tratamientos químicos en los productos se evitara el riesgo de toxicidad en el hombre.
- Técnicas, los tratamientos químicos no tienen ningún efecto para frenar o retrasar la maduración.

Los objetivos de postratamientos térmicos son los siguientes:

- Mejorar la conservación de la calidad.
- Reducir la actividad respiratoria y la emisión de etileno.
- Frenar o inhibir reversiblemente la maduración.
- Retrasar la senescencia.
- Evitar las alteraciones fisiológicas por el frío.
- Disminuir el desarrollo de algunos microorganismos.
- Estimular la resistencia del órgano vegetal al ataque de hongos.
- Evitar tratamientos químicos durante la conservación.

Otros tratamientos postcosecha aplicados para la reducción de los síntomas de los daños por frío (DF) y antracnosis se basan en la aplicación de diversos antioxidantes como la etoxiquina, la difenilamina, el benzoato sódico, el escualeno o el  $\alpha$ -farnaseno, algunos fungicidas como benomilo, tiabendazol o imazalil, los vapores de etanol (reducen la respiración y la emisión de etileno, estabilizando la permeabilidad de la membrana), las diluciones de calcio (mayores concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  en los tejidos se ha asociado a menos susceptibilidad a DF), la mayoría de los reguladores del crecimiento al afectar procesos bioquímicos y fisiológicos que pueden a su vez afectar la tolerancia al estrés por frío (etileno, ácido abscísico y análogos, el ácido jasmónico y triazoles), e incluso las poliaminas (por su actividad antioxidante y estabilizadora de las membranas), se han

mostrado eficaces para reducir algunos síntomas de los daños por frío (Wang, 1991; Wang, 2000; Marcellin, 1992; Artés, 1995<sup>a</sup>; Lurie *et al.*, 1995; Meir *et al.*, 1996; Laamin *et al.*, 1998).

Sin embargo el empleo de sustancias químicas, que dejan residuos sobre los frutos y son potencialmente nocivas para el hombre y el medio ambiente, está erradicado su uso, que se sustituye por aplicaciones de productos naturales o, sobre todo, de tratamientos físicos alternativos, en la vía de conseguir una producción de alimentos sostenible (Artés, 1995<sup>a</sup>).

De igual forma se emplean películas comestibles que previenen el contacto con el oxígeno y la degradación de los compuestos fenólicos, por ejemplo las películas de Quitósan (Tomás-Barberán y Espín, 2001). Los recubrimientos céreos, con aceites vegetales o minerales, o con silicona y los envases plásticos suelen resultar muy efectivos para evitar los DF, al limitar los intercambios gaseosos y retrasar la deshidratación (Wang, 2000). Dentro de los tratamientos térmicos el más utilizado es el de inmersión en agua caliente, el cual es un requisito para mangos exportación a Estados Unidos. Sin embargo, en países como México este tratamiento presenta la desventaja de requerir altos volúmenes de agua para su aplicación. Y en zonas con problemas de suministro, este puede ocasionar problemas de inocuidad. Es por ello que otros tratamientos como aire caliente forzado, calentamiento intermitente y vapor permitan obtener los mismos resultados.

### 3. Objetivos.

**Objetivo General:** Evaluar el efecto del tratamiento con vapor en el control de Antracnosis y Daños por Frío en mangos variedad 'Keitt'.

**Objetivo Particular 1:** Establecer las condiciones de temperatura y tiempo del tratamiento térmico que prolonguen la vida útil y ayuden a preservar la calidad del mango variedad 'Keitt'.

**Objetivo Particular 2:** Evaluar el efecto del tratamiento con vapor en los parámetros de calidad y fisiológicos del mango almacenado a temperatura ambiente.

**Objetivo Particular 3:** Analizar el efecto del tratamiento con vapor en el control del desarrollo de antracnosis en el mango variedad 'Keitt'.

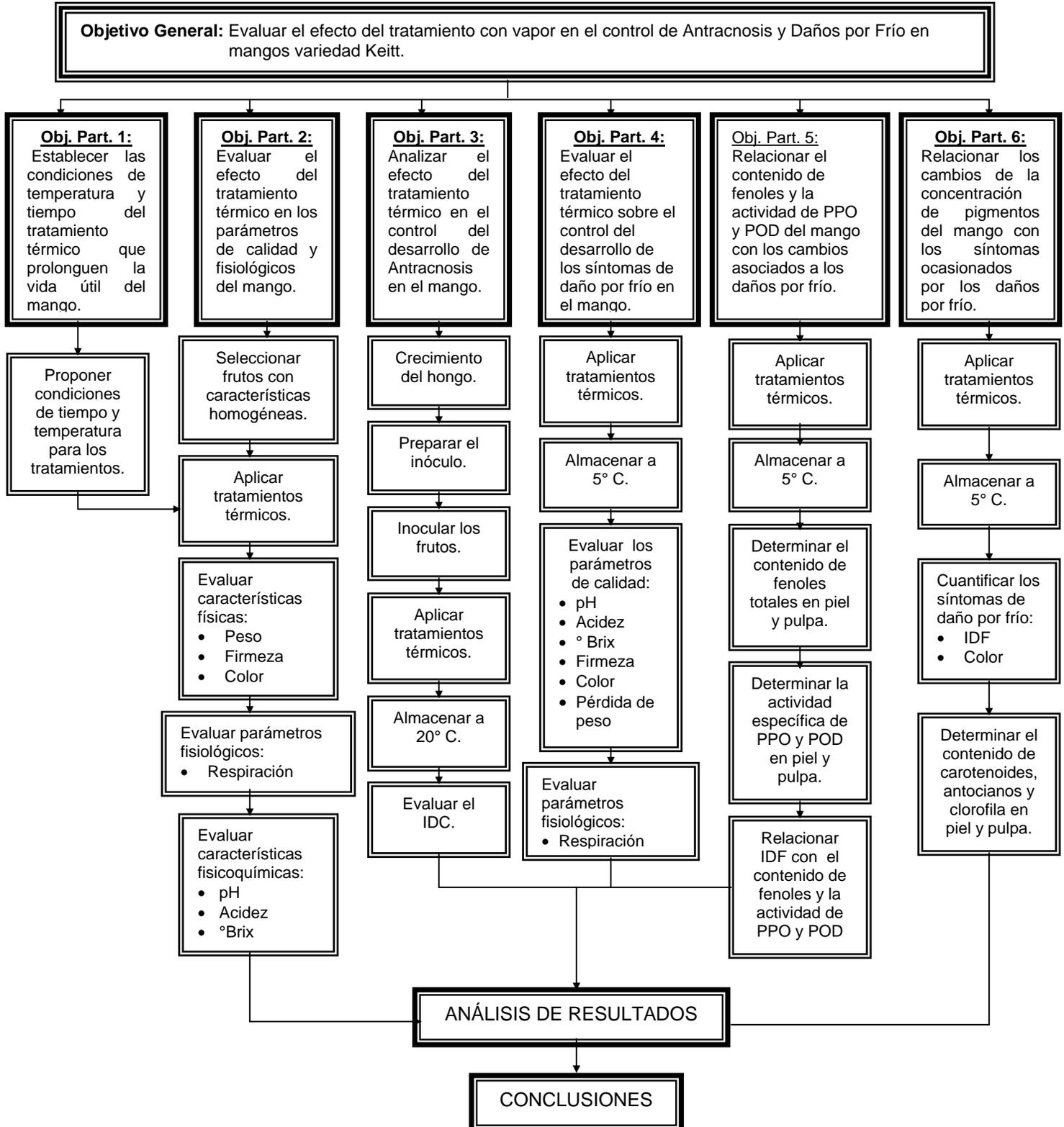
**Objetivo Particular 4:** Evaluar el efecto del tratamiento con vapor sobre el control de los síntomas de daño por frío en mango variedad 'Keitt' almacenados a bajas temperaturas.

**Objetivo Particular 5:** Relacionar el contenido de fenoles y la actividad de PPO y POD con el índice de daños por frío en mangos variedad 'Keitt'.

**Objetivo Particular 6:** Relacionar los cambios de la concentración de pigmentos (clorofila, carotenoides y antocianos) con los síntomas ocasionados por los daños por frío en mangos almacenados a bajas temperaturas.

4. Materiales y métodos.

4.1 Secuencia metodológica.



#### 4.2 Material Biológico.

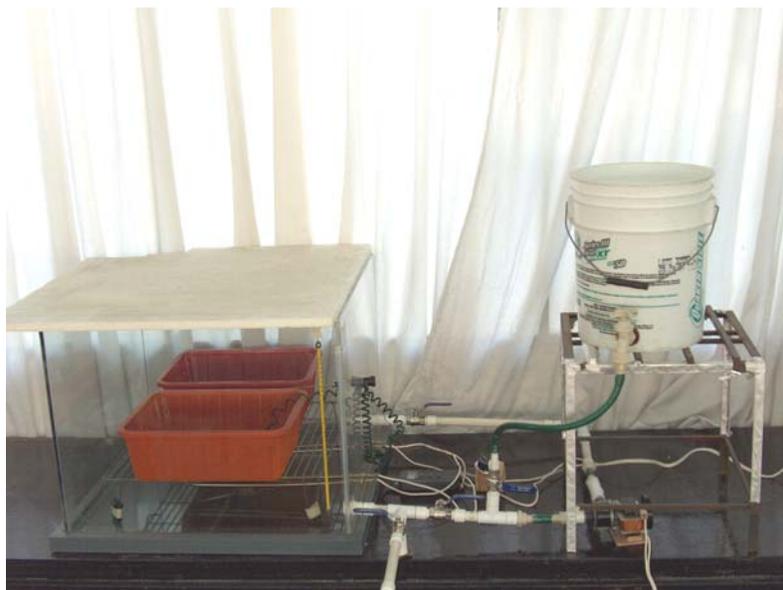
Se emplearon mangos de la variedad 'Keitt' procedentes de los estados de Guerrero y Sinaloa de las cosechas de marzo a septiembre de 2003 y 2004, adquiridos en la central de abastos de la ciudad de México en su etapa pre-climatérica, los frutos se transportaron por vía terrestre en cajas de madera y envueltos con papel al Laboratorio Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM para su estudio posterior.

#### 4.3 Tratamiento de la Muestra.

Para contar con lotes de frutos con características homogéneas los mangos se seleccionaron de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-058-1999-SCFI para los mangos de las variedades del grupo Indostan, como es el caso del mango variedad 'Keitt', por lo tanto, la selección se realizó por tamaño, color, peso, longitud ecuatorial y polar, eliminando los frutos que presentaron daños físicos, una vez seleccionados se lavaron para eliminar tierra y otras impurezas sobre la piel y se numeraron para facilitar su manipulación. Los frutos se distribuyeron en 3 lotes de 12 mangos por cada tratamiento.

#### 4.4 Sistema de recirculación del vapor.

Para establecer una uniformidad en la temperatura del vapor circundante se utilizó un sistema cerrado con recirculación (figura 13) que mantuvo la temperatura uniforme del vapor a lo largo de los tratamientos (ver anexo A).



**Figura 12.** Cámara de aplicación de tratamientos de vapor.

#### **4.5 Establecimiento de las condiciones de los tratamientos térmicos por vapor caliente.**

Los tratamientos térmicos por vapor caliente (Vapour Hot Treatment, VHT en sus siglas en inglés) se aplicaron con las siguientes condiciones de temperatura y periodo de tiempo: un primer tratamiento a una temperatura de  $38 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante un tiempo de exposición del fruto de 10 y 20 minutos, respectivamente, un segundo tratamiento se llevó a cabo a una temperatura de  $46 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante un tiempo de exposición del fruto de 10 y 20 minutos y un último tratamiento a una temperatura de  $54 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante un tiempo de exposición del fruto de 10 y 20 minutos. Para cada tratamiento térmico el tiempo de exposición del fruto se tomó a partir de que el centro de éste se equilibrará con la temperatura del vapor circundante, el cual fue en un lapso de  $65 \pm 5$  minutos. Después de aplicar el tratamiento térmico a los frutos, éstos se dejaron enfriar y se secaron con una corriente de aire a temperatura ambiente.

Los tiempos y temperaturas seleccionadas fueron las que no provocaron un daño físico inmediato al fruto y presentaron un efecto significativo sobre el control de antracnosis y daños por frío.

#### **4.6 Efecto del tratamiento con vapor en el control de antracnosis.**

##### **4.6.1 Preparación de la solución de esporas del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*.**

Para el estudio del efecto de los tratamientos por vapor se utilizó al hongo *C. gloeosporioides* previamente identificado, aislado y purificado a partir de frutos enfermos.

La obtención del inóculo se realizó de acuerdo al método descrito por Gilchrist *et al.* (1995) y Sutton (1980). La siembra del hongo se realizó en agar papa zanahoria (PZA), después se mantuvo en incubación por un periodo de siete días en incubadora de temperatura controlada (marca Precision Scientific, modelo 815), a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  con foto-periodo (exposición en intervalos de 12 horas con luz blanca y luz negra, respectivamente), para facilitar y estimular la esporulación del hongo. Después de haberse desarrollado el hongo se le agregaron 5 mililitros de agua estéril con tween 60 al 1% –para reducir la tensión superficial del agua– sobre las placas de agar para arrastrar las esporas sobre la placa. Se raspó toda la superficie de la placa con ayuda de un bisturí para facilitar la remoción de la colonia y se filtró esta solución a través de una gasa estéril, la cual solo retiró de la solución de esporas el residuo de agar que fue arrastrado por el raspado. Se realizó un conteo de esporas utilizando un hemacitómetro, en el cual se le agregó una gota de la solución de

esporas en cada campo de visión cubriéndose éste con un cubre objetos y con la ayuda de un microscopio (marca Olympus, modelo BH-2) se obtuvo el número de esporas por mililitro de la solución inicial la cual sirvió de base para establecer el valor de la solución final, que después de varias diluciones se llegó a una concentración final de 180,000 conidios / ml.

#### **4.6.2 Inoculación de los frutos con la solución de esporas del hongo *C. gloeosporioides*.**

Después de la obtención de la solución de esporas se procedió a inocular los frutos, los cuales una vez seleccionados, como se indicó en el apartado 4.3, se desinfectaron superficialmente durante un minuto en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 3%, pasado este tiempo se enjuagaron con agua destilada estéril para eliminar el exceso de cloro y después se secaron con toallas de papel estéril. Una vez que los mangos fueron desinfectados y secados se distribuyeron en lotes de 12 frutos con dos replicas de los cuales se tomaron los frutos de dos lotes; los cuales se inocularon con la solución de esporas por el método de frotación. Este método se realizó con ayuda de una gasa previamente humedecida con el inóculo y posteriormente se frotó la superficie del mango teniendo cuidado de no maltratar el fruto. Los frutos inoculados se colocaron en bolsas de cierre hermético con la finalidad de facilitar la infección y evitar la contaminación con alguna otra enfermedad, después el fruto se incubó durante 24 horas a 25 ( 1°C con una humedad relativa (HR) del 70 ( 1%, en incubadora (marca Precision Scientific, modelo 815), de temperatura controlada. Los tratamientos térmicos (T1 y T2) se realizaron después de las 24 horas de la incubación de los frutos esto con el fin de permitir que el hongo se estableciera en la superficie de los mangos.

#### **4.6.3 Evaluación del efecto de los tratamientos por vapor en el control de Antracnosis en mango variedad 'Keitt'.**

Se llevó a cabo la evaluación de la efectividad de los tratamientos por vapor para el control de la antracnosis y su efecto en los diferentes parámetros fisiológicos y de calidad en mango variedad 'Keitt'.

Cada lote se hizo por duplicado, por lo cual, un lote de cada tratamiento se tomó para la evaluación visual (Índice de Decaimiento) y el otro la para evaluación de los parámetros fisiológicos y de calidad (pH, %acidez, sólidos solubles, color, firmeza y porcentaje de pérdida de peso) de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.4. Cada evaluación se realizó por triplicado para obtener resultados representativos de las muestras analizadas.

Para establecer el efecto de la aplicación del tratamiento térmico por vapor caliente, en la fisiología del fruto se evaluaron los cambios en la respiración del mango durante la maduración del fruto a 20°C.

Tradicionalmente, para evaluar la efectividad de tratamientos aplicados, se utilizan escalas de grados de enfermedad que se basan en la apreciación subjetiva de la infección por parte de un observador especializado (Smoot y Segall, 1963), en este sentido se realizó una evaluación visual diaria para determinar el avance de la infección y así establecer el porcentaje de daño por medio del índice de decaimiento (IDC), utilizando una escala de avance de la infección en un rango de 1 a 5, como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Escala del grado de avance de la infección.

ESCALA	CARACTERÍSTICAS DE DAÑO
1	Frutos que no presentan daño
2	Frutos que no excedían el 25% de la superficie
3	Frutos con daños del 25% al 50% en su superficie
4	Frutos con daños mayores a 50% y menores a 75% en su superficie
5	Frutos con daños severos del 75% al 100% en su superficie

$$IDC = \sum \frac{(Nivel \cdot de \cdot daño) \times (Número \cdot de \cdot frutos \cdot del \cdot nivel)}{Número \cdot de \cdot frutos \cdot totales}$$

#### 4.7 Evaluación del efecto de los tratamientos por vapor en el control de Daños por Frío en mango variedad 'Keitt'.

Se evaluó la efectividad de los tratamientos por vapor para el control de los síntomas de daños por frío y su efecto en los diferentes parámetros fisiológicos y de calidad en mango variedad 'Keitt'.

Para la evaluación de daños por frío se seleccionaron 9 lotes de 12 mangos por tratamiento [control, T<sub>1</sub> (46°C/10min.) y T<sub>2</sub> (46°C/20min.)]. Cada lote se sometió a las diferentes condiciones de tiempo y temperatura del tratamiento térmico, mencionadas en el apartado 4.5.

Un lote de cada tratamiento, se mantuvo en incubadora de temperatura controlada (marca Precision, modelo 815) a las condiciones de 20°C de temperatura y 95% HR hasta su maduración. Los otros

seis lotes se almacenaron en cámara de refrigeración (marca Ojeda, modelo CPD-10128) a una temperatura de  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  (temperatura que provoca daño por frío) con el 95-98% HR por un periodo 25 días, concluido este periodo de almacenamiento los frutos se transfirieron a temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y humedad relativa 95% HR hasta completar su maduración. Un lote de cada tratamiento fue utilizado para la evaluación visual del índice de daño por frío a lo largo de su almacenamiento después de ser transferido a  $20^\circ\text{C}$ .

Para cada tratamiento se tomaron muestras de cada lote estableciendo como parámetro los cambios en la respiración de los frutos para indicar el paso de los diferentes estadios de maduración:  $E_1$  = preclimaterio,  $E_2$  = inicio del climaterio,  $E_3$  = máximo climaterio y  $E_4$  = post-climaterio.

Las muestras de los frutos en los diferentes estadios fueron almacenadas a  $-20^\circ\text{C}$  para su posterior análisis.

Los otros lotes de cada tratamiento fueron para la evaluación de los parámetros fisiológicos y de calidad, contenido de fenoles, pigmentos y actividad enzimática de polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD), de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.

Para establecer el efecto de la aplicación del tratamiento térmico por vapor caliente en la respiración del fruto se evaluó este parámetro en las condiciones de almacenamiento de daños por frío (25 días a  $5^\circ\text{C}$  y transferencia a  $20^\circ\text{C}$ ). Además se determinó el efecto en los parámetros de calidad (pH, acidez total, textura, sólidos solubles, color y porcentaje de pérdida de peso) en los diferentes estadios del proceso de la maduración del fruto. Cada evaluación se realizó por triplicado para obtener resultados representativos de las muestras analizadas.

## **4.8 Métodos analíticos.**

### **4.8.1 Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD).**

#### **4.8.1.1 Preparación del extracto crudo.**

La preparación del extracto se llevo a cabo a una temperatura de  $4^\circ\text{C}$ , de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997), con algunas modificaciones. Se tomaron 200 mg de piel o pulpa los cuales se maceraron utilizando nitrógeno líquido, colocándose después la muestra homogenizada en

microtubos (marca eppendorf) a los que se les adicionó 1 ml de buffer fosfato 0.2 M y pH 7.0, agitándolos durante 1 minuto en un agitador de velocidad constante (marca Lab-line, modelo 1195), para después centrifugarlos a 14,000 rpm durante 15 minutos en microcentrífuga (marca Daigger 4350). Terminado el tiempo de centrifugación se extrajo el sobrenadante y se descarto el pellet, obteniendo de esta forma el extracto utilizado en las actividades enzimáticas para la PPO, PDO y el contenido de proteína de las muestras. Estos extractos fueron almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.8.1.2 Determinación de la actividad de Polifenol Oxidasa.**

La actividad enzimática de la polifenol oxidasa (PPO) se determinó de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997), con ligeras modificaciones, utilizando como sustrato para las determinaciones dopamina hidroclicorada.

La mezcla de reacción contenía 1.45 ml de buffer fosfato 10 mM a pH 7.5 y 0.07 M de dopamina hidroclicorada, para después someterse a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  durante 2 minutos, finalmente se le agregó 100  $\mu\text{l}$  del extracto crudo. Los cambios de absorbancia debidos a la oxidación de la dopamina por la acción de la PPO fueron registrados en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 420 nm durante 4 minutos. Se utilizó como blanco la mezcla de reacción sin el extracto enzimático en lugar de este se le agregaron 100  $\mu\text{l}$  de agua destilada.

La actividad de PPO se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 420 nm contra el tiempo. La actividad de PPO se expresó como  $\Delta A_{420} \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ .

#### **4.8.1.3 Determinación de la actividad de Peroxidasa.**

La actividad enzimática de la peroxidasa (POD) se determinó de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997), con ligeras modificaciones, utilizando como sustrato de las determinaciones  $\rho$ -fenilendiamina y  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

La mezcla de reacción contenía 1.35 ml de buffer fosfato 0.05 M a pH 5.0, con 100  $\mu\text{l}$  de  $\rho$ -fenilendiamina (10 mg/ml) y 50  $\mu\text{l}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (15ml/l), para después someterse 2 minutos a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  para piel y  $30^{\circ}\text{C}$  para pulpa, culminado este tiempo se le agregó 100  $\mu\text{l}$  de extracto crudo. Los cambios de absorbancia debidos a la oxidación de la  $\rho$ -fenilendiamina por la acción de la POD fueron registrados en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo

GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 485 nm durante 4 minutos. Se utilizó como blanco la mezcla de reacción sin el extracto enzimático en lugar de este se le agregaron 100  $\mu$ l de agua destilada.

La actividad de POD se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 485 nm contra tiempo. La actividad de POD se expresó como  $\Delta A_{485} \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ .

#### **4.8.2 Determinación de Fenoles Totales.**

##### **4.8.2.1 Preparación del Extracto.**

Se determinó el contenido de fenoles totales utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (ácido fosfomolibdicofosfotúngstico) por el método sugerido por Slinkard y Singleton (1977), con ligeras modificaciones. Se obtuvo el extracto tomando 200 mg de piel y 500 mg de pulpa respectivamente, después las muestras se trituraron en mortero utilizando nitrógeno líquido y la muestra homogenizada se colocó en microtubos (marca eppendorf) donde se les agregó 1 ml de acetona al 80%, posteriormente las muestras se agitaron durante 1 minuto en un agitador de velocidad constante (marca Lab-line, modelo 1195), centrifugándose a 3,000 rpm por un tiempo de 15 minutos en microcentrífuga (marca Daigger 4350). De cada microtubo se extrajo el sobrenadante (primera extracción), y se repitió el procedimiento agregando, 0.5 ml de acetona al 80%, Los sobrenadantes de las dos extracciones se mezclaron y se concentró en baño maría a 70°C evaporando la acetona hasta sequedad. La materia seca obtenida se resuspendió adicionando 1 ml de metanol agitándose por 1 minuto y centrifugándose a 3,000 rpm por 10 minutos. Se recuperó el sobrenadante en otro microtubo, y se ajustó el volumen del extracto a 1.5 ml con metanol.

##### **4.8.2.2 Cuantificación de Fenoles Totales.**

Para la determinación del contenido de fenoles totales previamente se hicieron diluciones de los extractos en el orden de 1:100 para piel y 1:2 para pulpa. De los extractos se tomó una alícuota de 200  $\mu$ l y se colocó en tubos de ensaye, posteriormente se le agregaron 1,500  $\mu$ l de agua destilada y 100  $\mu$ l de reactivo de Folin-Ciocalteu, después se adicionó 200  $\mu$ l de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% y se agitaron a velocidad constante, dejándose reposar durante 30 minutos, pasado este lapso de tiempo se procedió a medir la absorbancia en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 765 nm. El contenido de fenoles totales se calculó con base en la

pendiente de la proporción lineal de la curva a 765 nm, expresándose como mg de ácido Gálico / g de Peso Fresco.

Como el contenido de azúcares totales presentes en la muestra puede ser motivo de interferencia en los resultados del contenido de fenoles totales se aplicó un factor de corrección, el cual basándose en el contenido de azúcares presentes en el mango fue de 1.03 (Bordeu y Scarpa, 1998).

#### **4.8.3 Determinación del contenido de pigmentos.**

Se evaluó el comportamiento de estabilidad de los pigmentos (clorofila, carotenoides y antocianos) presentes en el mango pretratado con tratamientos con vapor, que posteriormente fueron almacenados a condiciones de 20°C y sometidos a bajas temperaturas (5°C).

##### **4.8.3.1 Preparación del Extracto.**

Para extraer los pigmentos se tomaron piel y pulpa de los mangos sometidos a los diferentes tratamientos y temperaturas de almacenamiento, se fraccionaron cada una de las muestras en un molino (BRAUN, Aromatic, modelo KSM 2) para obtener más homogéneo el tejido, de estos se pesaron 200 mg de cada uno y se homogenizaron en un mortero con nitrógeno líquido y se recolectó en microtubos (ependorf) de 1.5 ml y estos se almacenaron a temperaturas de congelación.

##### **4.8.3.2 Cuantificación de Clorofilas Totales.**

Se llevó a cabo por el método descrito por Holden (1976).

Se adicionó 1.0 mL de acetona al 80%, agitando 1 minuto a velocidad constante en un vortex, el extracto se cubrió y colocó en la oscuridad para dejar reposar durante 2 horas, pasado el tiempo se centrifuga a 3000 rpm durante 10 minutos para eliminar residuos y se leyó a una longitud de onda de 663 y 645 nm en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV), frente a un blanco de acetona al 85%. La concentración de clorofila total en el extracto se calculó según la fórmula de Arnon (1949):

$$\text{Clorofila} \cdot \text{total} \cdot (\text{mg} / \text{ml}) = \frac{(20.2 \times \text{Abs}_{645}) + (8.02 \times \text{Abs}_{663})}{10 \times m}$$

Donde:

m = Cantidad de muestra en gramos.

Los resultados se expresaron en mg de clorofila por gramo de peso fresco.

#### 4.8.3.3 Cuantificación de Carotenoides.

Se llevó a cabo por el método descrito por Santos y Esparza, (1995) con algunas modificaciones.

Se adicionaron 0.5 ml de acetona, homogenizando durante 1 minuto a velocidad constante en un vortex, el extracto se cubrió y colocó en la oscuridad durante 2 horas transcurrido el tiempo se centrifugó por 5 minutos para recuperar el sobrenadante en microtubos de 2 ml y adicionar 0.5 ml de éter de petróleo, se cerró, agitó y homogenizó en 10 s, se dejó reposar 5 minutos y se agregaron 0.5 ml de agua destilada, se agitó nuevamente dejando reposar por 5 minutos, pasado el tiempo se formaron 2 fases, la fase orgánica (superior) se recuperó en microtubos de 2 ml y se agregaron 0.5 ml de agua destilada observando que se formaron de nuevo las dos fases, se colectó la fase orgánica y se repitió la adición de agua destilada 2 veces más, esto con el fin de eliminar la acetona de la fase orgánica completamente, se recuperó la fase orgánica obtenida de los lavados y se aforó el volumen de la alícuota colectada a 1.5 ml con éter de petróleo, realizando la determinación inmediatamente tomando la lectura a una longitud de onda de 454 nm en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV), usando como blanco éter de petróleo. La concentración de carotenoides se calculó según Santos y Esparza, (1995).

$$\text{Carotenoides} \cdot (\text{mg} / 100 \text{g}) = \left( \frac{D.O. \times 3.857 \times Vm}{m} \right) \times 100$$

Donde:

D.O. = Absorbancia a 454 nm.

Vm = Volumen del líquido recuperado.

m = Cantidad de muestra en gramos.

#### 4.8.3.4 Cuantificación de Antocianos.

Se realizó siguiendo el método descrito por Santos y Esparza, (1995) con algunas modificaciones.

Se adicionó 1.0 ml de solución extractora de HCl 3N y Metanol (1:5), se homogenizó 1 minuto a velocidad constante en un vortex cubriendo la muestra y dejándola reposar 4 horas en la oscuridad, transcurrido el tiempo se centrifugó a 3,000 rpm durante 10 minutos recuperando el sobrenadante en microtubos de 1.5 ml y se agregó al pellet 0.5 ml de solución extractora, agitando 1 minuto en un vortex y nuevamente se centrifugo 3,000 rpm por 10 minutos se colectó el sobrenadante y se adicionó al primero, aforando a 1.5 ml con solución extractora y se realizó la determinación espectrofotométrica inmediatamente.

De los extractos obtenidos se tomó una alícuota de 0.6 ml y de se depositaron en tubos de ensaye, consecutivamente se adicionó 0.6 ml de solución de HCl 0.5N y metanol al 80% (1:1) y 0.3 ml de agua oxigenada al 30%, se agitó en vortex leyendo posteriormente a una longitud de onda de 535 nm en espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV), tomando como blanco 0.6 ml de la solución extractora de HCl 3N y metanol (1:5) y las mismas cantidades de las soluciones mencionadas para los extractos. La concentración de antocianos se calculó según Santos y Esparza, (1995).

$$mg \cdot de \cdot antocianinas / 100 g \cdot de \cdot muestra = \frac{50 \times D.O.}{0.405 \times m}$$

Donde:

D.O = Absorbancia a 535 nm.

m = Cantidad de muestra en gramos.

#### 4.8.4 Parámetros de calidad.

##### 4.8.4.1 Determinación de Sólidos Solubles.

El contenido de sólidos solubles se determinó por medición directa del jugo del fruto con un refractómetro de mano (marca ATAGO, modelo 2111), previamente calibrado y ajustado a temperatura ambiente, expresando los resultados como °Brix.

#### 4.8.4.2 Determinación de pH y Acidez Total.

Se tomaron 10 g de muestra y se homogenizaron con 90 g de agua destilada, se filtro la solución y del filtrado se determinó el pH de la lectura directa de un potenciómetro manual digital (marca HANNA instruments, modelo pHep1), al sumergir el electrodo en la solución a temperatura ambiente.

La acidez se determinó de acuerdo al método de titulación directa descrito por AOAC (1990), tomando una alícuota de 20 ml, de la solución filtrada, se le adicionó 3 gotas de fenolftaleína como indicador y por titulación directa con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N se determinó la cantidad de ácido cítrico presente en el mango expresando los resultados como porcentaje de ácido cítrico.

#### 4.8.4.3 Determinación de firmeza.

La firmeza del mango se obtuvo de acuerdo a la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de la piel y la penetración del fruto por un penetrómetro manual (modelo FT327) con una sonda cilíndrica de 5 mm de diámetro sobre una de las caras laterales del fruto, expresando los resultados en Kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.8.4.4 Determinación de Pérdida de Peso.

La pérdida de peso se determinó utilizando una balanza de brazo triple (marca OHAUS serie 800) en la cual se obtuvo la variación del peso inicial del mango, a su llegada al centro de estudio, y el peso del mango en cada estadio de maduración. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos fue expresada como el porcentaje de pérdida de peso de los frutos.

#### 4.8.4.5 Determinación del Color.

Los cambios de color en la piel del mango se registraron en un colorímetro (MINOLTA, modelo CR300) por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares donde **L\*** indica la luminosidad o reflectancia, donde valores de  $L = 0$  representa el color negro y  $L = 100$  representa el color blanco, los valores de **a\*** representan la gama del color desde el color verde para valores negativos y para valores positivos el color rojo, los valores de **b\*** representan la gama del color desde el azul para valores negativos y el amarillo para valores positivos. **a\*** y **b\*** son las coordenadas de la cromaticidad (Croma) o de la saturación de color, y éstas son utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue el cual va de valores de  $0 =$  rojo-púrpura,  $90 =$  amarillo,

180 = azul-verde y 270 = azul, y se calcula a partir de la ecuación  $h^\circ = \arctan [b^*/a^*]$  y la cromaticidad por la ecuación  $C = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$  (McGuire, 1992).

#### 4.8.4.6 Índice de daños por frío.

Los síntomas de daño por frío en los frutos se evaluó subjetivamente, utilizando una escala de los síntomas visuales (tabla 7) de acuerdo al método utilizado por Pérez-Tello *et al.* (2001), basándose en la intensidad del oscurecimiento.

**Tabla 7.** Escala del grado de avance de los síntomas de daños por frío

ESCALA	CARACTERÍSTICAS DE DAÑO
0	Fruto no dañado
1	Fruto con daño ligero (hasta un 10% de la superficie del fruto)
2	Fruto con daño moderado (hasta un 20% de la superficie del fruto)
3	Fruto con daño severo (más de un 20% de la superficie del fruto)

$$IDF = \sum \frac{(Nivel \cdot de \cdot da\tilde{n}o) \times (N\acute{u}mero \cdot de \cdot frutos \cdot del \cdot nivel)}{N\acute{u}mero \cdot de \cdot frutos \cdot totales}$$

#### 4.8.5 Parámetros fisiológicos.

##### 4.8.5.1 Determinación de la Respiración.

La respiración de los frutos se determinó tomando en cuenta la producción de CO<sub>2</sub> generado por los frutos, utilizando el método de sistema cerrado. Los frutos se colocaron en un contenedor sellado, después de un periodo de tiempo no mayor a 1 hora, para evitar dañar el fruto por agotamiento de O<sub>2</sub> y acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera que lo rodea, se midió la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del contenedor sellado. El registro de la producción de CO<sub>2</sub> se realizó al conectar a la salida de ventilación del contenedor un analizador de gas (ANALYZER Nitec, LLC). Los resultados de la producción de CO<sub>2</sub> fueron expresados en mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

#### **4.8.6 Parámetros químicos.**

##### **4.8.6.1 Determinación de Humedad.**

El contenido de humedad se determinó por el método de estufa, en el cual el agua se elimina por el efecto del calor aplicado a la muestra. Calculando el contenido de humedad en la muestra por pérdida de peso debido a la evaporación del agua por calentamiento a 70°C hasta obtener un peso constante (Pearson, 1998). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

##### **4.8.6.2 Determinación de Carbohidratos.**

Los carbohidratos se determinaron utilizando el método de DNS modificado (Miller, 1959), el cual se basa en la propiedad que tienen los azúcares reductores para reducir el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). La determinación se llevó a cabo utilizando una solución de sacarosa hidrolizada como estándar, para obtener la curva patrón en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, modelo GÉNESIS 10 UV) a una longitud de onda de 575 nm. Los valores de concentración de carbohidratos de las muestras se determinaron por interpolación gráfica en la curva patrón obtenida.

##### **4.8.6.3 Determinación de Proteína.**

La cantidad de proteína fue determinada por el método de Lowry *et al.* (1951), donde las proteínas reaccionan con Cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu, que se reduce a heteropolimolibdeno azul por la oxidación de aminoácidos aromáticos que es catalizada por cobre. La reacción se lleva a cabo en medio alcalino (pH 10.0 - 10.5). Se utilizó como estándar albúmina sérica bovina para la construcción de la curva patrón. Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en la curva patrón obtenida de una longitud de onda a 720 nm.

##### **4.8.6.4 Determinación de Fibra Cruda.**

El contenido de fibra cruda se determinó de acuerdo al método de Kennedy-Wendy (Pearson, 1998), el cual se basa en la determinación de fibra cruda sobre una muestra desengrasada, mediante hidrólisis en medio ácido y en medio alcalino. El contenido de fibra se tomó a partir del residuo obtenido del filtrado de estas hidrólisis menos el contenido de cenizas presentes en la muestra, expresándose los resultados en g / 100g de muestra.

#### **4.8.6.5 Determinación de Grasa.**

La cantidad de grasa en las muestras se llevó a cabo por el método de Soxhlet (Pearson, 1998), en el cual la grasa se extrae de la muestra, por arrastre con éter de petróleo a partir del residuo desecado, el solvente se elimina por evaporación quedando el residuo de grasa, el cual se pesa expresando los resultados en g / 100g de muestra.

#### **4.8.6.6 Determinación de Cenizas Totales.**

Para la determinación de cenizas totales se utilizó el método de Klemm (Pearson, 1998), el cual se fundamenta en la obtención del residuo inorgánico resultante después de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 550°C. Los resultados se expresaron en g / 100g de muestra.

#### **4.8.7 Análisis Estadístico.**

Los experimentos se realizaron por triplicado con el fin de obtener resultados significativos y con ello realizar un análisis estadístico confiable y representativo. Se aplicó a los datos obtenidos el análisis estadístico de varianza (ANOVA), éste análisis se llevo a cabo por medio del programa estadístico SPSS 9.0 for Windows Student Version.

## 5. Resultados y discusión.

### 5.1 Evaluación de las características físicas, químicas, fisiológicas y de calidad del mango variedad 'Keitt'.

Para conocer a nuestro material de estudio se determinaron las características físicas, químicas, fisiológicas y de calidad del mango variedad 'Keitt'. Estas características fueron evaluadas en el estado de madurez comercial del fruto a temperatura de almacenamiento de 20°C.

En la Tabla 8, se muestran las características de los mangos con los cuales se trabajó durante el presente trabajo. Los frutos fueron de primera calidad y presentaron un peso promedio de 303.22 g que de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-058-1999-SCFI para los mangos de las variedades del grupo Indostan, como es el caso del mango variedad 'Keitt'.

**Tabla 8.** Caracterización física del mango.

PARÁMETRO	PROMEDIO
<b>Peso (g)</b>	303.22 ± 1.6
<b>Longitud ecuatorial (cm)</b>	23.14 ± 0.44
<b>Longitud polar (cm)</b>	27.81 ± 0.48
<b>Color</b>	
<b>L</b>	46.51 ± 6.34
<b>a</b>	-15.73 ± 2.38
<b>b</b>	29.85 ± 3.37

Los datos presentados son la media de tres replicas (n= 120) ± desviación estándar.

Del análisis químico del mango variedad 'Keitt', se puede observar en la tabla 9 su alto contenido de azúcares, debido a la hidrólisis del almidón que presentan los frutos en el proceso de maduración, originando una acumulación importante de azúcares, que junto a los sólidos solubles y totales, le confieren un agradable sabor al fruto; su contenido de fibra lo hace un alimento indispensable en la dieta humana ya que ayuda a la digestión y estimula el metabolismo; su bajo contenido de proteína,

de aproximadamente el 2% no lo hacen una fuente rica en proteínas, pero su alto contenido de humedad, de casi el 80%, lo hace un producto extremadamente jugoso. Además su bajo contenido de grasa, de tan solo el 1%, y su aporte bajo en calorías, 70 calorías por 100 g de porción comestible (Keitt mango, 2005), lo hacen un fruto de relevancia para la dieta humana.

**Tabla 9.** Composición química y características fisicoquímicas del mango variedad 'Keitt'.

COMPONENTE	CANTIDAD POR 100g DE PORCIÓN COMESTIBLE
Carbohidratos (g) <sup>a</sup>	13.17 ± 1.52
Fibra cruda (g) <sup>b</sup>	0.245 ± 0.082
Proteína (g) <sup>c</sup>	1.93 ± 0.08
Grasa (g) <sup>d</sup>	0.965 ± 0.074
Cenizas (g) <sup>e</sup>	0.422 ± 0.048
Humedad (g) <sup>f</sup>	79.64 ± 2.24
Sólidos solubles (°Brix)	16.41 ± 0.11
Sólidos totales (g)	20.36 ± 1.75
pH	4.96 ± 0.56
Acidez (% de ácido cítrico)	0.29 ± 0.11

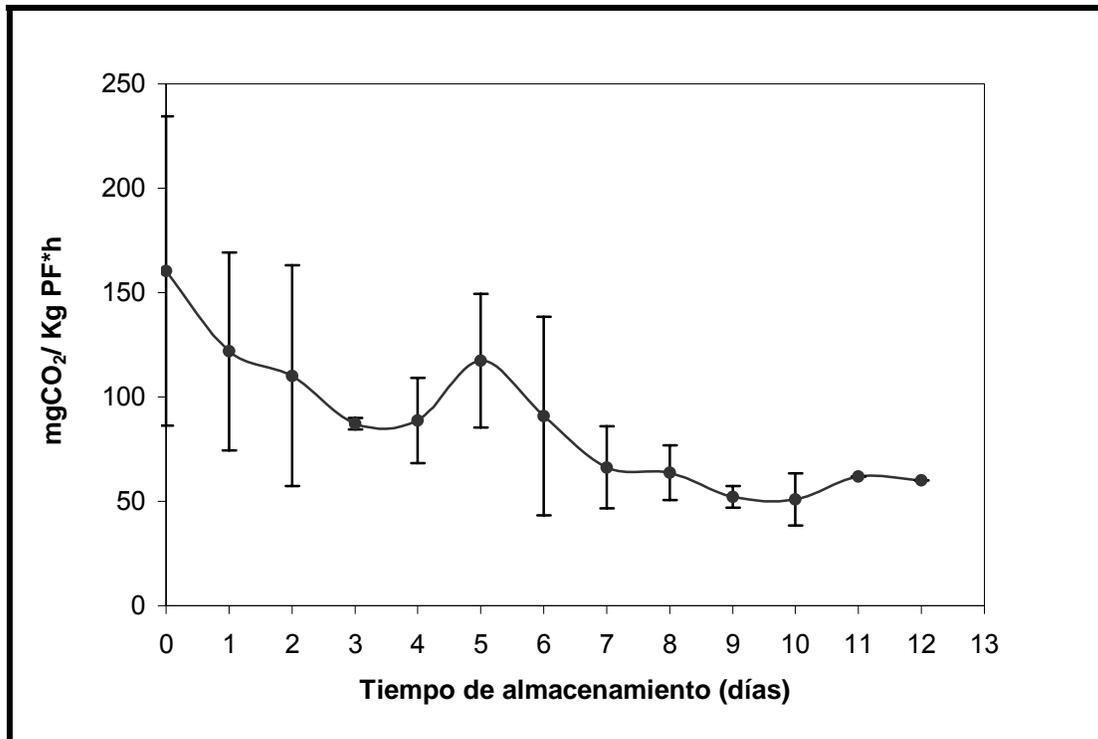
El contenido de cada componente fue determinado por el método: **a** = Colorimétrico DNS; **b** = Kennedy y Wendy; **c** = Lowry; **d** = Soxhlet; **e** = Klemm y **f** = Secado por estufa.

Los valores presentados son la media de tres replicas ± desviación estándar

Otra de las principales características para el almacenamiento del mango es su comportamiento climatérico. El climaterio representa un estado de autoestimulación, el cual marca la transición de la maduración a la senescencia. El periodo de maduración del mango es caracterizado por una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción de etileno y un incremento en la respiración que provocan los cambios en color, aroma y sabor (Salunke y Desai, 1984).

La tasa de respiración es un buen índice de la longevidad del fruto después de cosechado. La intensidad respiratoria es considerada como una medida de la tasa en que se está realizando el metabolismo y como tal, con frecuencia se le considera como una indicación de la vida potencial de

almacenamiento del fruto. Una tasa elevada de respiración va asociada con una corta vida en almacenamiento. La tasa de respiración también es indicadora de la tasa a la cual el fruto se está deteriorando en calidad y valor alimenticio (Pantastico, 1987).



**Figura 13.** Cambios en la respiración del mango variedad 'Keitt' durante el almacenamiento a 20°C.

En la Figura 13 se pueden observar los cambios en la tasa respiratoria medida en función de la producción de CO<sub>2</sub> del mango variedad 'Keitt' a temperatura de almacenamiento de 20°C. Normalmente, la respiración desciende con lentitud a valores bajos inmediatamente antes del comienzo de la maduración, aumenta hasta alcanzar su máximo valor conforme el fruto madura y desciende de nuevo durante la postmaduración y senescencia (Hobson, 1993). Por consiguiente, en el preclimaterio (estadio E<sub>1</sub>) se observó un valor alrededor de 160 mg CO<sub>2</sub> / Kg PF\*h, valor por encima del punto del máximo climaterio, esto fue debido a que el fruto presentó un estrés por el transporte y almacenamiento inicial. Al segundo día se presentó el inicio del climaterio (estadio E<sub>2</sub>) que se apreció muy minimizado por la tendencia negativa que presentó la curva de respiración, como se mencionó anteriormente. En el quinto día el fruto alcanzó el máximo climaterio (estadio E<sub>3</sub>), momento en el cual la tasa respiratoria alcanzó su punto máximo con valores de 117 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, lo cual nos indica que el mango está en el grado óptimo de madurez comercial y listo para el consumo. Finalmente se observó un descenso en la respiración, llamado postclimaterio (estadio E<sub>4</sub>) donde se presentó el inicio de la de senescencia del fruto que se extendió hasta el doceavo día de

almacenamiento, en trabajos realizados por Pantastico, (1987) indica que sólo cuando va a efectuarse la maduración, la tasa de respiración asciende hasta el pico climatérico y luego declina de manera lenta.

## **5.2 Selección de condiciones de temperatura y tiempo de los tratamientos por vapor caliente.**

Los tratamientos térmicos traen grandes ventajas, entre las que se encuentran, su efectiva acción fungicida e insecticida, su facilidad de aplicación y no dejar residuos químicos, además disminuyen la sensibilidad del fruto al frío (Couey, 1989). Actualmente, hay tres métodos en uso en que estos tratamientos pueden ser aplicados a los mangos, y estos son por vapor caliente (VHT), aire caliente forzado (FHAT) y agua caliente (HWT) (Nyanjage *et al.*, 1998; Jacobi *et al.*, 2001<sup>b</sup>).

Debido a que los tratamientos térmicos fueron desarrollados para controlar el deterioro postcosecha y la infestación de insectos, los tratamientos por vapor caliente (VHT) facilitan la operación en muchos países, aunque principalmente estos sean utilizados en tratamientos de cuarentena de productos tropicales (Lydakís y Aked, 2003). Los tratamientos por vapor caliente también son referidos como aire caliente con alta humedad. Este proceso (VHT) involucra aire caliente que esté saturado con una alta humedad y que la corriente de aire pase a través del fruto (Jacobi *et al.*, 2001<sup>b</sup>).

Debido a que el mango es relativamente resistente a los daños por calor (Couey, 1989). Se seleccionaron los tratamientos térmicos más efectivos para alargar la vida útil del mango, el control de la antracnosis y la reducción de los síntomas de daños por frío. Se evaluaron sobre la base de las condiciones que no provocaron daños físicos inmediatos al fruto y las que presentaron un efecto sobre el control de la antracnosis y las que minimizaron la susceptibilidad del fruto al frío.

Cuando los tratamientos térmicos son aplicados correctamente se extiende la vida útil de almacenamiento del fruto. Si embargo, los tratamientos térmicos aplicados severamente o en forma inapropiada pueden deteriorar la calidad del fruto, incrementar su descomposición y acortar su vida útil de almacenamiento. En otras palabras, el efecto que tiene los tratamientos térmicos sobre la calidad del fruto es importante. En suma, cualquier efecto debe ser sin lugar a dudas moderado y preferentemente no destructivo (Nyanjage *et al.*, 2001).

Se propusieron las temperaturas de 38°C, 46°C y 56°C con tiempos de 10, 20 y 30 minutos para cada temperatura, en base a la susceptibilidad del fruto a las altas temperaturas y al efecto de las mismas

sobre la erradicación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* y el control de los síntomas del daño por frío (Chilling injury).

De las temperaturas propuestas cabe mencionar que el tratamiento a 38°C, con sus respectivos tiempos, no dañó al fruto físicamente, sin embargo no tuvo un apreciable efecto sobre el control de la antracnosis quedando esta condición descartada para el posterior análisis de los frutos. El tratamiento a 56°C, tan solo con la primera condición de tiempo, dañó considerablemente al fruto, tanto interna como externamente, produciendo un daño físico inmediato que se apreció con un cambio abrupto en el color de la piel del fruto causado por el escaldamiento, originado por la alta temperatura, pasando de su color característico verde, propio de su estado preclimaterico, a una coloración de tonalidad ámbar que abarcó cerca de un 95% de la superficie total del fruto. Internamente la alta temperatura provocó en la pulpa un ablandamiento tan considerable desde los primeros días después de aplicado el tratamiento. Además, la pudrición del fruto fue con un ritmo mucho más acelerada que en los otros tratamientos y por consiguiente esta condición (56°C), por ser muy drástica sobre la sensibilidad del fruto a las altas temperaturas de igual manera se descartó. La otra condición experimentada fue a 46°C, y en lo que respecta a los tiempos de aplicación se apreció una respuesta satisfactoria para los tiempos de 10 y 20 minutos ya que estos no dañaban, considerablemente, al fruto y los efectos negativos sobre el mismo fueron mínimos. Un tratamiento por inmersión en agua caliente para controlar *C. gloeosporioides* en papaya fue desarrollado por Akime y Arisumi (1953) donde ellos recomendaban la exposición del fruto de 44°C a 49°C por 20 minutos (citado por Couey, 1989). Además, ésta temperatura es la que se fija para los tratamientos hidrotérmicos en el caso de los frutos de exportación. En este caso al tiempo de 30 minutos a 46°C los mangos presentaron daños por calor muy similares a los de la condición de 56°C, pero en menor grado, por lo tanto este tiempo de exposición no fue tomado en cuenta posteriormente. Esto se corrobora con los trabajos de Paull y McDonald (1994) quienes encontraron que la exposición de los frutos a los tratamientos térmicos, muy frecuentemente produce daños, como incapacidad para el desarrollo normal de la pigmentación, marchitamiento y oscurecimiento con una rápida pérdida de la vida postcosecha. De igual forma, Paull y Chen (1990) mencionaron que los síntomas del daño por calor en frutos maduros son: piel escaldada e incapacidad del fruto para ablandarse completamente o para ablandarse a velocidad normal. Al igual que trabajos de Lydakis y Aked (2003) mencionan que si la temperatura es demasiado alta o el periodo del tratamiento es demasiado prolongado, una gran variedad de efectos negativos sobre la calidad del fruto pueden presentarse como altos niveles de pérdida de agua, decoloración de la piel, incremento de la susceptibilidad a la contaminación por microorganismos y un descenso de la vida media de almacenamiento.

### 5.2.1 Efecto de los tratamientos térmicos sobre los cambios en la respiración del mango variedad 'Keitt'.

En la Figura 14 se muestran los cambios en la respiración de los mangos tratados por vapor caliente a las diferentes condiciones de temperatura y tiempos. Los resultados muestran que la aplicación de los tratamientos térmicos afecta la tasa respiratoria del mango incrementando la producción de CO<sub>2</sub> en todas las condiciones del tratamiento térmico, con respecto al control. De esta forma los tratamientos a 38°C fueron los que presentaron una mayor producción de CO<sub>2</sub>, a 10 minutos se obtuvo un incremento de un 73% (203 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) y para 20 minutos un 136% (277 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) con relación a los mangos controles (117 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) en el máximo climaterio (estadio E<sub>3</sub>). En cambio para los tratamientos a 46°C estos tuvieron un incremento de la producción de CO<sub>2</sub> en un 9% (128 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) para 10 minutos y en un 67% (196 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) para 20 minutos con respecto a los mangos controles, siendo que para las condiciones a 46°C, estos incrementos fueron mínimos. Además el pico climatérico se ve modificado por la acción térmica, encontrándose que en todas las condiciones del tratamiento se encuentra situado un día antes con respecto al control, lo cual indica que los tratamientos térmicos tienen un efecto negativo en la respiración del fruto, porque además de incrementarla le provocan una aceleración y reducen la vida media del fruto, como se reporta en trabajos realizados por Saltveit (2001). Este comportamiento ha sido reportado para otro tipo de frutos como en manzanas (Klein y Lurie, 1990), uvas (Shellie y Mangan, 2000), tomates (Lurie y Klein, 1992) y lechuga (Saltveit, 2001), entre otros.

Por consiguiente las condiciones de temperatura y tiempos de aplicación seleccionados para el estudio del control de antracnosis y daños por frío fueron: 46°C por 10 minutos (T<sub>1</sub>) y 46°C por 20 minutos (T<sub>2</sub>), ya que estas condiciones no dañaron físicamente al fruto, no modificaron tan severamente la respiración y no afectaron los parámetros de calidad. Jacobi *et al.*, (1995) estudiaron el efecto de la madurez de mangos 'Kensington', en estado de madurez fisiológica, sometidos a un tratamiento térmico por vapor caliente a 46.5°C por 10 minutos y encontraron que en el fruto no hubo daño por este tratamiento.

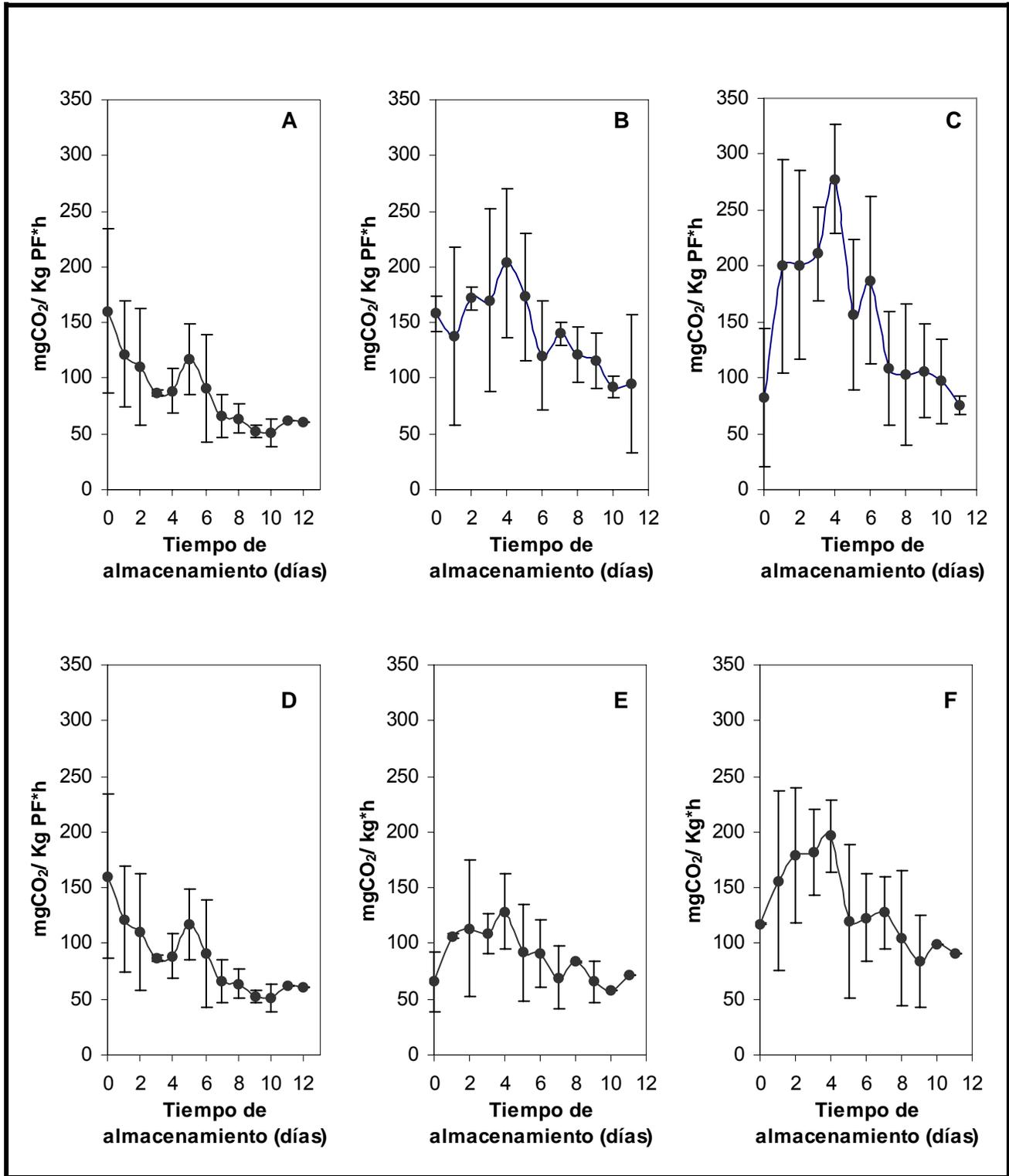


Figura 14. Cambios en la respiración de mangos sometidos a tratamientos por vapor caliente: (A y D) Control, (B) 38°C / 10 min., (C) 38°C / 20 min., (E) 46°C / 10 min. y (F) 46°C / 20 min.

### 5.3 Efecto de los tratamientos térmicos en el control de antracnosis en mango variedad 'Keitt'.

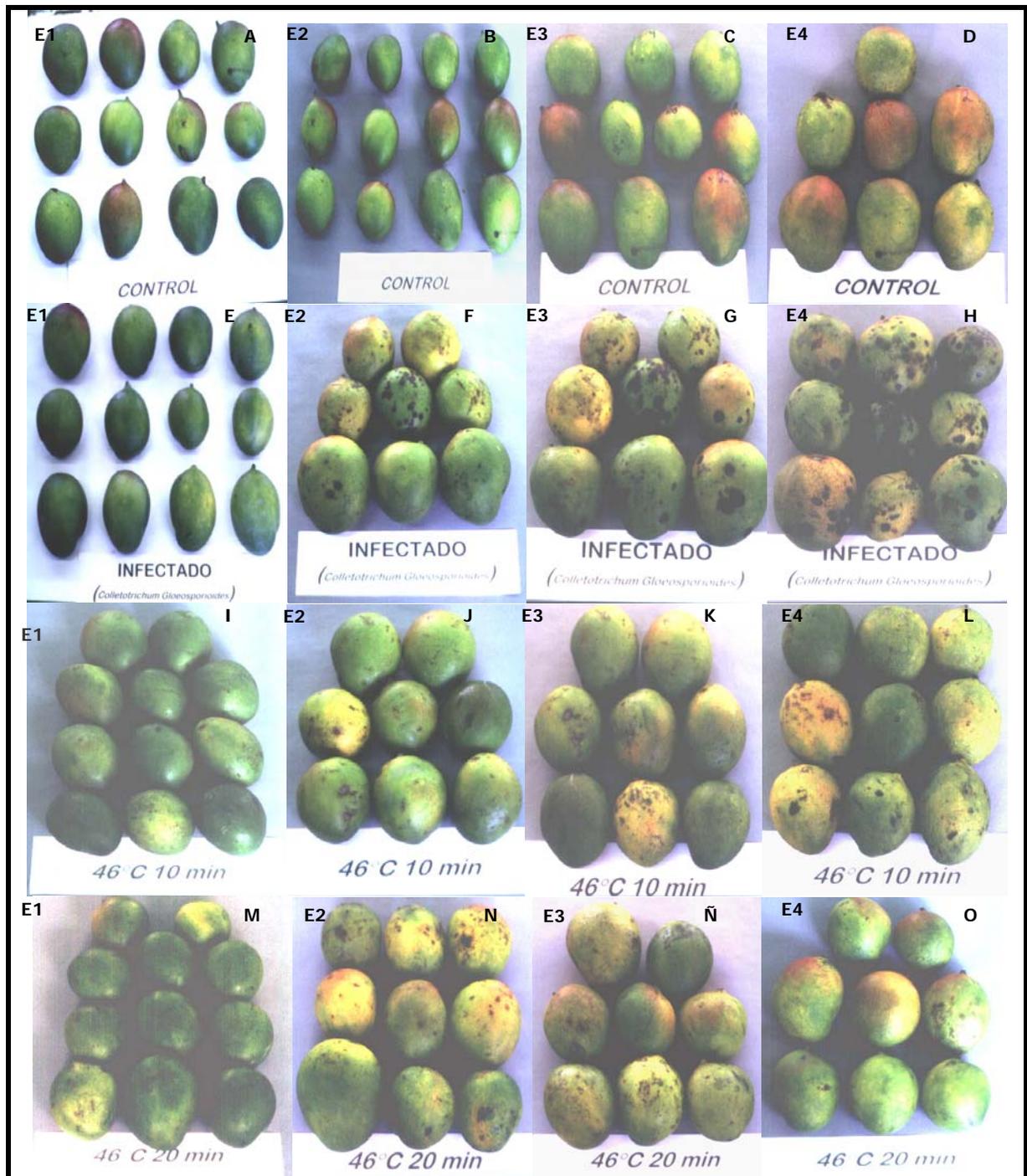
En la búsqueda por encontrar tratamientos fungicidas más efectivos en los cuales los patógenos no desarrollen resistencia, los tratamientos térmicos han sido desarrollados como una medida no-química de control fungicida (Esguerra *et al.*, 2004). Pero, el éxito del tratamiento térmico depende de la existencia de una suficiente diferencia entre la tolerancia al calor del hospedero (el fruto) y el patógeno (Lydakakis y Aked, 2003).

La mayor enfermedad postcosecha del mango es la antracnosis causada por el hongo *C. gloeosporioides*. Este organismo infecta el mango en cualquier momento desde la floración en adelante. Los frutos parecen perder sus defensas durante la maduración, por consiguiente la infección que había continuado inactiva a lo largo de mucho del desarrollo del fruto se vuelve activa y ataca al fruto (Prusky, 1996).

La antracnosis es una de las enfermedades más frecuentes y más importante en todos los sitios de producción del mango, que causa daños considerables en las flores, hojas y frutos, siendo además una de las causas de mayores pérdidas postcosecha, tanto en almacenamiento, transporte y comercialización, por los daños causados al fruto durante el desarrollo de los síntomas de la enfermedad que son manchas hundidas de color negro en la superficie del fruto, siendo más severa después de periodos de clima húmedo que causan, entre otras cosas, una considerable disminución de la calidad del fruto, tanto de exportación como de consumo interno, por su mala apariencia al consumidor final. Además es una de las enfermedades principales de restricción para obtener la certificación fitosanitaria requerida para la movilización, comercialización y exportación del fruto (Díaz-Sobac *et al.*, 2000).

Los primeros síntomas de la enfermedad son de carácter visual al intensificarse la presencia del hongo sobre el fruto. Estos síntomas van apareciendo paulatinamente desde el inicio del climaterio ( $E_2$ ) como pequeñas manchas de color negro-parduzco y también con hundimientos sobre la piel del mango, que se expanden conforme madura el fruto hasta propagarse en su mayor extensión en el postclimaterio ( $E_4$ ), como se muestra en la figura 15.

Para establecer el avance de la enfermedad se utilizó el Índice de Decaimiento (IDC) el cual indica el grado de avance de la infección del hongo *C. gloeosporioides*, causante de la antracnosis donde la escala utilizada para los frutos fue 1= sin daño, 2= daño que no excediera el 25%, 3= daños entre el 25% y 50%, 4= daños mayores a 50% y 5= daños severos del 75% al 100% (Smoot y Segall, 1963).

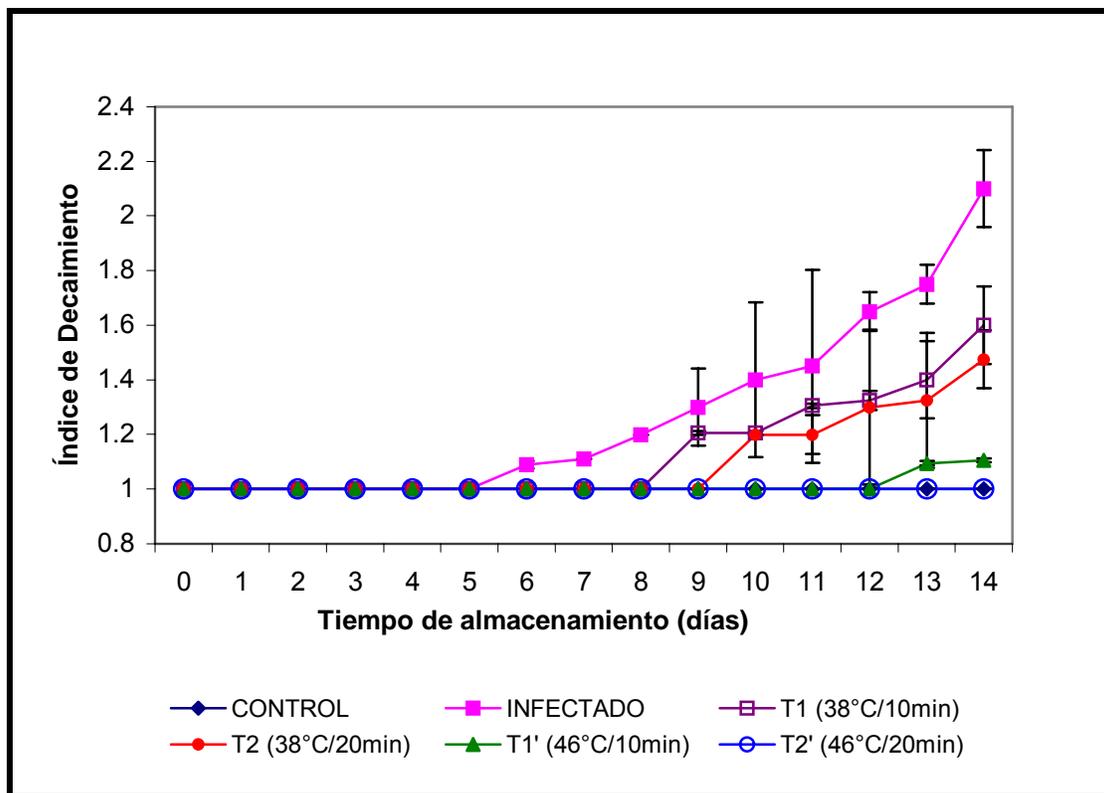


**Figura 15.** Avance de la infección por antracnosis en los diferentes tratamientos. De arriba hacia abajo: (A, B, C, D) Control, (E, F, G, H) Infectado, (I, J, K, L) T<sub>1</sub> (46°C por 10 min.) y (M, N, Ñ, O) T<sub>2</sub> (46°C por 20 min.). (E<sub>1</sub> = preclimaterio; E<sub>2</sub> = inicio del climaterio; E<sub>3</sub> = máximo climaterio y E<sub>4</sub> = postclimaterio).

Los mangos controles e infectados no recibieron el tratamiento térmico. Por lo que los valores del IDC para los mangos infectados mostraron un intenso avance de la enfermedad poco después del inicio

del climaterio ( $E_3$ ) que continuo hasta el final de la maduración, donde toma valores más elevados, como se muestra en la figura 16.

En base a la escala de daño que sufre el mango por la infección por antracnosis, se puede apreciar en el IDC que todos los mangos tratados y no tratados térmicamente, no presentaron síntomas de antracnosis durante los primeros cinco días ubicándose en la escala mínima de 1, en la cual los frutos no presentaron daños aparentes; Sin embargo a partir del sexto día los mangos sin tratamiento se presentaron los primeros síntomas de la enfermedad, aunque mínimos pero evidentes iniciándose en este tiempo la aparición de pequeñas lesiones de color marrón en los frutos inoculados, con la suspensión de esporas de *C. gloeosporioides*, en un 16% de su superficie total, en tanto que los mangos con los tratamientos térmicos y el control no presentaron síntomas. Asimismo, el avance de la infección aumentó progresivamente para los frutos infectados, éstos fueron evaluados con el IDC, indicando que la infección fue más evidente entre mayor fue el tiempo de almacenamiento.



**Figura 16.** Índice de decaimiento (IDC) de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C.

En los mangos tratados en condiciones de 38°C durante 10 minutos al noveno día se presentaron los primeros síntomas de la infección y para el décimo día lo mismo sucedió para los mangos en

condiciones de 38°C durante 20 minutos, y en los frutos infectados la enfermedad aumentó progresivamente, por consiguiente las lesiones se agrandaron formando manchas redondas ocupando una superficie del 20% del total del fruto.

A partir del undécimo y duodécimo día el desarrollo de la infección fue gradual y en ascenso para los frutos infectados y para los frutos tratados en temperatura de 38°C por 10 y 20 minutos, respectivamente. Encontrándose que las lesiones se incrementaron en tamaño y en número, mas para los frutos infectados presentándose los síntomas de la enfermedad antes que los frutos tratados, por lo que la propagación del hongo pasó a ser de superficial a interna, empezándose a establecer en la pulpa del fruto y con ello la infección fue casi total. Un comportamiento similar al que presentaron los mangos infectados se encontró en trabajos realizados por Díaz-Sobac *et al.*, (2000) donde observaron que el grado de daño de mangos 'Manila' infectados con *C. gloeosporioides* a 25°C, fue moderado en el 17% de los mangos después de seis días de almacenamiento, y el daño pasó de moderado a severo en el 50% de los frutos después de nueve días y a un 60% después de doce días de almacenamiento alcanzando los frutos el grado de daño severo.

A partir del decimotercero y decimocuarto día los frutos se encontraron en su etapa de senescencia, que se caracterizó por el término del periodo de la vida poscosecha del fruto en donde se empezaron a cambiar sus características físicas, químicas y organolépticas, etapa donde el fruto alcanzó el límite de su consumo y el inicio de una serie de procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para dar paso a la pudrición final, y por consiguiente el repunte de los síntomas por antracnosis es muy considerable tanto para los mangos tratados e infectados. Encontrándose que en los infectados, los frutos maduros presentaron lesiones irregulares de color marrón a negro en un 45% de su superficie total del fruto. Demostrándose que los mangos infectados en esta etapa de infección el hongo se estableció tanto en la superficie como en la pulpa del mango y por consiguiente provocó una rápida pudrición y el deterioro, causado por el consumo de nutrientes por parte del hongo. En los mangos tratados en 38°C a 10 y 20 minutos se presentó el mismo comportamiento, pero en menor grado. Estos resultados fueron similares a lo reportado por Ketsa *et al.*, (2000) los que encontraron en mangos 'Nam Dokmai' una severidad del decaimiento por antracnosis (*C. gloeosporioides*) al final del periodo de maduración mucho menor en mangos tratados (38°C por 3 días) que en los no tratados térmicamente. Estableciendo que la germinación de esporas y el crecimiento micelial son inhibidos a temperatura de 38°C.

En los frutos tratados en temperatura de 46°C por 10 minutos ( $T_1$ ) se iniciaron los síntomas de la enfermedad hasta el final de la evaluación, cuando el mango alcanzó un estado de avanzada

madurez presentando las manchas características de la infección por antracnosis apareciendo las lesiones hasta el decimotercero día en un 13.6% sobre la superficie total del mango, manteniendo así hasta el decimocuarto día de la evaluación, mientras que los frutos tratados a 46°C por 20 minutos (T<sub>2</sub>) no presentaron síntomas de la enfermedad causada por antracnosis sobre la superficie del fruto. Indicando con lo anterior, que en ambos tratamientos el grado de avance de la infección de antracnosis fue muy bajo (T<sub>1</sub>) o nulo (T<sub>2</sub>) pues se redujo la aparición de los síntomas en un 78% en los frutos tratados a 46°C por 10 minutos y en un 100% en los frutos tratados a 46°C por 20 minutos. En trabajos de Jacobi *et al.*, (1995) se encontraron que los tratamientos con agua caliente a 46°C por 30 minutos en mangos 'Kensington' reducen la incidencia de dos principales enfermedades como la antracnosis (*C. gloeosporioides*) y la pudrición del pedúnculo (*D. dominicana* y *L. theobromae*) alcanzando un promedio del 1% de incidencia de la enfermedad comparado con el 7% presentado en los frutos no tratados. En cambio, Nyanjage *et al.*, (1998) encontraron que con un tratamiento con agua caliente a 46.5°C por 45 minutos en mangos 'Keitt' y 'Tommy Atkins' la severidad del daño por antracnosis y pudrición del pedúnculo se reduce a 13% y 1%, con respecto al control 60% y 10%, respectivamente.

Esto se puede explicar debido a la resistencia del mango 'Keitt' a los daños y decaimiento postcosecha (Mitcham y McDonald, 1992) y por los niveles de humedad relativa que se presentaron durante el desarrollo del fruto (90%). Para el desarrollo de antracnosis es necesario un nivel de humedad relativa superior o igual al 95% (Mena *et al.*, 2005).

En este trabajo se observó que las lesiones al principio son superficiales, diseminadas en la periferia del mango y cuando las manchas se encontraron ya muy extendidas y penetraron en la pulpa y al progresar más la severidad de la infección se forman esporas de color rosa salmón en las lesiones exteriores.

En la pulpa del fruto se observó la presencia de manchas café oscuro que se extendían hacia el interior del fruto, además en esas regiones la consistencia de la pulpa presentaba un ablandamiento más pronunciado que el resto de la pulpa. En trabajos de Meredith (1971), Ploetz *et al.*, (1994) y Snowdon (1990) encontraron que por efectos de las toxinas producidas por el hongo *C. gloeosporioides*, la pulpa se deteriora (pudrición) presentando áreas negruzcas que en sus inicios son blandas, pero que después se endurecen y finalmente los frutos se pudren totalmente.

Mohammed y Brecht (2002) al evaluar la reducción de daños por frío en mangos 'Tommy Atkins' con diferente etapa de maduración observaron que los mangos verdes y ligeramente maduros no

presentaron un decaimiento aparente en comparación con los mangos muy maduros. En la mayoría de los casos en los que se presentó decaimiento se observaron múltiples infecciones en la misma lesión, siendo el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* y la *Erwinia* los principales patógenos.

#### **5.4 Evaluación de la infección por antracnosis y de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Keitt'.**

##### **5.4.1 Efecto en pH.**

En los parámetros de calidad de los frutos infectados por el hongo *C. gloeosporioides* se observó que al desarrollarse la enfermedad, la tendencia en los primeros estadios es similar a los mangos del grupo control, no encontrándose diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre ambos, esto puede ser debido a que como el hongo esta en sus primeras etapas de crecimiento no había penetrado la piel del mango ni la pulpa, y por lo tanto no existía la disponibilidad de los nutrimentos necesarios para su óptimo desarrollo, pero en los últimos estadios ( $E_3$  y  $E_4$ ) la situación cambió y los parámetros de calidad se vieron afectados cuando la severidad de la infección se presentó, esto se observó más en el último estadio que fue cuando la enfermedad se presentó en todo el fruto y la disponibilidad de nutrimentos para el hongo *C. gloeosporioides* es más accesible. Entonces es cuando se apreció una ligera variación en los parámetros de calidad (pH, acidez, °Brix y firmeza) debido a la propagación y desarrollo del hongo, el cual provocó cambios internos y externos al infectar el fruto.

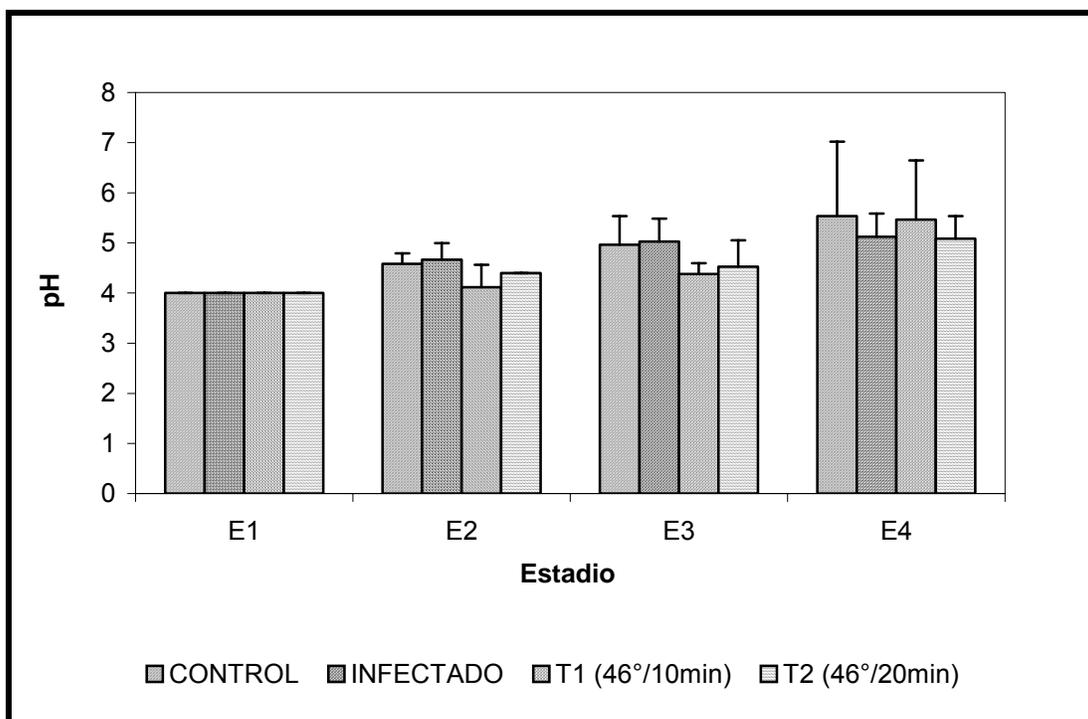
Los primeros síntomas de la enfermedad son de carácter visual al intensificarse la presencia del hongo sobre el fruto y después prosigue hacia el interior del fruto donde tienen a su disposición los nutrientes necesarios para su propagación.

El valor de pH, para el grupo control, va incrementándose conforme avanza la maduración del fruto sin llegar a valores alcalinos, como en trabajos de Doreyappa-Gowda y Huddar (2001), que reportaron que el valor del pH se incrementó considerablemente durante la maduración del fruto, lo cual puede ser atribuido a la declinación de la acidez. Por consiguiente, los valores de pH inician con valores de 4.0, para el preclimaterio ( $E_1$ ), hasta valores de 5.5, en el postclimaterio ( $E_4$ ). En tanto los valores de pH para los frutos infectados no presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto a los frutos control, y sólo presentaron un comportamiento similar al control salvo en el último estadio, donde el valor de pH desciende hasta 5.1, ubicándose en un 7.2% menor al control (5.5) en este mismo punto, como se muestra en la figura 17, este descenso del valor de pH es una

condición favorable para la supervivencia del hongo, debido a la necesidad de un medio ácido para desarrollarse.

Varios estudios han mostrados una clara evidencia que la condición y calidad del mango pueden ser mantenidas satisfactoriamente después de la correcta aplicación de los tratamientos térmicos (Nyanjage *et al.*, 1998).

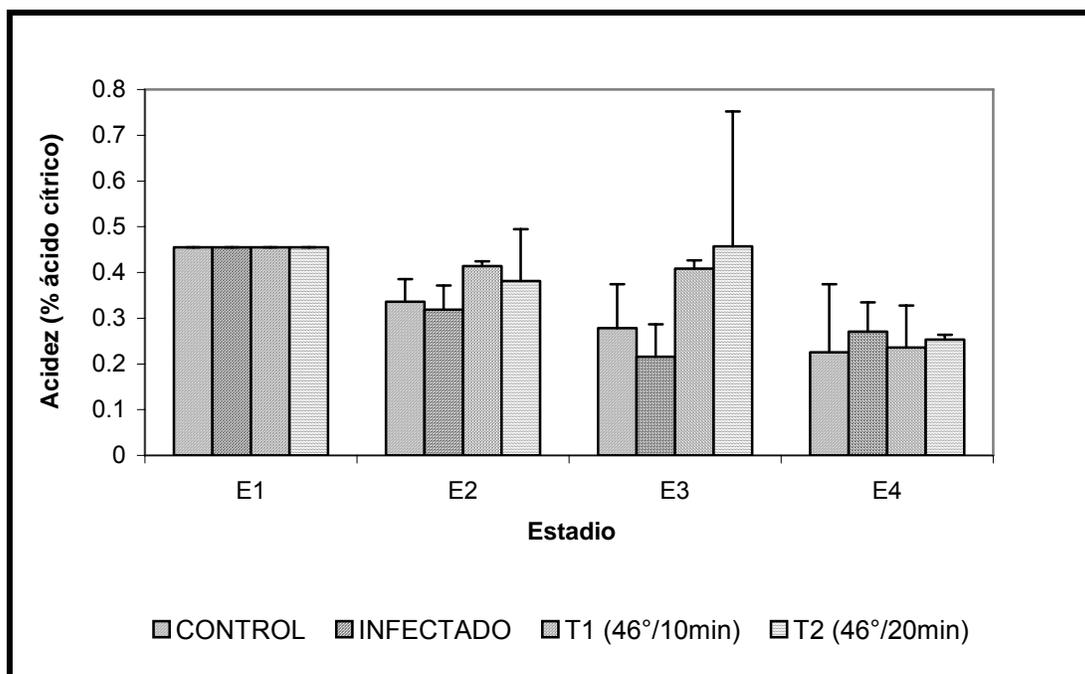
Con respecto al efecto que tienen las dos condiciones del tratamiento térmico, a una temperatura de 46°C por 10 minutos ( $T_1$ ) y a 46°C por 20 minutos ( $T_2$ ), sobre el pH, éstos no presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto a los frutos control, encontrándose en la primera condición ( $T_1$ ) un comportamiento similar al control en todo el proceso de maduración, pero con valores un 10% más bajos para el inicio del climaterio ( $E_2$ ) y un 12% más bajo en el máximo climaterio ( $E_3$ ), y en el postclimaterio ( $E_4$ ) los valores se encontraron muy cercanos, tan solo en un 1% por debajo del control. La segunda condición ( $T_2$ ) mostró la misma tendencia al control durante los dos primeros estadios ( $E_1$  y  $E_2$ ), pero en el inicio del climaterio estuvo por debajo en un 9% y en el postclimaterio ( $E_4$ ) en un 8%, respectivamente, indicando que no afectaron los tratamientos térmicos este parámetro, como lo reportado en trabajos de Batista (2002).



**Figura 17.** Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre el pH de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración,  $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio)

### 5.4.2 Efecto en acidez.

El aumento del pH corresponde a los cambios en el contenido de acidez titulable, en mango el ácido cítrico, es el ácido predominante (Mitra y Baldwin, 1997), el cual presentó un descenso gradual de su concentración inicial al madurar el fruto teniendo concentraciones de acidez del 0.45%, en el preclimaterio ( $E_1$ ), hasta el 0.22% en el postclimaterio ( $E_4$ ) para los frutos controles, esta reducción en el contenido de acidez fue atribuida a su conversión en azúcares y el fomento de su utilización en los procesos metabólicos (Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001). En los mangos infectados el contenido de acidez titulable presentó un comportamiento similar al grupo control en los tres primeros estadios ( $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ ), pero en el postclimaterio aumentó su concentración (acidez de 0.27%) ubicándose en un 20% por arriba del control en este mismo punto, no encontrándose diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) y como se mencionó anteriormente las condiciones de un medio ácido favorecen la supervivencia del hongo ya que en este punto es cuando esta prácticamente sobre la totalidad del fruto, además, de que en este periodo de senescencia, el fruto esta prácticamente en un estado de pudrición.



**Figura 18.** Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la concentración de acidez de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.  
 $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio)

En cambio para la primera condición del tratamiento térmico ( $T_1$ ) el contenido de acidez mostró una tendencia parecida al control, pero con valores un poco más elevados, teniendo que para el inicio del climaterio ( $E_2$ ) el contenido de acidez presentó un incremento de un 23% y en el máximo climaterio

(E<sub>3</sub>) un 47% por encima del control, para después descender en su concentración final hasta ubicarse en un 4% arriba del control en el postclimaterio (E<sub>4</sub>). Sin embargo, en la segunda condición del tratamiento térmico (T<sub>2</sub>) la mayor diferencia de concentración de acidez se encontró en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) donde alcanzó un valor de un 64% por encima del control y después desciende su concentración en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) para ubicarse en un 12% por arriba del control. Ambos tratamientos térmicos, al final de la maduración, están por debajo de los mangos infectados, a pesar de generar una mayor concentración de acidez y a diferencia de los infectados, tienen una tendencia, a lo largo de la maduración, a disminuir su concentración inicial de acidez, sin presentar diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control como se muestra en la figura 18.

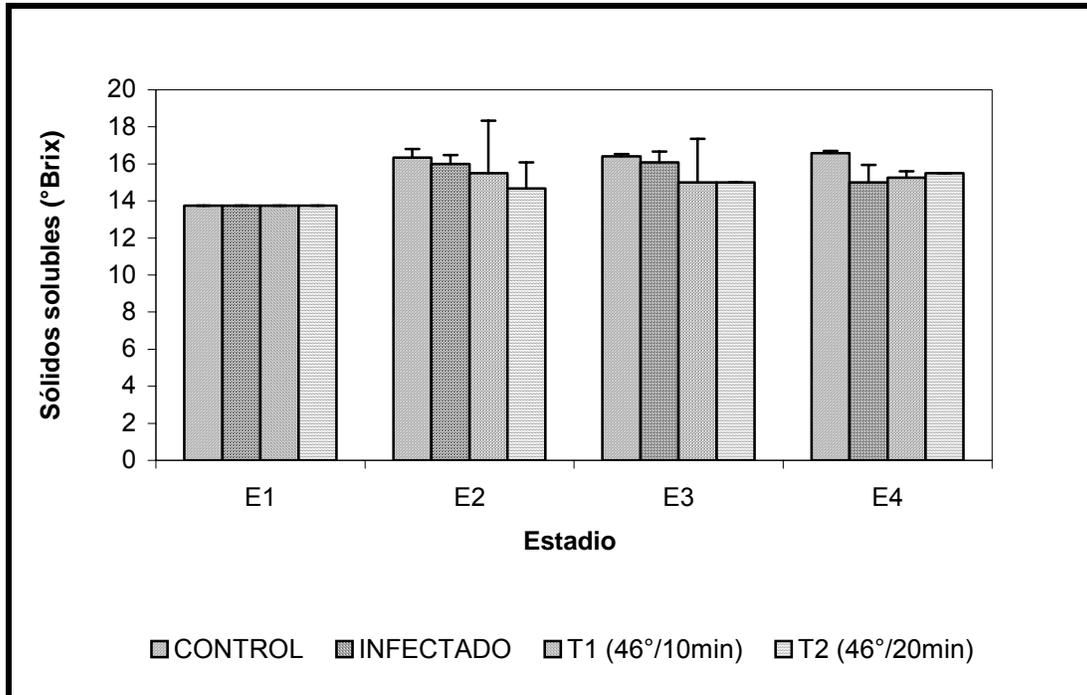
#### 5.4.3 Efecto en sólidos solubles.

Los sólidos solubles totales (SST), medidos como °Brix, fueron incrementándose desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) con valores de 13.8 hasta 16.6 °Brix para el postclimaterio (E<sub>4</sub>). Esto puede ser atribuido a la degradación de polisacáridos, particularmente almidón y pectinas, durante la maduración en sacarosa, glucosa y fructosa, principalmente (Zambrano *et al.*, 1997; Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001). Como consecuencia de esta hidrólisis de polisacáridos, el contenido de azúcares reductores, al igual que SST presentan el mismo comportamiento, incrementando sus valores durante la maduración del fruto (Selvaraj *et al.*, 1989).

Los °Brix son una medida de densidad, esto es un índice aproximado de la concentración de sólidos disueltos que se acepta comercialmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa, por consiguiente un grado Brix es entonces la densidad que tiene a 20°C, una solución de sacarosa al 1% (Primo, 1998).

El contenido de SST para los mangos infectados no presentó diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control y en los dos primeros estadios de maduración (E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub>), sin embargo en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) el incremento del contenido de SST fue mínimo de apenas un 0.5% con respecto al anterior estadio y de un 2% menor al control en el mismo punto. Este descenso puede ser atribuido a que en este estadio (E<sub>3</sub>), es cuando el fruto ha hidrolizado la mayoría de los polisacáridos complejos (almidón) en azúcares más simples, como sacarosa, glucosa y fructosa, que son el alimento principal para el hongo *C. gloeosporioides*, asimismo en este punto es cuando inicia su propagación. Esta misma tendencia del inicio del climaterio se hace evidente en el postclimaterio (E<sub>4</sub>), ya que el contenido de SST decrece en un 7% con respecto al máximo climaterio (E<sub>3</sub>) y en un 10% al control,

debido a que en este estadio ( $E_4$ ) es cuando la vida postcosecha del fruto empieza a declinar y es aprovechado para la mayor propagación del hongo, principalmente a la completa disponibilidad de nutrimentos, porque en este punto también se encuentra en la pulpa del fruto.



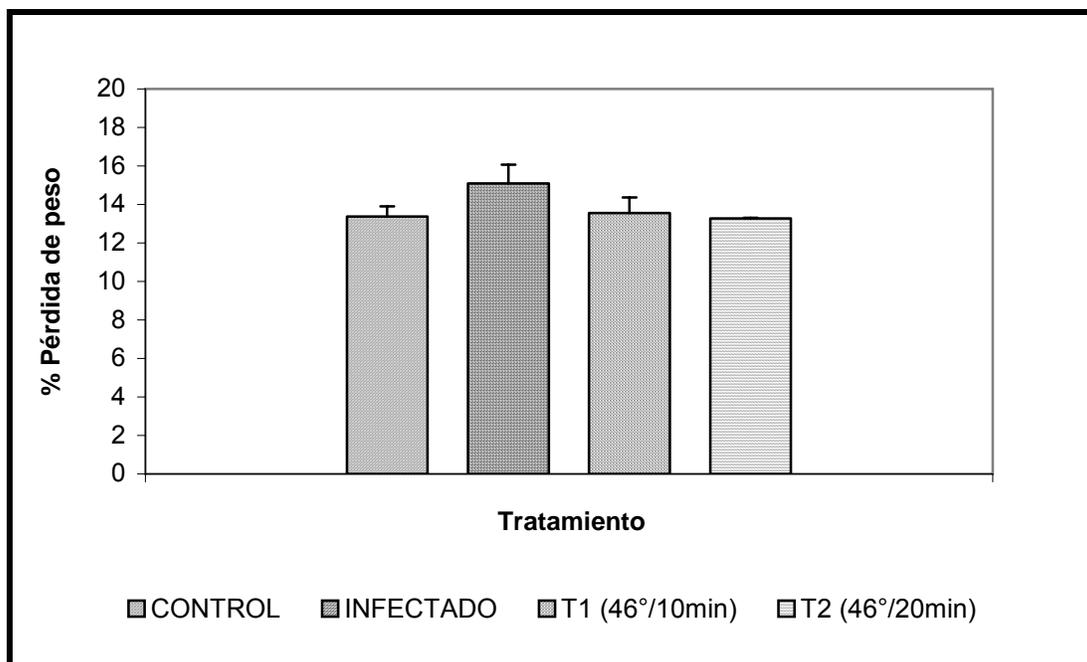
**Figura 19.** Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre los sólidos solubles totales (SST) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.  $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio).

En cambio en los mangos tratados térmicamente el contenido de SST presentó la misma tendencia al control, pero con menores valores de °Brix como se muestra en la figura 19. No se presentó diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre sus valores con respecto al control. El  $T_1$  presentó un incremento de un 11% desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_4$ ), en comparación con el control que en este mismo periodo presentó un incremento de SST en un 20.5% y el  $T_2$  solo presentó un aumento del 5.5% ubicándose por debajo no solo del control sino también del  $T_1$ , situación que sugiere pensar que los tratamientos térmicos afectaron la hidrólisis de polisacáridos, principalmente de almidón, en azúcares más simples, como lo reportado por Jacobi *et al.*, (2001<sup>a</sup>) los cuales encontraron que los tratamientos térmicos por agua caliente (HWT) a 47°C por 15 minutos afectan la hidrólisis de almidón, lo cual se refleja en los bajos niveles de SST. Otra explicación del comportamiento observado fue que la aplicación de altas temperaturas, que provocaron un incremento en la tasa respiratoria de los frutos y como en el proceso de respiración se libera  $CO_2$ , el

carbono liberado proviene de la degradación de los azúcares cuando están en exceso (Hobson, 1993; Ryugo, 1993), lo cual sugiere que esto puede ser la causa de los bajos niveles de SST.

#### 5.4.4 Pérdida de peso.

Dentro de las características físicas determinadas al mango la pérdida de peso es atribuida a la pérdida de líquidos, principalmente de agua, ya que la pérdida de agua en la pulpa y el rompimiento de ciertas sustancias complejas a simples formas durante la maduración del fruto fue la principal causa de la reducción en peso de la pulpa (Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001), que también se ve reflejada en una pérdida de firmeza.



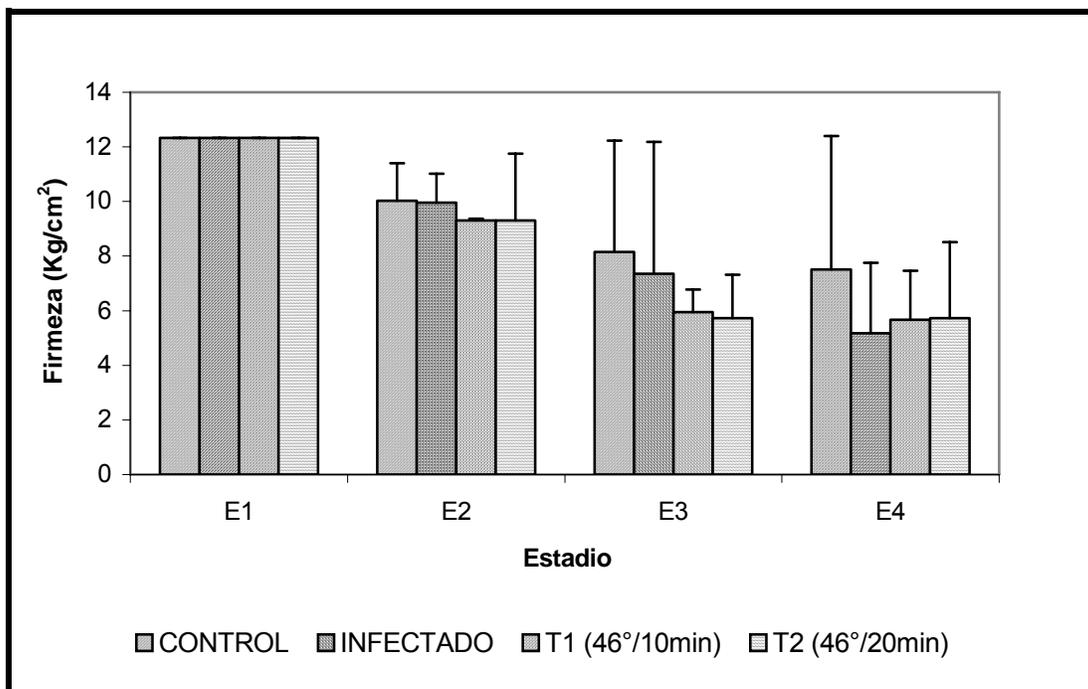
**Figura 20.** Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la pérdida de peso de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C.

Como se puede apreciar en la figura 20 fue mayor la pérdida de peso para los mangos infectados por antracnosis con un porcentaje de pérdida del 15.1% desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) en comparación con los mangos controles que presentaron una pérdida del 13.4% durante el proceso de maduración del fruto. En cambio los mangos tratados térmicamente presentaron una pérdida de peso similar al control, con un porcentaje de pérdida del 13% para la primera ( $T_1$ ) y segunda condición ( $T_2$ ) del tratamiento térmico, con lo cual estos registros demostraron que el efecto del tratamiento térmico por vapor caliente es mínimo en este parámetro. Sin embargo, en otros trabajos se encontró que en mangos 'Keitt' sometidos a un tratamiento térmico por agua caliente a 46.5°C por 45 minutos mostraron significativamente más pérdida de agua que el control, en comparación con los mangos de variedad 'Tommy Atkins', sujetos al mismo tratamiento térmico, los

cuales mostraron insignificantes cambios en peso (Nyanjage *et al.*, 1998). En mangos 'Tommy Atkins' tratados térmicamente por aire caliente forzado a 43.5°C por 20 minutos mostraron una mayor pérdida de peso que los mangos no tratados después de dos semanas de almacenamiento y esta diferencia fue mantenida hasta la maduración (Miller y McDonald, 1991).

#### 5.4.5 Efecto en firmeza.

La pérdida de firmeza en los frutos, desde el preclimaterio (12.3 Kg/cm<sup>2</sup>) hasta el postclimaterio (7.5 Kg/cm<sup>2</sup>), se debió a los cambios en el grosor de la pared celular, permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares que contribuyen el ablandamiento de los tejidos (Pantastico, 1987), por esta razón el ablandamiento de la pulpa puede ser atribuido a diferentes factores concernientes a la alteración de las propiedades de muchos constituyentes de la pared celular y al incremento de los polisacáridos solubles durante la maduración del fruto (Lizada, 1993; Roe y Bruemmer, 1981). Además, el ablandamiento de la pulpa en el proceso de maduración resulta de la desintegración de la pared celular, en parte, por el resultado de los cambios degradativos (solubilización) de las sustancias pécticas, que son estructuralmente necesarias a la pared celular, debido al incremento de la actividad de las enzimas como poligalacturonasa y celulasa (Ashraf *et al.*, 1981; Roe y Bruemmer, 1981; Brinson *et al.*, 1988).



**Figura 21.** Efecto de los tratamientos térmicos y de la infección por antracnosis sobre la firmeza de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

Como se puede apreciar en la figura 21 la pérdida de firmeza para los mangos infectados presentó una tendencia continua en descenso en comparación al control y a los tratamientos que presentaron un ligero estancamiento en el paso del máximo climaterio ( $E_3$ ) al postclimaterio ( $E_4$ ) no encontrándose diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en ningún punto con respecto al control. En los tres primeros estadios la tendencia en los controles, infectados y mangos tratados térmicamente fueron muy similares, es a pesar de que en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) comienzan a separarse ligeramente, los valores de firmeza en este punto ( $E_3$ ) mostraron que los mangos infectados se encontraron en un 10% por debajo del grupo control y los mangos tratados térmicamente en un 27% para  $T_1$  y en un 30% para  $T_2$  por debajo del control, respectivamente. En el postclimaterio ( $E_4$ ) tanto los mangos tratados térmicamente como el grupo control mostraron una tendencia similar, no presentando cambios en la pérdida de firmeza debido, posiblemente, a la inhibición de las enzimas hidrolíticas de la pared celular que originan una interrupción del ablandamiento de la pulpa (Paull y Chen, 2000). En cambio los frutos infectados continuaron su tendencia en descenso en un 30% de pérdida con respecto al estadio anterior ( $E_3$ ), debido a que posiblemente el ablandamiento de los tejidos por la pérdida de agua y el incremento de sólidos solubles, aunado al efecto que tiene el hongo sobre la pulpa del mango durante el paso del máximo climaterio al postclimaterio ya se encontraba establecido en la pulpa del fruto, y además se ubica en un 31% por debajo del control, en comparación con los tratamientos térmicos que estos presentaron una pérdida de firmeza de un 0.1% del máximo climaterio al postclimaterio y un 24.5% de pérdida para el  $T_1$  y un 24% para el  $T_2$ , con respecto al control. En estudios realizados por Batista (2002) en mango 'Keitt', reportó que al aplicarle un tratamiento térmico por agua caliente a  $50^\circ\text{C}$  durante 100 minutos en el interior del fruto, éstos presentaron una disminución mayor de la firmeza que los controles (sin tratamiento) debido a que los tratamientos térmicos aceleran el ablandamiento del fruto en los cultivares de mango estudiados (Jacobi *et al.*, 2001<sup>b</sup>).

#### **5.4.6 Efecto en la respiración.**

En la Figura 22 se pueden observar los cambios en la respiración medida en función de la producción de  $\text{CO}_2$  de los mangos infectados y almacenados en una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , debido a que Mena *et al.*, (2005) para el desarrollo de antracnosis es necesario un nivel de humedad relativa (HR) superior o igual al 95%.

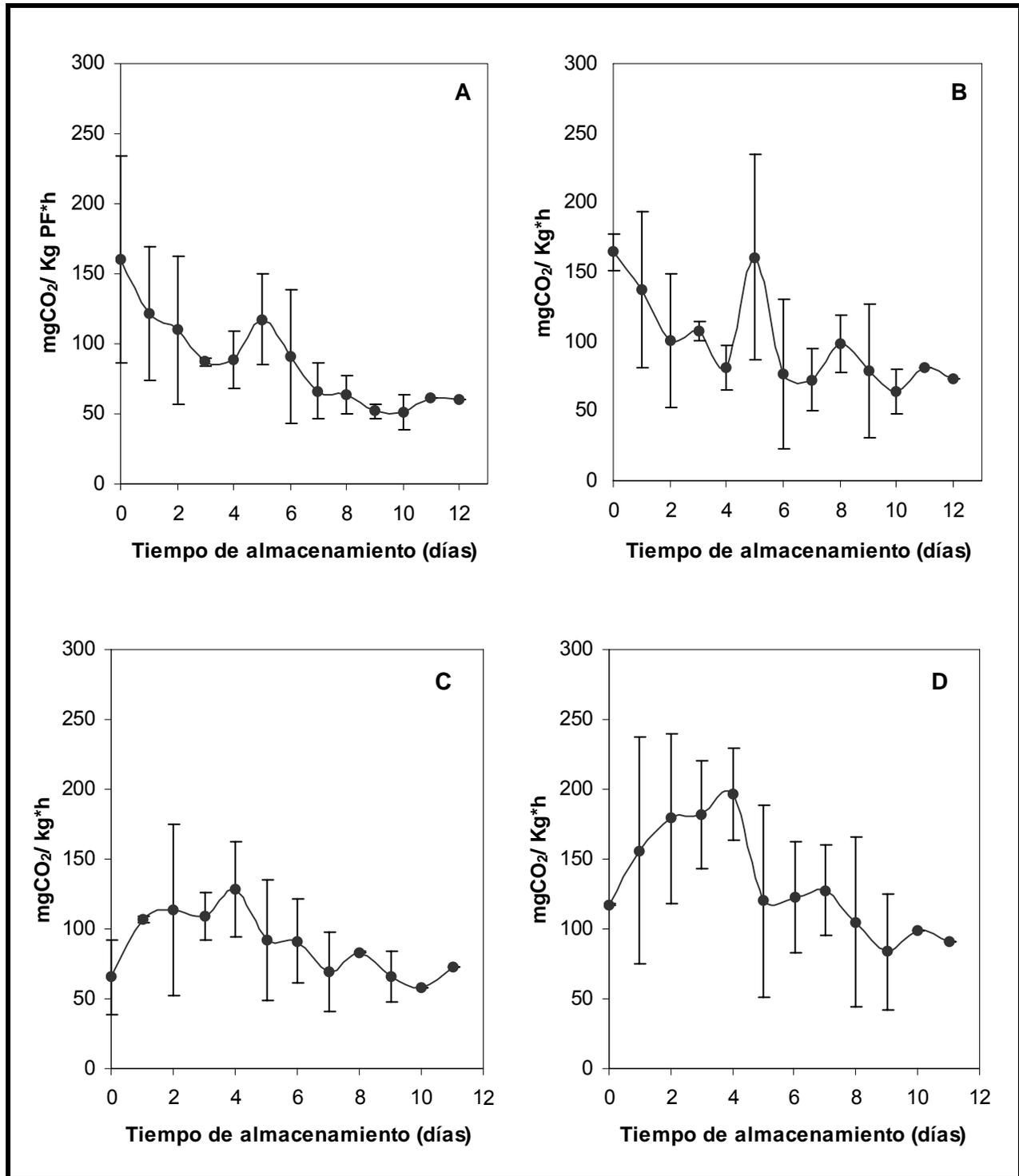


Figura 22. Cambios en la respiración del mango infectado con *C. gloeosporioides* durante el almacenamiento a 20°C y 95% de HR: (A) Control, (B) Infectado, (C) 46°C / 10 min. y (D) 46°C / 20 min..

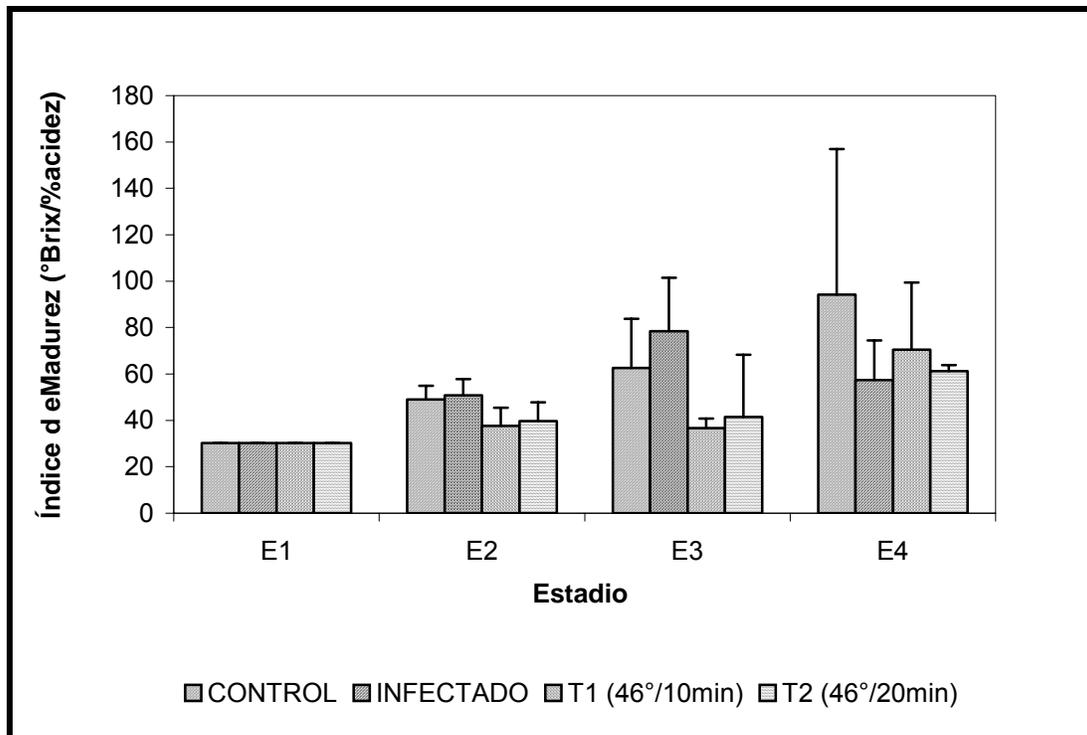
En la figura 23 B se aprecia el comportamiento de los frutos infectados sin tratamiento térmico. Encontrándose en el preclimaterio ( $E_1$ ) un valor de 165 mg  $CO_2$ /Kg PF\*h, valor por encima del punto del máximo climaterio, esto se debió a que los frutos se inocularon, se guardaron e incubaron en

bolsas con cierre hermético por 24 horas, como se describió en el apartado 4.6.2, lo que originó que el fruto se sometiera a estrés por el CO<sub>2</sub> acumulado, y por tanto, esta diferencia se reflejó en los valores de respiración registrados durante los primeros días. Al tercer día del tratamiento, se presentó el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>), un día después que los controles. En tanto, en el quinto día, al igual que el control, el fruto alcanzó el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) con valores de 161 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, lo que indicó que los mangos infectados incrementaron su tasa respiratoria en un 37% con respecto al control (117 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) y finalmente el postclimaterio (E<sub>4</sub>) lo presentaron en el octavo día, igual que los mangos controles, y se extiende hasta el final del almacenamiento donde el fruto prácticamente llegó a la senescencia.

En cambio, los frutos tratados térmicamente presentaron el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) al igual que los controles, en el segundo día de almacenamiento, pero el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) lo presentaron en el cuarto día, un día antes que el control, acelerando la respiración. Además, en este estadio (E<sub>3</sub>) presentaron una producción de CO<sub>2</sub> superior al control, incrementando la respiración en un 9% (129 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) para T<sub>1</sub> (46°C/10 min.) y en un 67% (197 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h) para T<sub>2</sub> (46°C/20 min.), respectivamente.

#### **5.4.7 Índice de madurez.**

En la figura 23 se muestra el índice de madurez (IM), expresado como la relación entre los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable de los frutos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C. Este índice nos indica como en la maduración hay un aumento en la concentración de sólidos solubles, sobre todo de azúcares, y un descenso importante de la acidez (Primo, 1998; Doreyappa-Gowda y Huddar, 2001). Debido a que el nivel de maduración del fruto está influenciado por el cambio en los niveles de los SST y de la acidez titulable tras la aplicación del tratamiento térmico (Jacobi *et al.*, 2001<sup>a</sup>). Por esta razón se observó que los frutos controles y los tratados térmicamente (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) presentaron un aumento gradual a lo largo de la maduración en este índice (IM), lo cual indicó el desarrollo de una maduración normal, mientras que los frutos dañados por la presencia de la infección por antracnosis, presentaron un aumento gradual en los tres primeros estadios, comportamiento similar a los frutos control. Sin embargo, al final del proceso de maduración, en el postclimaterio, en los frutos infectados se observó una disminución del IM, lo cual indica una alteración al proceso normal de maduración que se vió afectado por la presencia del hongo *C. gloeosporioides*.



**Figura 23.** Índice de madurez (IM) de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

#### 5.4.8 Color.

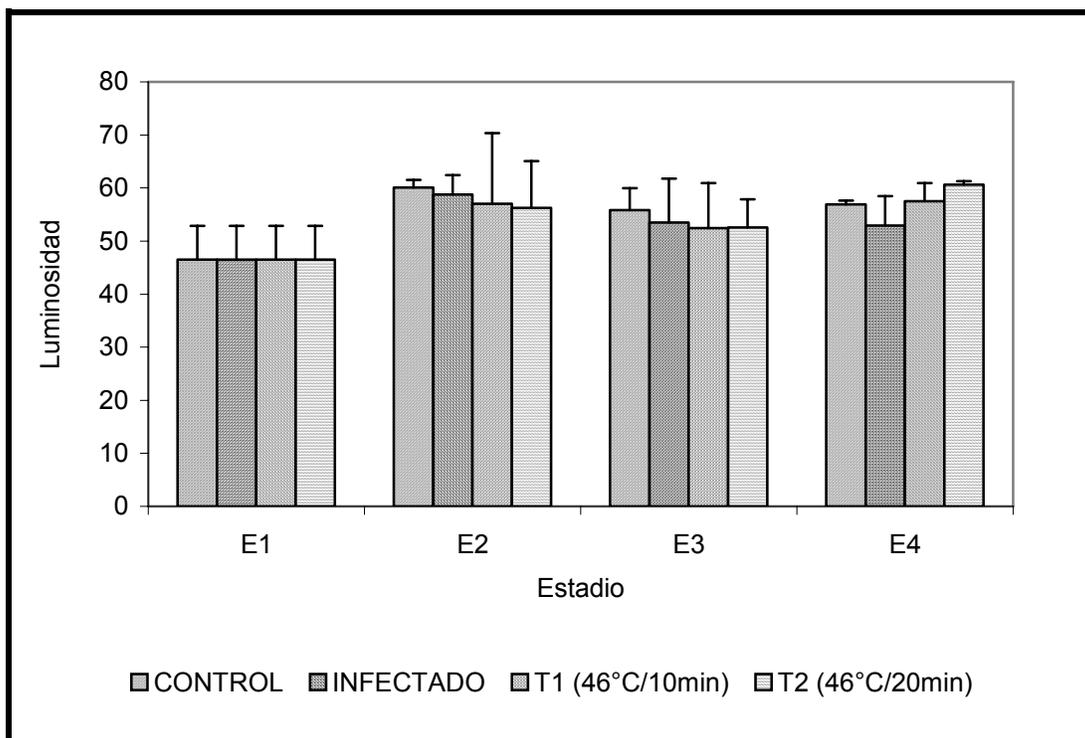
El cambio de color que sufre el mango durante la maduración le da las características principales de aceptabilidad en el mercado. En el mango variedad 'Keitt' predominan las tonalidades verdes, verdes-amarillas y muy poco las tonalidades naranjas o rojas, además tiene una ligera opacidad que va perdiendo conforme el fruto madura.

El color puede considerarse bajo tres aspectos: matiz, brillo y saturación. El matiz o clase de color se relaciona con la longitud de onda de la radiación que produce la estimulación óptica; el brillo es la medida del grado de dilución del matiz con el negro; y la saturación es la pureza del color o bien puede considerarse alternativamente como el grado de dilución con el blanco (Lees, 1980).

Los cambios de color fueron determinados por el sistema 'Hunter Lab' (L, a y b). Donde L\* es la luminosidad o el brillo del color en el rango de 0 (negro) a 100 (blanco); a\* indica la variación del color rojo al verde, tomando coloraciones rojizas cuando los valores son positivos (+a) y coloraciones verdes cuando los valores son negativos (-a); b\* indica la variación del color amarillo al azul, tomando coloraciones amarillas cuando los valores son positivos (+b) y coloraciones azules cuando los valores

son negativos (-b) (Kudachikar *et al.*, 2003).  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas de la cromaticidad (Croma) o de la saturación de color y también son utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue, el cual va de valores de 0 = rojo-púrpura, 90 = amarillo, 180 = azul-verde y 270 = azul (McGuire, 1992).

La luminosidad de los frutos se incrementó conforme avanzó la maduración al tomar  $L^*$  valores de 47 en el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta valores finales de 57 en el postclimaterio ( $E_4$ ), lo que representó que a medida que el fruto maduró se obtuvo una mayor claridad del color. En tanto, en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  se apreció un cambio de coloración con la maduración del fruto para lo cual los valores de  $a^*$  fueron negativos a lo largo del proceso de maduración, tomando valores de  $-15.74$  en el preclimaterio ( $E_1$ ) y de  $-4.14$  en el postclimaterio ( $E_4$ ), indicando la predominancia del color verde, característico de los mangos variedad 'Keitt', y su gradual pérdida, aunque muy minimizada, que reduce la aparición o predominancia de otra coloración, ya que las tonalidades rojizas se encontraron muy diseminadas sobre la piel del fruto en el postclimaterio ( $E_4$ ). En cambio los valores del parámetro  $b^*$  cayeron en el rango de 29.86, en el preclimaterio ( $E_1$ ), hasta 48.44, en el postclimaterio ( $E_4$ ), indicando la aparición gradual de la coloración amarilla a lo largo de la maduración del fruto.

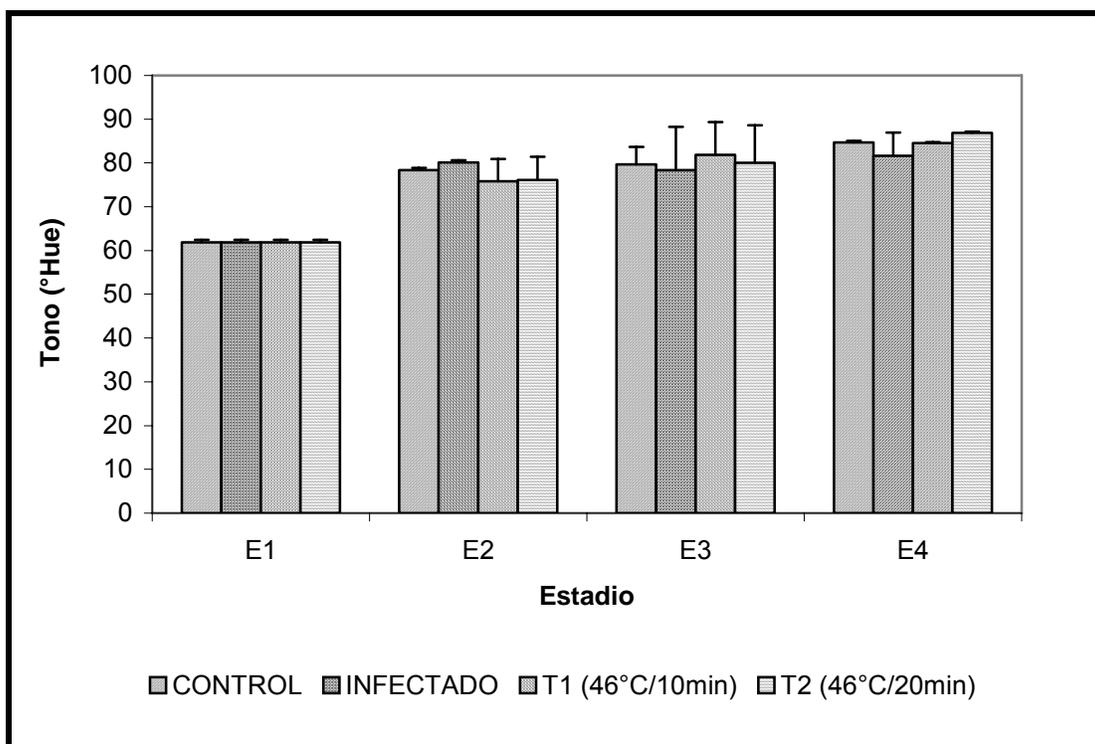


**Figura 24.** Luminosidad de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración.

$E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio).

Para los mangos tratados la luminosidad obedeció la misma tendencia del grupo control aunque con valores un poco más bajos como del 5% para el T<sub>1</sub> y del 6% para el T<sub>2</sub> con respecto al control tanto en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) como en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>), respectivamente. En el postclimaterio (E<sub>4</sub>) se obtuvo un mayor brillo en los mangos tratados, por tanto el T<sub>1</sub> se encuentra en 1% en tanto el T<sub>2</sub> se coloca en un 6.5% por arriba del control, respectivamente. Sin embargo, no se observó diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los frutos tratados y los no tratados.

El ángulo Hue, al igual que la luminosidad, presentó un aumento gradual a lo largo de la maduración del fruto como se puede apreciar en la figura 25, donde el ángulo Hue presentó valores de 62 en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) y de 85 para el postclimaterio (E<sub>4</sub>) estableciendo que el valor del ángulo Hue fue ascendiendo conforme el fruto maduró indicando que el tono de la coloración de la piel del mango fue una mezcla entre el color rojo y el amarillo.



**Figura 25.** Tono de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

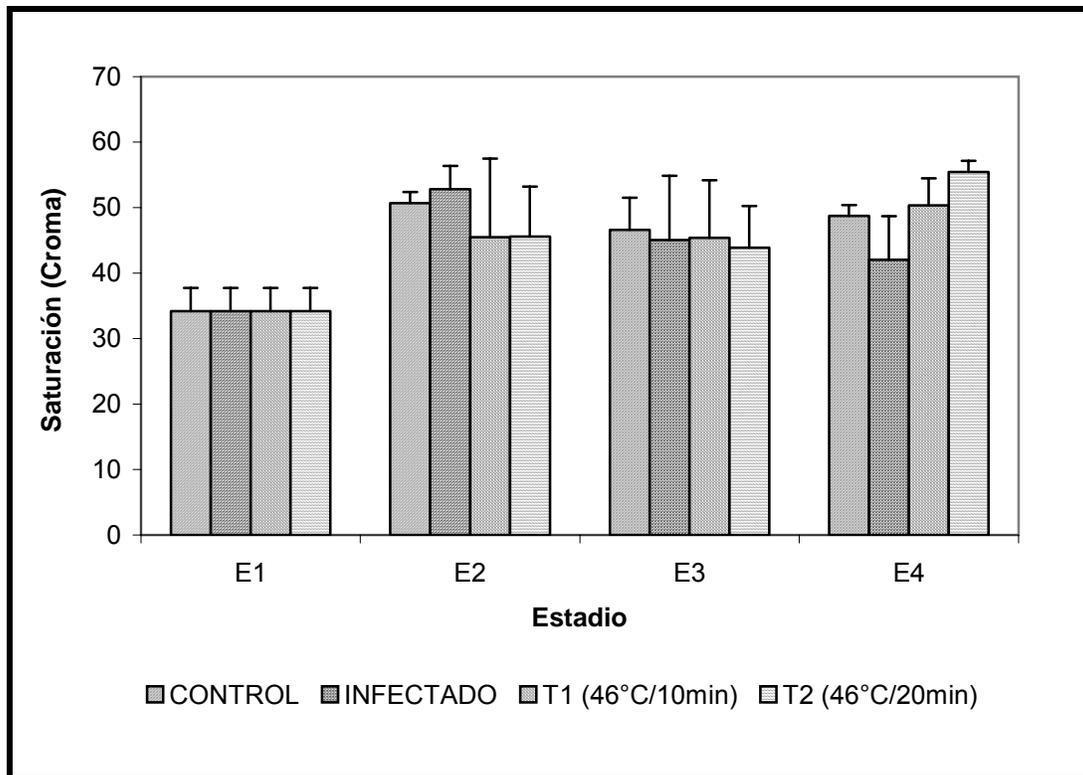
En los mangos infectados sin tratamiento el comportamiento de los valores del ángulo Hue fue similar a los mangos controles en los tres primeros estadios, manteniéndose en un 2% por arriba del control en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) y en un 1.5% por debajo al control en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) y en el postclimaterio se ubicó a un 3.5% por debajo del control, debido a que la infección inició a

manifestarse en el máximo climaterio y alcanzó su mayor extensión en el postclimaterio, por lo que los valores del ángulo Hue en estos dos últimos estadios (en las zonas donde la infección no era tan desarrollada), se ubicó por debajo de los establecidos por los mangos controles.

En cambio los mangos tratados térmicamente conservaron una tendencia muy similar al control a lo largo del proceso de maduración, ubicándose el  $T_1$  y  $T_2$  a un 3% por debajo al control en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) y en el máximo climaterio el  $T_1$  se encuentra a 2.5% por encima del control, sin embargo, el  $T_2$  se mantiene a una mínima diferencia del control en el mismo punto, no obstante en el postclimaterio ( $E_4$ ) el  $T_2$  aumenta su valor encontrándose en un 2.5% por encima del control, en tanto el  $T_1$  se mantiene al margen del control en el mismo punto no se registró diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los frutos con tratamiento y los controles. En trabajos realizados por Jacobi *et al.*, (2001<sup>b</sup>) mencionan que los tratamientos térmicos aceleran el amarillamiento de la piel de los frutos, y en algunos casos, mejoran la uniformidad del color desarrollado. Por lo cual, en estudios realizados por Jacobi *et al.*, (2001<sup>a</sup>) encontraron que en mango 'Kensington' la aplicación del tratamiento térmico por inmersión en agua caliente a 47°C por 15 minutos, dió lugar a que la piel del fruto madurado sea más amarilla según lo reflejado por los altos valores de ángulo Hue.

En los valores de croma, o intensidad del color, se apreció que conforme transcurrió la maduración, estos parten desde 34, para el preclimaterio ( $E_1$ ), hasta 49, para el postclimaterio ( $E_4$ ). Pudiéndose apreciar que el punto de mayor intensidad de color se logró en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) y después de un ligero descenso en el máximo climaterio ( $E_3$ ) mostró un repunte al final de la maduración ( $E_4$ ). Indicando que desde los primeros estadios se formó el color predominante descendiendo después en su intensidad para que al final de la maduración formar el color característico del fruto.

En la figura 26 se muestra como la intensidad del color en los mangos infectados fue similar al control en los tres primeros estadios, presentando un 4% por arriba del control en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) y de ahí prosigue un descenso gradual hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) en donde se ubicó en un 14% por debajo del control, lo cual indicó que conforme avanzó la infección la intensidad del color paulatinamente se fue perdiendo.



**Figura 26.** Intensidad del color de mangos infectados y tratados térmicamente, almacenados a 20°C, en diferentes estadios de maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

En los tratamientos térmicos la tendencia de la intensidad del color fue similar al control, pero con valores más bajos en los tres primeros estadios, teniendo que en el inicio del climaterio tanto el T<sub>1</sub> como el T<sub>2</sub> presentaron una disminución del 10% en los valores de cromaticidad con respecto al control y en el máximo climaterio el T<sub>1</sub> se ubicó en un 2.5% y el T<sub>2</sub> en un 6% por debajo del control, respectivamente. Sin embargo, en el postclimaterio el T<sub>1</sub> incrementó su valor en un 3%, en tanto que el T<sub>2</sub> lo hace en un 13.5%, con respecto al control, desarrollando, ambas condiciones del tratamiento térmico, una mayor intensidad del color en el último estadio (E<sub>4</sub>). En trabajos realizados por Nyanjage *et al.*, (1998) encontraron que en mango 'Keitt' sometido a un tratamiento térmico por agua caliente a 46.5°C por 45 minutos, significativamente mejoran la luminosidad, el ángulo Hue y el croma, con respecto al control (no tratado).

### 5.5 Efecto del tratamiento térmico sobre el control de los síntomas del daño por frío en mango variedad 'Keitt'.

Durante décadas el uso de las bajas temperaturas ha sido el método más ampliamente usado para la conservación y el transporte de productos hortofrutícolas en estado fresco (Morris, 1982), ante la

necesidad de presentar al consumidor frutos con calidad aceptable, así como lograr en estos una vida en postcosecha prolongada (Couey, 1982), sin embargo su aplicación a diferentes productos de origen tropical y subtropical, como el mango, se han encontrado con muchas limitaciones, como resultado de la sensibilidad del fruto a las bajas temperaturas.

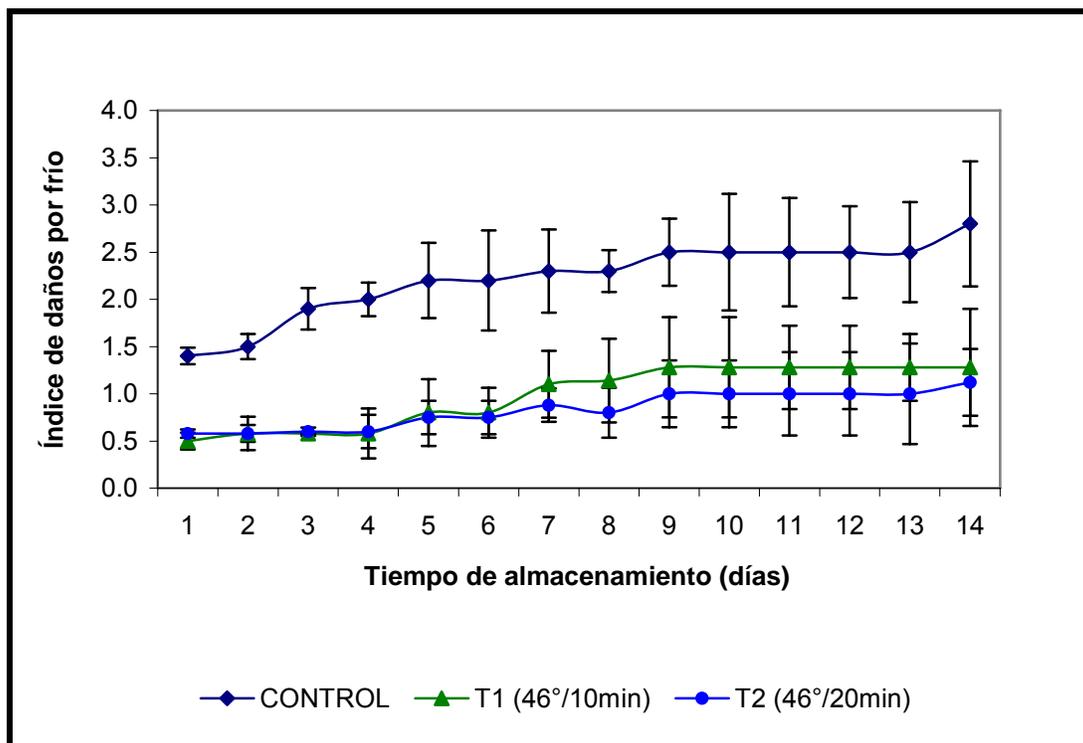
El almacenamiento del mango se ve afectado por un número de problemas que provocan pérdidas de calidad del fruto. Bajo climas tropicales los frutos maduran dentro de 6 a 7 días y llegan a la senescencia después de 15 días de cosechados. Desde el principio del siglo el almacenamiento a bajas temperaturas ha sido empleado para reducir la perecibilidad de los frutos frescos con poco éxito (Vázquez-Salinas y Lakshminarayana, 1985). Los mangos son altamente susceptibles a Daños por Frío (DF) conocidos como "Chilling injury" cuando se almacenan por debajo del umbral crítico, pero por encima del punto de congelación. Este umbral varía dependiendo de la especie y de la variedad del fruto (Salunkhe y Desai, 1984; Willemont, 2002).

Para prolongar la vida útil del mango se utilizan, entre otros tratamientos postcosecha, la aplicación de altas temperaturas con el fin de reducir el metabolismo del fruto, cuando los frutos son muy perecederos, y con ello incrementar su tiempo de almacenamiento cuando las vías de exportación y comercialización son muy prolongadas. Además, estos tratamientos pueden contribuir a aumentar la tolerancia al almacenamiento a bajas temperaturas.

En el presente estudio los mangos fueron sometidos a tratamientos con vapor caliente a diferentes condiciones [46°C por 10 minutos ( $T_1$ ) y 46°C por 20 minutos ( $T_2$ )] y posteriormente se almacenaron a una temperatura de 5°C durante 25 días y a una HR de 95-98%. Una vez concluido el tiempo de almacenamiento los mangos se transfirieron a una temperatura de 20°C con una HR del 95% hasta el final de su maduración.

Los síntomas del desorden fisiológico por bajas temperaturas manifestado por el estrés que sufre el mango variedad 'Keitt', que en primera instancia fueron visuales, se empezaron a manifestar en algunos frutos después de haber transcurrido ocho días en almacenamiento a 5°C, como pequeños puntos color marrón y ligeras depresiones sobre la piel del mango, y después de haber transcurrido diecinueve días las manifestaciones se presentaron en la mitad de los mangos, y éstas permanecieron con ligeros cambios tanto en el tamaño de las depresiones, como la coloración marrón que en este punto fue más oscura, pero después de haber concluido los veinticinco días de almacenamiento y al ser transferidos a la temperatura de 20°C éstos síntomas se intensificaron y se presentaron en la mayoría de los frutos conforme éstos maduran. Estos resultados contrastan con

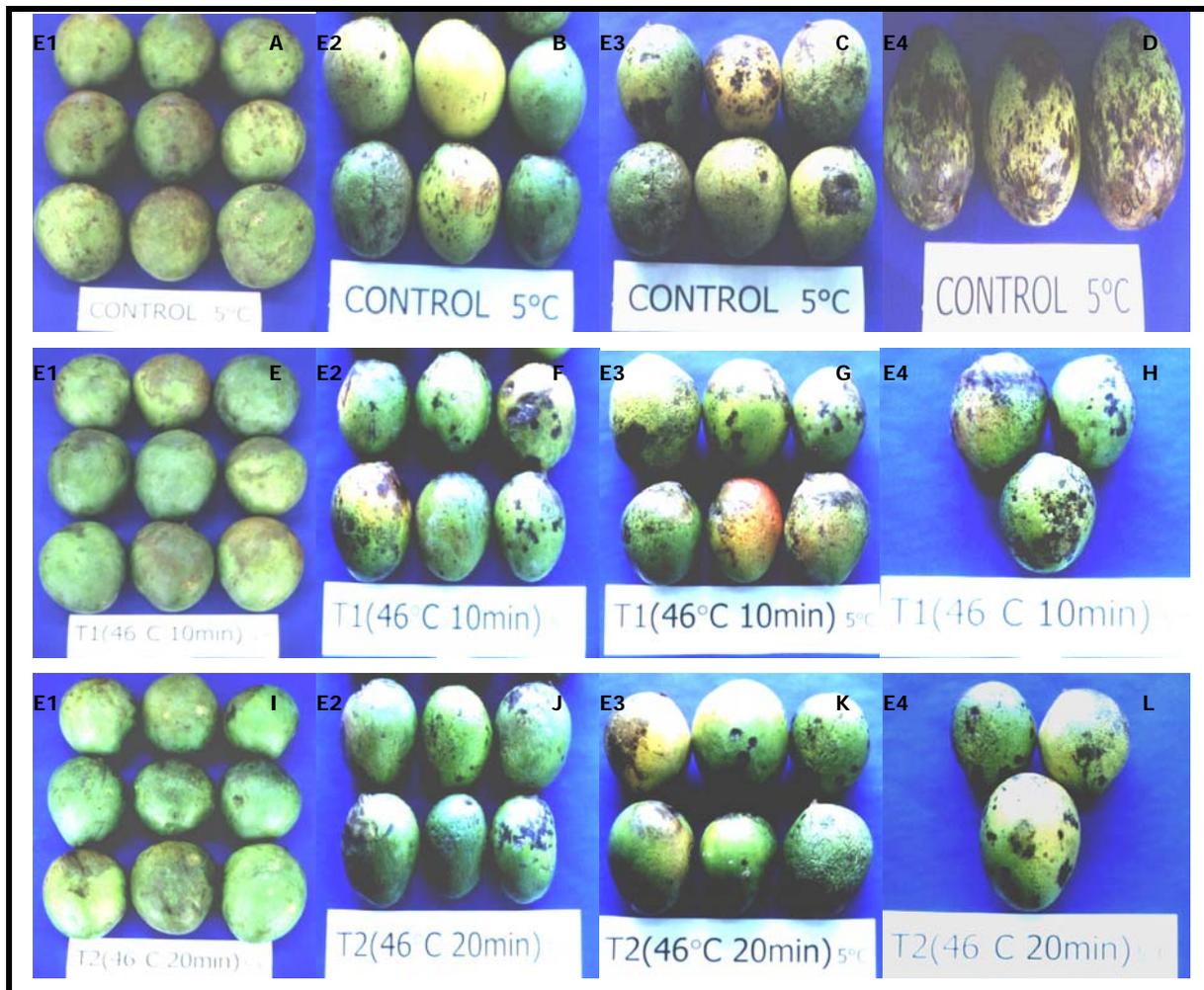
otros trabajos realizados por Krishnamurthy y Joshi (1989), en donde los síntomas de los daños por frío en mangos 'Alphonso' almacenados a 7°C no presentaron síntomas externos en las primeras dos semanas de almacenamiento, pero después aparecieron los síntomas como pequeños puntos cafés que gradualmente se alargaron e incrementaron al transcurrir el periodo de almacenamiento; y en trabajos realizados por Mohammed y Brecht (2002), observaron los síntomas de los daños por frío como picaduras superpuestas sobre áreas ligeramente cafés, en mangos 'Tommy Atkins' después un periodo de almacenamiento por 18 días a 5°C, siendo más evidentes y extendidas cuando el fruto fue transferido a 20°C.



**Figura 27.** Índice de daños por frío (IDF) de mangos tratados térmicamente, almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.

Los síntomas visuales fueron evaluados mediante el Índice de Daños por Frío (IDF), el cual proporciona el grado de avance de los síntomas causados por las bajas temperaturas como se muestra en la figura 27. Los datos de IDF coinciden con las imágenes (figura 28) de los mangos en diferentes estadios del proceso de maduración.

Una vez que los mangos fueron transferidos a la temperatura de 20°C, se tomó este punto como el día uno, o como el punto inicial, de la maduración de los frutos.



**Figura 28.** Mangos variedad 'Keitt' tratados térmicamente, almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. (A, B, C, D) Control, (E, F, G, H) T<sub>1</sub> (46°C/10min) y (I, J, K, L) T<sub>2</sub> (46°C/20min). (E<sub>1</sub> = preclimaterio; E<sub>2</sub> = inicio del climaterio; E<sub>3</sub> = máximo climaterio y E<sub>4</sub> = postclimaterio).

Desde el primer día en que los mangos fueron transferidos al almacenamiento a 20°C se observó la presencia de los síntomas causados por las bajas temperaturas, tanto en los mangos controles, como en los tratados térmicamente. Estos síntomas se manifestaron inicialmente como manchas de color marrón con una mínima depresión sobre la piel del mango originadas por las interacciones entre los compuestos fenólicos y las polifenoloxidasas (Lydakís y Aked, 2003<sup>a</sup>), por lo tanto en la escala de valores del índice de daños por frío (IDF) en este estadio fue mínimo el valor para los tratamientos térmicos, 46°C por 10 minutos (T<sub>1</sub>) y 46°C por 20 minutos (T<sub>2</sub>), lo que representó solo un daño aproximado al 5% (IDF = 0.5) sobre la superficie del fruto, en cambio el control mostró desde el inicio los síntomas causados por las bajas temperaturas, con lo cual los valores de IDF (1.4) representaban un daño de un 15% sobre la superficie del fruto, y conforme el fruto maduró se intensificaron los síntomas al incrementarse el tamaño y número de las picaduras, y la coloración de las mismas fue

cada vez más intensa hasta llegar a una coloración oscura, así es que al tercer día el IDF para el control aumentó a un nivel de daño del 20% (IDF = 1.9), en tanto que el T<sub>1</sub> (46°C/10min.) se mantuvo en el mismo nivel de daño, que al inicio, pero el T<sub>2</sub> (46°C/20min.) aumentó a un nivel de daño menor al 10% (IDF = 0.6). Desde el tercer día hasta el octavo día la tendencia del grupo control fue continua en aumento progresivo haciendo cada vez más notorios los síntomas del daño por frío, esto puede considerarse que a partir del día cinco que corresponde al máximo climaterio (E<sub>3</sub>) las picaduras se encontraron diseminadas sobre la superficie del mango las cuales presentaron un mayor tamaño y una coloración negra, además se presentó un pardeamiento, de un tono ámbar muy tenue, en toda la superficie del fruto (IDF = 2.2) (tabla 10). Estos, síntomas según Côme y Corbineau (1994), son producidos como una consecuencia de desarreglos celulares producidos por la refrigeración que incrementan la permeabilidad y esto posibilitaría la reacción entre los compuestos fenólicos disueltos en la vacuola, con las enzimas polifenoloxidasas del citoplasma produciendo el pardeamiento. En el noveno día los daños alcanzaron aproximadamente un 25% (IDF = 2.5) que se prolongó en esa misma escala hasta el treceavo día de almacenamiento, y en el catorceavo día alcanzó su punto máximo al ubicarse próximo al 30% (IDF = 2.8) de daño. En cambio, los mangos tratados térmicamente ofrecieron una tendencia similar al control, pero en menor grado, teniendo que ambos tratamientos mantuvieron su nivel inicial de daño hasta el cuatro día (IDF = 0.58) y en el quinto día incrementaron su valor de IDF, pero con valores que representaron un nivel de daño menor al 10% (IDF = 0.8), sin embargo a partir de ese día la tendencia del incremento de los daños fue continua, para ambos tratamientos, pero en el séptimo día el incremento de los síntomas fue diferente para cada tratamiento. El T<sub>1</sub>, en el séptimo día, tomó valores de IDF que representaron un daño poco más del 10% (IDF = 1.1), en cambio el T<sub>2</sub> tuvo valores cercanos al 10% de daño (IDF = 0.88). En el noveno día ambos tratamientos alcanzaron su nivel máximo de daño, teniendo que el T<sub>1</sub> tomó valores de IDF cercanos a un 15% de daño al fruto (IDF = 1.28), en tanto que el T<sub>2</sub> alcanzó valores tan solo del 10% de daño (IDF = 1), sin considerar su repunte final que se ubicó en un poco más del 10% (IDF = 1.12). Estos resultados coinciden con trabajos en mangos 'Kensington', los cuales al ser almacenados a 5°C mostraron un comportamiento similar al mango 'Keitt' y 'Kent' (Nair *et al.*, 2004; Ramírez-Villatoro, 2004). Al final del almacenamiento (14 días) los frutos sin tratamiento presentaron un IDF de 2.5 equivalente al daño severo, mientras que los frutos tratados térmicamente presentaron un IDF inferior a 1 equivalente a daños ligeros; por lo que los tratamientos térmicos aplicados permitieron la reducción de los síntomas de daños por frío.

**Tabla 10.** Síntomas de daños por frío en los diferentes estadios de maduración del mango variedad 'Keitt'.

Tratamiento	Estadio	Síntomas
<b>Control</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	Pequeñas depresiones con halo ámbar
	<b>E<sub>2</sub></b>	Depresiones con ligeras necrosidades
	<b>E<sub>3</sub></b>	Pardeamiento tenue, aumento de necrosidad
	<b>E<sub>4</sub></b>	Pardeamiento y mayor propagación de las picaduras
<b>T<sub>1</sub> (46°C/10min.)</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	Ligeras depresiones
	<b>E<sub>2</sub></b>	Ligeras depresiones
	<b>E<sub>3</sub></b>	Aumento de depresiones con halo ámbar tenue
	<b>E<sub>4</sub></b>	Picaduras con necrosidad y ligero pardeamiento
<b>T<sub>2</sub> (46°C/20min.)</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	Ligeras depresiones
	<b>E<sub>2</sub></b>	Ligeras depresiones
	<b>E<sub>3</sub></b>	Ligeras depresiones
	<b>E<sub>4</sub></b>	Ligero pardeamiento y depresiones con un halo ámbar muy tenue

Al transferir los frutos a la temperatura de 20°C para su maduración, se observó que a medida que se desarrollaban los síntomas por el daño por frío en el fruto, el comportamiento de algunos de los parámetros de calidad de los frutos con tratamientos térmicos fue diferente a los parámetros de los mangos del grupo control, esto pudo ser debido a que durante el almacenamiento a 5°C los mangos control presentaron con mayor intensidad los síntomas del daño por frío resintiendo más el efecto de las bajas temperaturas sobre los parámetros de calidad, en cambio, en los mangos tratados térmicamente el efecto del frío fue en grado menor y con un comportamiento diferente con respecto al control, ya que el desarrollo de los síntomas fue más lento. En trabajos realizados por Shellie y Mangan (2000) indicaron que debido a que las plantas responden a específicos estrés, se pudiera proveer un método totalmente nuevo para controlar la respuesta de las plantas al estrés. Ya que la respuesta de las plantas a un estrés, como el de las bajas temperaturas, puede ser aminorado por la simultánea imposición de otro estrés, como el de las altas temperaturas. En trabajos realizados por Ketsa *et al.*, (2000) reportaron que los tratamientos térmicos aplicados antes de almacenar los frutos a bajas temperaturas pueden reducir la incidencia de los daños por frío en frutos sensibles al frío. Esto también fue corroborado por Elhadi *et al.*, (2000) que reportaron que el efecto que tiene los

tratamientos térmicos por aire caliente a 44°C por 160 minutos en mangos 'Manila' almacenados a 10°C por 24 días redujo los daños por frío en casi el 100%. McCollum *et al.*, (1993) reportaron que el más pronunciado efecto de los tratamientos a altas temperaturas (38°C por 24 ó 48 horas) en la tolerancia del mango 'Keitt' a los daños por frío fue la reducción de las picaduras y la decoloración de la piel del fruto. Por lo que se puede decir que los tratamientos térmicos ayudan a reducir los síntomas de los daños por frío.

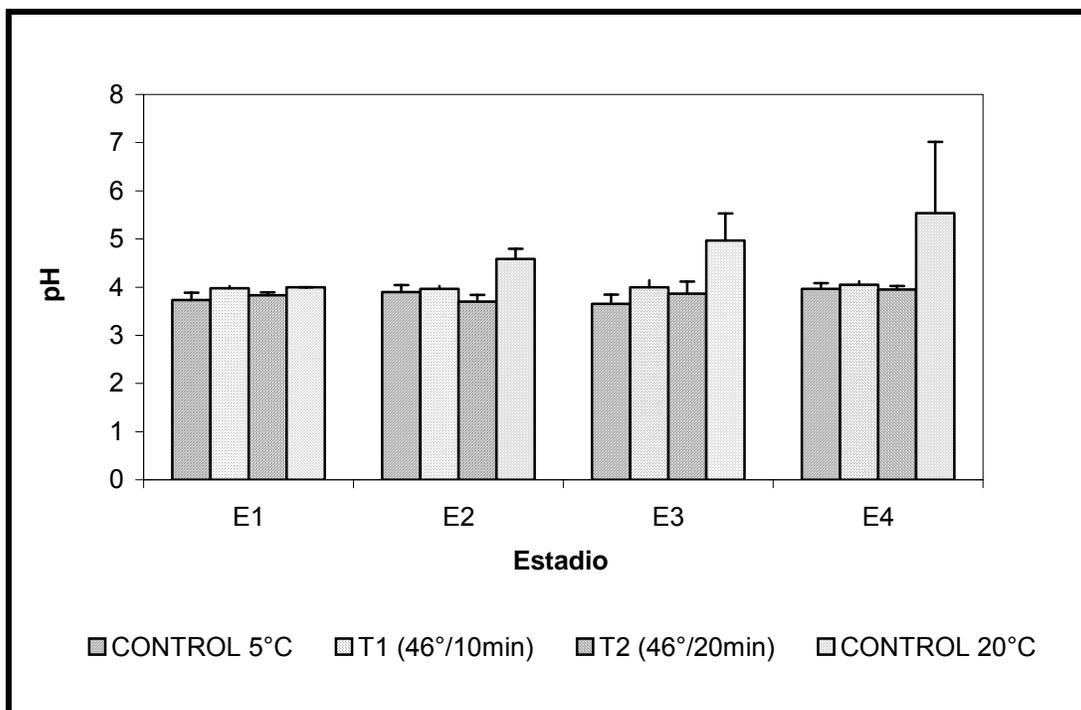
## **5.6 Efecto de los tratamientos térmicos sobre los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Keitt' almacenados a bajas temperaturas.**

### **5.6.1 Efecto en el pH.**

El valor de pH, para los frutos sin tratamiento térmico (control), presentó variaciones que oscilaban entre los valores de 3.73, para el preclimaterio (E<sub>1</sub>), y de 3.96, para el postclimaterio (E<sub>4</sub>), pero la variación se presentó en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>), al incrementarse el valor de pH a 3.90, y en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>), cuando tomó valores de 3.65, como se observa en la figura 29. Encontrándose una fluctuación del valor de pH a lo largo de la maduración, pero con una ligera variación de los valores que prácticamente conservan un valor de pH muy pronunciado.

En tanto los valores de pH para los frutos con tratamiento térmico no presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control, observándose una tendencia a incrementar paulatinamente sus valores a lo largo de la maduración. Teniendo, entonces, que para el T<sub>1</sub>, y a diferencia del control, los valores de pH fueron incrementándose conforme avanzaron los estadios de maduración del mango, siendo mayores los valores desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>), con un valor de 3.97, ubicándose en un 6.5%, hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), con un valor de 4.05, ubicándose en un 2%, ambos con respecto al control. Para el T<sub>2</sub> la tendencia fue similar al T<sub>1</sub> salvo en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) donde obtuvo el valor más bajo con una disminución del 3% con respecto al preclimaterio (E<sub>1</sub>), teniendo, entonces, que el valor en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) fue de 3.83, el cual representó un incremento del 2.5% con respecto al control, y este incremento se refleja hasta el final de la maduración al ubicarse en un valor de 3.95, el cual es semejante al control. Lo anterior reflejó que el mayor incremento de pH se dio en el control con un aumento desde el preclimaterio hasta el postclimaterio de un 6%, en cambio en el T<sub>1</sub> fue de casi el 2% y en el T<sub>2</sub> fue de un 3%, respectivamente, pero a diferencia del control los tratamientos térmicos presentaron un incremento en los registros de pH en todos los estadios.

Al comparar los datos que se obtuvieron a la temperatura de almacenamiento a 5°C por 25 días, con respecto a la temperatura de almacenamiento de 20°C, se obtuvo que en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre las dos temperaturas de almacenamiento, pero desde el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) se observó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre las dos temperaturas de almacenamiento. Vázquez-Salinas y Lakshminarayana (1985), trabajando con mangos de las variedades 'Haden', 'Irwin', 'Kent' y 'Keitt' y almacenándolos a 16°C por 10 días encontraron que el incremento en los valores de pH y acidez fue generalmente lento en comparación con sus otras condiciones de almacenamiento (25° y 28°C). En tanto, Mohammed y Brecht (2002), en mangos 'Tommy Atkins' almacenados a 5°C por 18 días obtuvieron que los valores pH se mantienen a lo largo de la maduración del fruto a 20°C.



**Figura 29.** Efecto de los tratamientos térmicos en el pH de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

### 5.6.2 Efecto en la acidez.

El contenido de acidez titulable presentó un descenso en su concentración inicial al madurar el fruto teniendo concentraciones de acidez del 0.54%, en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), hasta el 0.28% en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) para el grupo control a 5°C, presentando ligeras fluctuaciones entre el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>), con 0.34% de acidez, y el máximo climaterio con 0.37% de acidez.

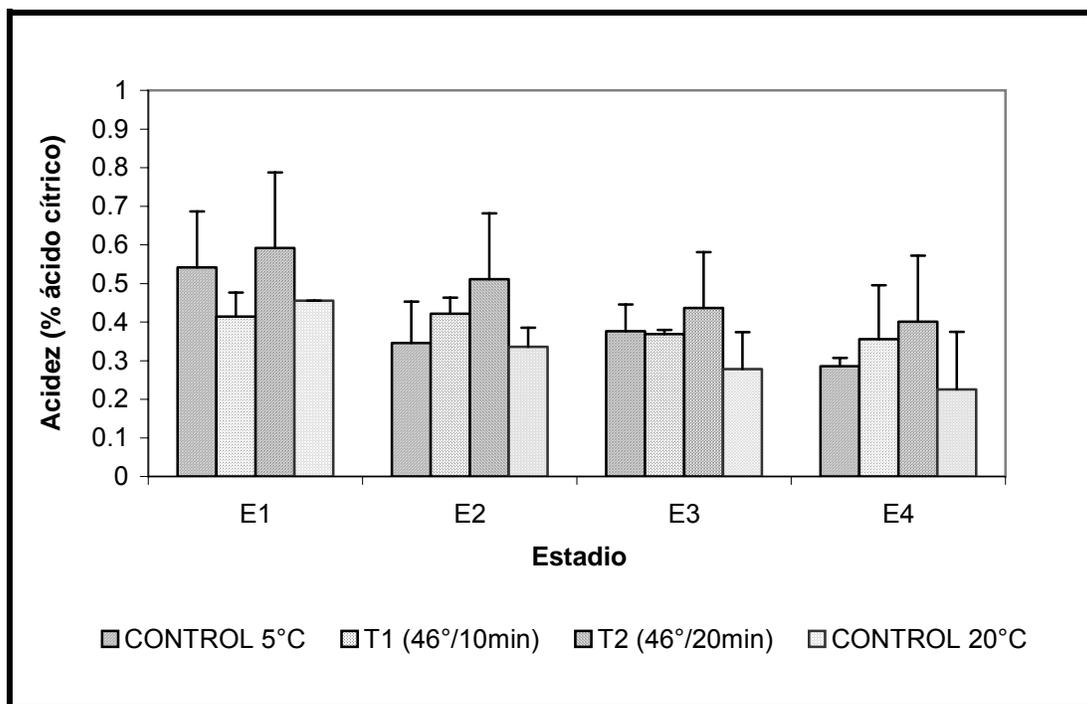
Los frutos con tratamientos térmicos presentaron una tendencia similar al control almacenado a 5°C, pero con un comportamiento diferente no presentando diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) como se puede apreciar en la figura 30. El T<sub>1</sub> en el preclimaterio tomó un valor de 0.41% de acidez, ubicándose en un 23.5% por debajo del valor de acidez del control en el mismo punto, indicando que en este estadio (E<sub>1</sub>) se presentó una menor concentración de acidez la cual se corrobora con el valor del pH que alcanzó en el preclimaterio (E<sub>1</sub>). El T<sub>1</sub> presentó una variación del preclimaterio (E<sub>1</sub>) al inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) la cual corresponde a un aumento de la concentración de acidez en un 2% y después de este estadio (E<sub>2</sub>) la tendencia de la concentración de la acidez fue negativa hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) donde llegó a una concentración final de acidez del 0.35%. En cambio el T<sub>2</sub> presentó un comportamiento diferente, presentando una disminución gradual, a lo largo de la maduración del mango, de la concentración de acidez al iniciar con valores de acidez del 0.59%, ubicándose en un 9% por encima del valor de acidez del control en el mismo estadio (E<sub>1</sub>), y desde este estadio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) todos los valores de acidez estuvieron por encima del control y del T<sub>1</sub>. Como la disminución de acidez del T<sub>2</sub> es paulatina, la tendencia fue continua a diferencia del control y el T<sub>1</sub> que fue discontinua en ciertos puntos, así que en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>), donde el control y el T<sub>1</sub> fueron más estables, el T<sub>2</sub> alcanzó valores de acidez de 0.43%, ubicándose en un 16% por encima del control y en un 18% por encima del T<sub>1</sub>, de sus respectivos valores de acidez en el mismo punto, y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) el T<sub>2</sub> alcanzó valores de acidez del 0.40%, para ubicarse por encima del control en un 40% y del T<sub>1</sub> en un 12.5%, de sus respectivos valores finales de acidez.

Con respecto a la temperatura de almacenamiento a 5°C se observó un efecto en la acidez, ya que los frutos almacenados a 20°C presentaron una tendencia a disminuir, a medida que avanzaba la maduración, en cambio los mangos almacenados a 5°C mostraron fluctuaciones en su comportamiento, principalmente el control (5°C) y el T<sub>1</sub>, ya que el T<sub>2</sub> muestra una tendencia similar al control a 20°C, sin embargo, el control, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, a 5°C, mostraron un valor de acidez más pronunciado con respecto al valor de acidez a la temperatura de 20°C.

Sin embargo, el valor de acidez para el control (5°C), T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> a la temperatura de almacenamiento de 5°C no fue significativamente diferente ( $p \geq 0.05$ ) respecto al control a 20°C a lo largo de los diferentes estadios de maduración.

Krishnamurthy y Joshi (1989), trabajando con mango 'Alphonso' encontraron que al final de 5 semanas de almacenamiento a 7°C los sólidos solubles incrementaron y la acidez disminuyó, y la

velocidad a la cual disminuyó la acidez y aumentaron los sólidos solubles fue lenta en comparación con los frutos madurados a 30°C. Ketsa *et al.*, (2000) reportaron que mangos 'Nam DokMai' tratados térmicamente a 38°C por tres días y almacenados a 4°C por tres semanas tuvieron un alto valor de SST después del almacenamiento a bajas temperaturas y en contraste los niveles de acidez titulable en los frutos tratados térmicamente, después del almacenamiento disminuyeron en un 50% en comparación a los mangos no tratados y mantenidos a 25°C. Estos datos son similares al comportamiento de los mangos 'Keitt' almacenados a la temperatura de refrigeración.



**Figura 30.** Efecto de los tratamientos térmicos en la acidez de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

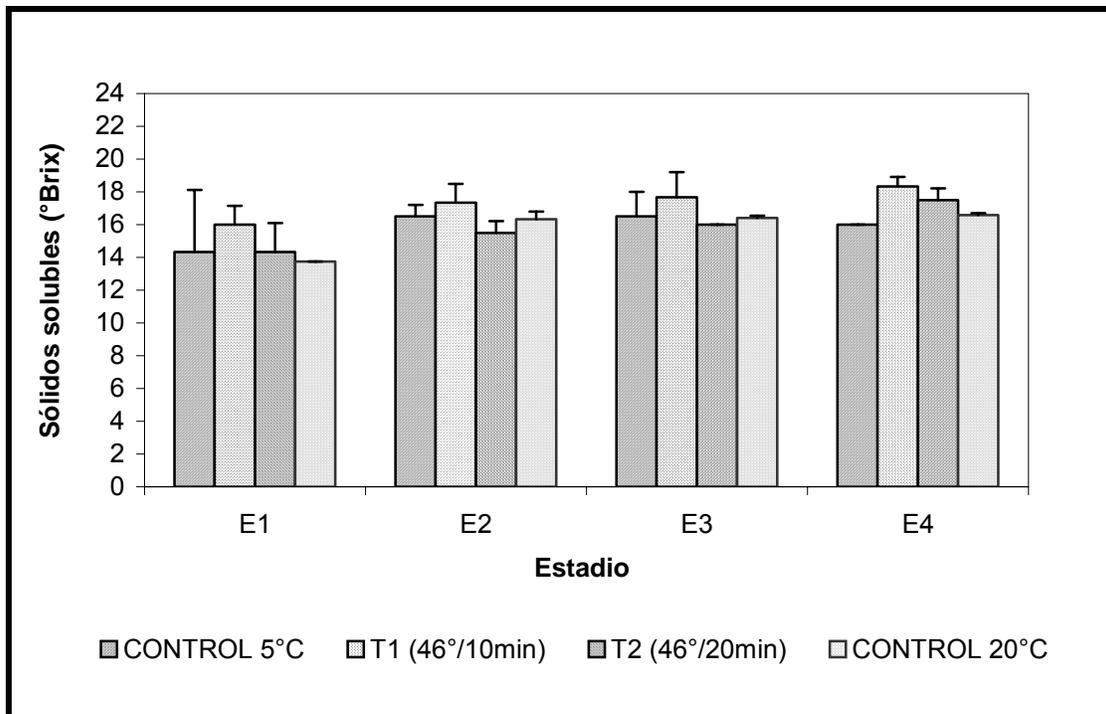
### 5.6.3 Efecto en los sólidos solubles.

Los sólidos solubles totales (SST) de los mangos controles a 5°C tuvieron un incremento desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>), con un valor de 14 °Brix, al inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) con 17 °Brix en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) se presentó una tendencia negativa al disminuir paulatinamente los SST tomando valores en este estadio de 16 °Brix lo cual generó un descenso del 6% con respecto al registro anterior de SST y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) el descenso de los SST fue de un 3%, ubicándose con un valor de 15 °Brix. En trabajos realizados por Acosta *et al.*, (2000) reportaron que al someter mangos 'Haden' a las temperaturas de almacenamiento de 8°C, 13°C y 18°C fueron incrementando el valor de sólidos solubles totales durante la maduración del fruto, pero al consumir su maduración los valores

de los sólidos solubles totales decrecen por la muerte de las células debido a la senescencia del fruto, indicando que los cambios fisiológicos y fisicoquímicos de los frutos fueron acelerados por la temperatura de almacenamiento. Los resultados de este trabajo sugieren que las bajas temperaturas de almacenamiento pudieron afectar el contenido de sólidos solubles en los mangos.

En cambio los tratamientos térmicos presentaron un comportamiento diferente y una tendencia en aumento, a diferencia del control a 5°C que fue en descenso desde el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) al postclimaterio (E<sub>4</sub>). Por esta razón el T<sub>1</sub> presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control como se puede observar en la figura 31. El T<sub>1</sub> se ubicó por encima del control y del T<sub>2</sub> en todos los estadios, presentando un aumento paulatino de los SST a lo largo de la maduración, encontrándose que para el preclimaterio (E<sub>1</sub>) tomó valores de 16 °Brix, ubicándose en un 11.5% por arriba del control en el mismo estadio (E<sub>1</sub>), como su tendencia fue en aumento para el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó un registro de 18.33 °Brix, el cual lo ubicó en un 22% por arriba del control en este mismo estadio (E<sub>4</sub>). Una misma tendencia y comportamiento fue la que siguió el T<sub>2</sub> al iniciar con valores similares al control en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) con 14.33 °Brix, pero a diferencia del control su incremento de SST es progresivo a lo largo de la maduración del mango y a diferencia del T<sub>1</sub> no presentó diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control a pesar de que sus valores estuvieron por debajo del control hasta el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) donde toma valores de 16 °Brix, ubicándolo en un 3% por arriba del control, y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó su mayor registro de SST con 17.5 °Brix sobrepasando al control en un 16.5%. McCollum *et al.*, (1993) reportaron que en mango 'Keitt' los SST fueron más altos en los mangos tratados que el control (5°C) cuando los frutos fueron transferidos a 21°C. Nyanjage *et al.*, (2001) reportaron que mangos 'Tommy Atkins' tratados térmicamente a 46.5°C por 90 minutos por agua caliente causaron un incremento en el contenido de sólidos solubles de frutos almacenados durante 20 días a 4°C. resultados que son similares a los encontrados en el presente trabajo.

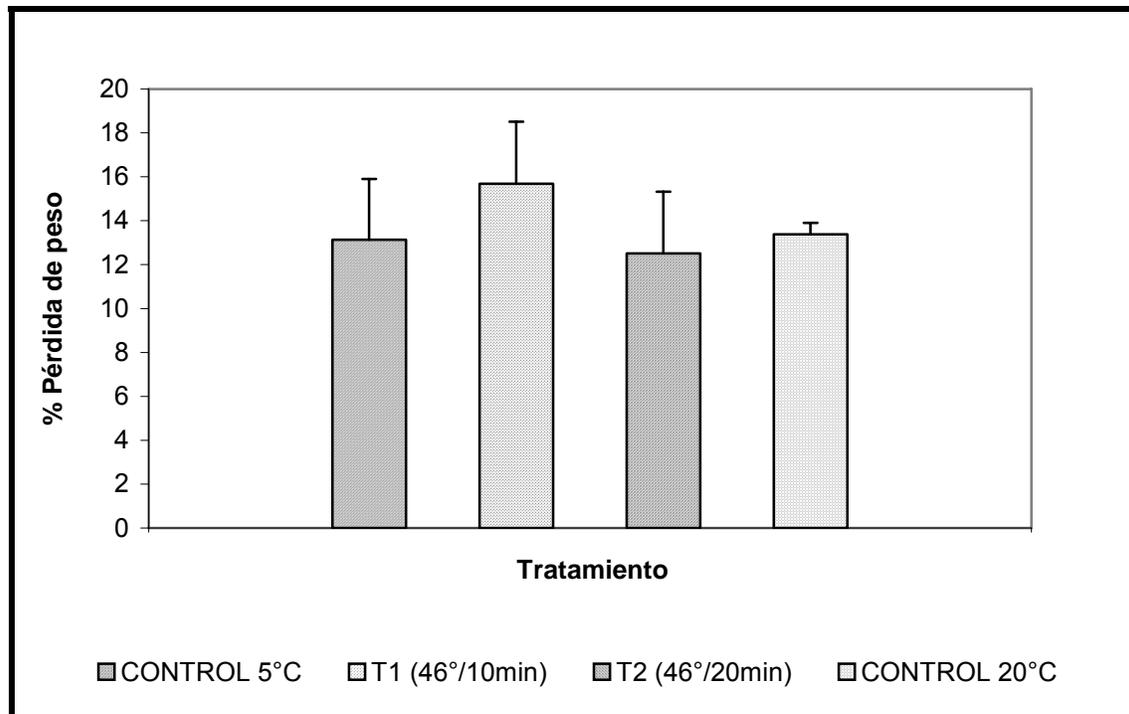
Con respecto a la temperatura de almacenamiento a 20°C se observó que el control (5°C), T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> no fueron significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ) en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), inicio del climaterio (E<sub>2</sub>), máximo climaterio (E<sub>3</sub>), pero en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los frutos sometidos a los tratamientos térmicos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> con respecto a los frutos almacenados a 20°C, en cambio no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre el control a 5°C y 20°C.



**Figura 31.** Efecto de los tratamientos térmicos en los sólidos solubles totales (SST) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

#### 5.6.4 Pérdida de peso.

La pérdida de peso que presentaron los mangos al término del almacenamiento de 25 días a 5°C fue de 3.78% para los controles y para los mangos tratados térmicamente fue de 4.10 %, y de 4.55%, para el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, respectivamente. En trabajos realizados por Mohammed y Brecht (2002) reportaron que mangos 'Tommy Atkins' almacenados a 5°C durante 18 días presentaron un progresivo incremento en el porcentaje de pérdida de peso a lo largo de los 18 días de almacenamiento, pero cuando los frutos se transfirieron a 20°C la pérdida de peso fue significativamente más alta, debido a la acelerada pérdida de agua del fruto. En cambio, una vez que se trasladaron a la temperatura de 20°C para su posterior maduración, los mangos controles (5°C) presentaron una pérdida de peso total de 13.13% que en comparación con los mangos controles a 20°C (13.38%) el porcentaje de pérdida presentó una mínima diferencia a la misma temperatura de maduración (20°C) (figura 32). En los mangos tratados térmicamente la pérdida de peso fue mayor para el T<sub>1</sub> con el 16%, en cambio el T<sub>2</sub> mostró una pérdida de peso del 12.5% que incluso fue menor al registrado por el control (5°C) en un 5% y en relación con el control a 20°C se ubicó en un 7% por debajo. Lo cual demuestra que los tratamientos térmicos por vapor caliente tienen un efecto en la pérdida de peso cuando los frutos se someten a bajas temperaturas.

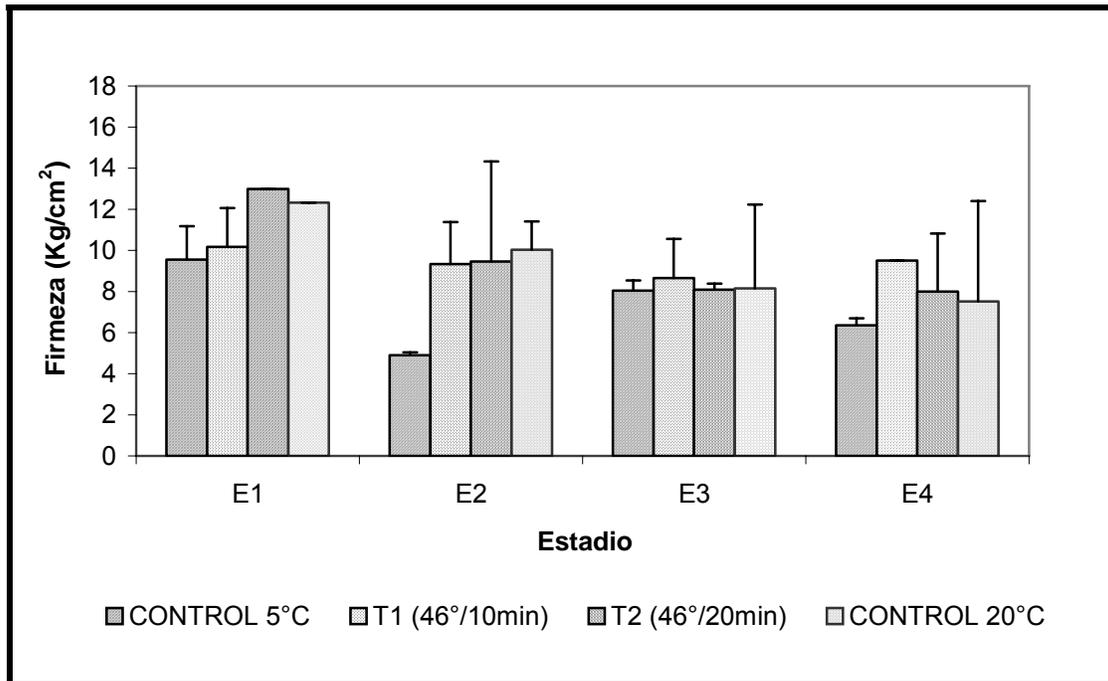


**Figura 32.** Efecto de los tratamientos térmicos en la pérdida de peso de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.

### 5.6.5 Efecto en la firmeza.

La pérdida de firmeza para los mangos controles a 5°C mostró una tendencia discontinua en descenso con altibajos entre los estadios como se puede observar en la figura 33. En el preclimaterio ( $E_1$ ) se obtuvo el valor más alto de firmeza que fue de 9.5 Kg/cm<sup>2</sup> y a partir de este punto el descenso fue inestable, ya que en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) se obtuvo un valor de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, valor que fue el registro más bajo de firmeza, con una pérdida de firmeza de un 48.5%, y en el máximo climaterio ( $E_3$ ) se incrementó hasta un valor de 8 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que representó un incremento del 64% con respecto al anterior estadio ( $E_2$ ) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) se llegó a un valor de 6.5 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual representó un último descenso de la firmeza del 21% con respecto al anterior estadio ( $E_3$ ) y un descenso total del 33.5% con respecto al preclimaterio ( $E_1$ ), lo que mostró un comportamiento muy discontinuo debido a los cambios en el metabolismo del fruto. En trabajos de Roe y Bruemmer (1981) reportaron que la pérdida de firmeza durante la maduración del mango 'Keitt' se debe a la desintegración de la pared celular causada por la degradación de la pectina que es la que le brinda fuerza a la estructura de la pared celular, pero cuando los frutos son sometidos a una temperatura de 4°C por seis semanas no es completamente inhibida la degradación de pectina iniciada en la maduración. Por lo tanto la pérdida de firmeza que se observó en los primeros estadios posiblemente se debió a éste comportamiento.

En comparación al control (frutos sin tratamiento) los mangos tratados térmicamente presentaron un comportamiento diferente con una tendencia continua y en descenso a lo largo de la maduración del mango, encontrándose diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los frutos tratados térmicamente ( $T_1$  y  $T_2$ ) con respecto al control.



**Figura 33.** Efecto de los tratamientos térmicos en la firmeza de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

Los frutos sometidos a la primera condición del tratamiento térmico ( $T_1$ ) inició con valores de firmeza de 10 Kg/cm<sup>2</sup> para el preclimaterio (E<sub>1</sub>), valor arriba del control a 5°C en un 6%, después continuó con un descenso gradual hasta el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) con un registro de 9 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose a un 7% por arriba del control y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) se incrementó la firmeza en un 9.5%, con respecto al anterior estadio (E<sub>3</sub>), al alcanzar valores de 9.5 Kg/cm<sup>2</sup>, ubicándose por encima del control en un 49.5% en el mismo estadio (E<sub>4</sub>). En cambio los frutos sometidos a la segunda condición del tratamiento térmico ( $T_2$ ) inició con un valor de firmeza en el preclimaterio bastante alto de 13 Kg/cm<sup>2</sup>, para después descender en un 27% en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) al tomar el valor de 9.5 Kg/cm<sup>2</sup>, ya que este descenso se prolongó hasta el final de la maduración en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) obtuvo el valor de 8 Kg/cm<sup>2</sup> que lo ubicó muy cerca del control en el mismo estadio (E<sub>3</sub>) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó el valor de 8 Kg/cm<sup>2</sup> que lo ubicó en un 20.5% arriba del control y con el 19% por abajo del  $T_1$ , ofreciendo esta condición ( $T_2$ ) una mejor tendencia hacia la pérdida de la firmeza a lo largo de la maduración. Este comportamiento pudiera explicarse a lo observado por Roe y Bruemmer (1981)

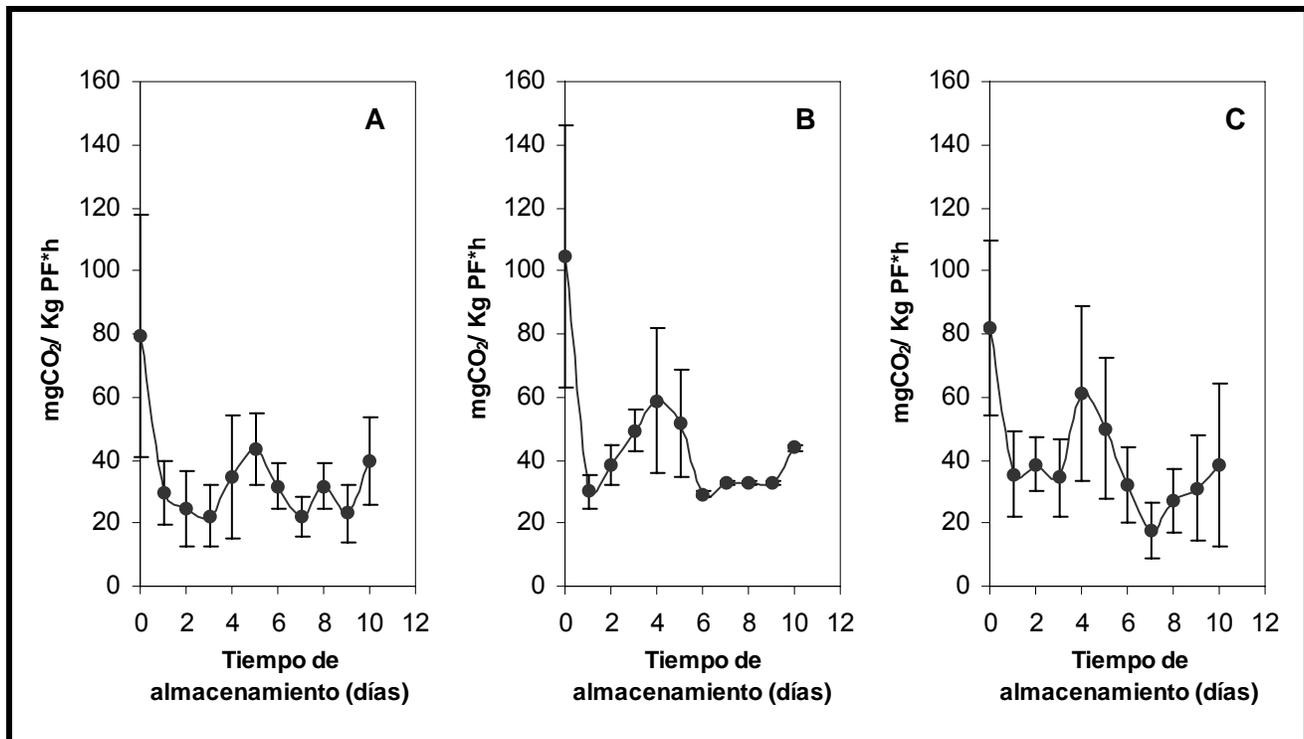
en donde en mango 'Keitt' almacenado a 4°C por seis semanas, en donde los niveles de la actividad enzimática de poligalacturonasa y celulasa se incrementó durante el almacenamiento dando como resultado una pérdida de firmeza del fruto. En el presente trabajo podría sugerirse que los tratamientos térmicos provocaron una parcial inhibición de la actividad de estas enzimas (poligalacturonasa y celulasa) lo que generó que la pérdida de firmeza se presentara en menor grado.

En relación con el efecto de la temperatura de almacenamiento en la firmeza no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre el  $T_1$  y el  $T_2$  a 5° y 20°C en el preclimaterio ( $E_1$ ), y en el postclimaterio ( $E_4$ ) no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre el control a 5°C, el control a 20°C y entre el  $T_2$ , pero los frutos sometidos a la primera condición del tratamiento térmico ( $T_1$ ) presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a las dos temperaturas de almacenamiento de 5°C y 20°C, respectivamente. Esto indica que los tratamientos térmicos ayudaron a evitar el ablandamiento de los frutos.

Kane *et al.*, (1982) observaron que el progresivo descenso de la firmeza en lotes de mangos 'Francisque' almacenados a 20°C es un fenómeno natural de la maduración del fruto, pero en frutos afectados por daños por frío (chilling-injury) la pérdida de la firmeza es más rápida después de transferirlos a 20°C, resultados similares a los encontrados en el presente trabajo.

#### **5.6.6 Cambios en la respiración.**

En la Figura 34 se pueden observar los cambios en la respiración, medida en función de la producción de  $CO_2$ , de los mangos controles a 5°C y tratados térmicamente a temperatura de almacenamiento de 5°C durante 25 días a una HR de 95-98% y transferidos a una temperatura de 20°C con una HR del 95% para su posterior maduración. Considerando a estos frutos, bajo las condiciones de tiempo (25 días) y temperatura (5°C) a que se expusieron, como mangos a la condición de 5°C.



**Figura 34.** Cambios en la respiración de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. (A) Control, (B) 46°C / 10 min. y (C) 46°C / 20 min.

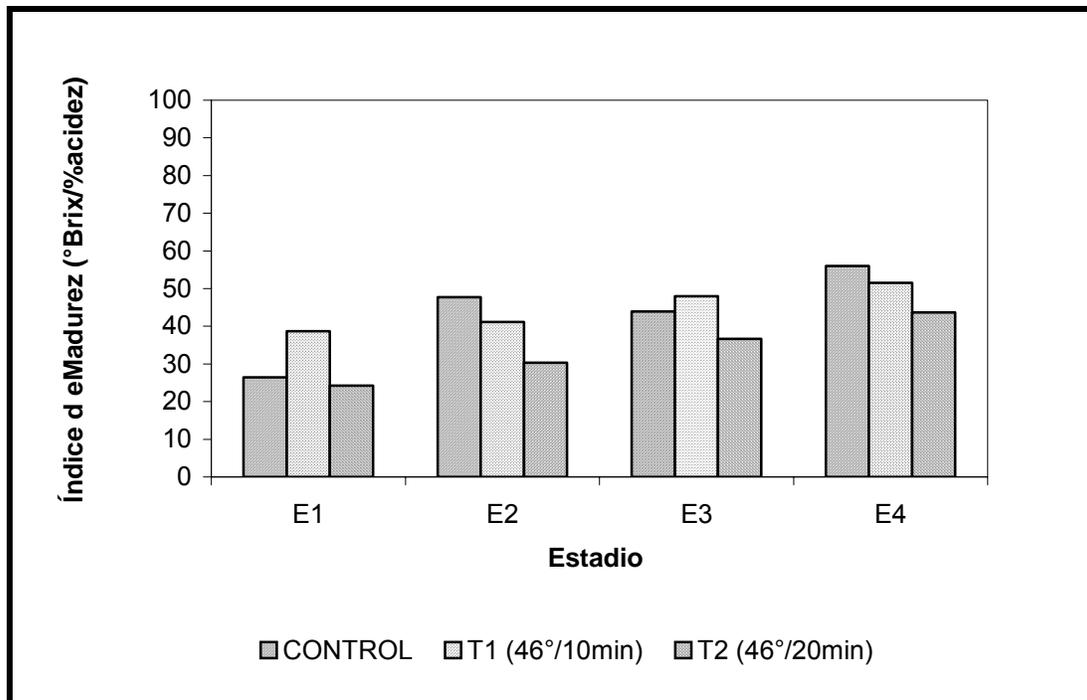
En los mangos controles (figura 35 A) se aprecia una caída en la respiración inicial que comprendió desde el día en que fueron transferidos a la temperatura de 20°C (día cero) al primer día de almacenamiento a esa misma temperatura, esta disminución de la respiración del mango puede ser atribuida al estrés que sufrió el fruto durante el tiempo de almacenamiento (25 días) a una baja temperatura (5°C) y al shock que sufrió al incrementarse la temperatura de almacenamiento (20°C) a condiciones normales de maduración, como demuestran trabajos de Pantastico *et al.* (1987), que reportaron que se registran tasas aceleradas de respiración al pasar de inmediato de una temperatura fría a otra más elevada. El pico climatérico lo presentó en el quinto día de almacenamiento donde se registró una producción de CO<sub>2</sub> de 43.5 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, en comparación con los mangos controles a 20°C, que tuvieron en el mismo punto una producción de CO<sub>2</sub> de 117.39 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, se encontró una disminución de la tasa respiratoria del 63% que se puede atribuir como un efecto que producen las bajas temperaturas sobre los frutos es una producción mínima o nula de CO<sub>2</sub> al transferirse a temperaturas mayores de almacenamiento. Wang (1982) reportó que en frutos la respuesta respiratoria para las bajas temperaturas es diferente, debido a que la respiración es completamente inhibida y el pico climatérico es inexistente, como resultado el fruto pierde la capacidad para madurar después de un prolongado enfriamiento. Después del pico climatérico sufrió una disminución de la producción de CO<sub>2</sub> hasta el séptimo día y en el octavo día presentó un aumento en la respiración, pero en menor intensidad que el pico climatérico que puede tomarse como

el correspondiente al postclimaterio o el inicio de la senescencia del fruto. McCollum *et al.*, (1993) reportó que en mangos 'Keitt' almacenados a 5°C por once días la velocidad de evolución del CO<sub>2</sub> fue más baja al transferirlos a 21°C, y este patrón de evolución del CO<sub>2</sub> fue similar en los frutos tratados (38°C por 24 ó 48 horas) y no tratados, además de que los tratamientos térmicos aparentemente afectan el ritmo, pero no la magnitud de la respiración climatérica.

En cambio, los frutos tratados térmicamente presentaron el mismo comportamiento inicial que el control con la caída de la tasa respiratoria en el día cero, en tanto, que el pico climatérico lo presentaron en el cuarto día, un día antes que el control, acelerando la respiración al igual que en los tratamientos a 20°C, presentando una producción de CO<sub>2</sub> superior al control a 5°C, incrementando la tasa respiratoria en un 35%, con una producción de CO<sub>2</sub> de 59 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, para el T<sub>1</sub> (figura 35 B) y en un 40%, con una producción de CO<sub>2</sub> de 61 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF\*h, para el T<sub>2</sub> (figura 35 C). Por lo tanto se puede decir que el efecto del tratamiento térmico reduce la pérdida de producción de CO<sub>2</sub> al someterse los mangos a bajas temperaturas. Los frutos tratados térmicamente maduran antes, pero eventualmente los frutos no tratados alcanzan la misma maduración (Ketsa *et al.*, 2000).

#### **5.6.7 Índice de madurez.**

En la figura 35 se muestra el índice de madurez (IM), de los frutos controles y tratados térmicamente almacenados a 5°C, donde se puede observar que los frutos con el tratamiento térmico T<sub>2</sub> presentó una tendencia continua en aumento con un comportamiento progresivo del proceso de maduración de los mangos a esa condición del tratamiento, en cambio, los frutos con el tratamiento térmico T<sub>1</sub> mostraron una tendencia similar al T<sub>2</sub>, pero con un comportamiento, un poco, diferente al tener muy ligeras variaciones que no afectaron su aumento progresivo de maduración. Sin embargo, los frutos control difieren a las condiciones de los tratamientos térmicos (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) porque presentaron una tendencia y un comportamiento discontinuo en el proceso de maduración de los mangos principalmente por la aparición de los síntomas del daño causado por las bajas temperaturas, presentando variaciones de un estadio a otro conforme maduraba el fruto que representaban una maduración desigual del mango. En trabajos realizados por Moheemmed y Brecht, (2002) reportaron que mangos 'Tommy Atkins' almacenados a 5°C durante 18 días la relación de °Brix/acidez se incrementó al transcurrir la maduración a 20°C.



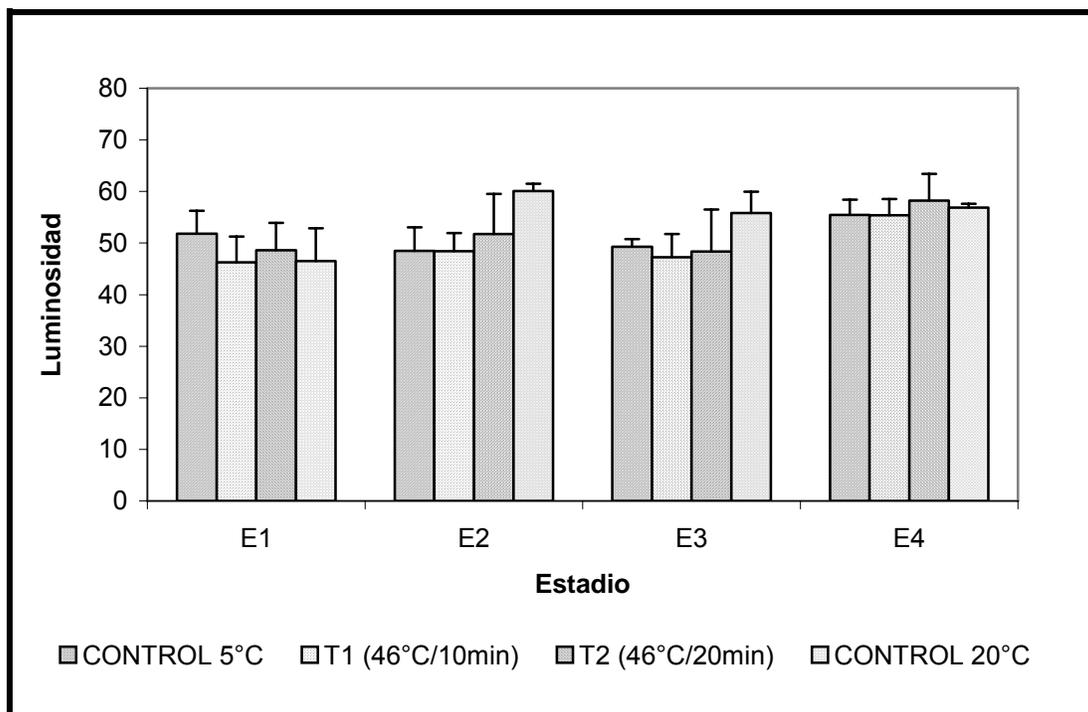
**Figura 35.** Índice de madurez (IM) de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

### 5.6.8 Efecto en el color.

Debido a que el cambio de color que sufre el mango durante la maduración le da las características principales de aceptabilidad en el mercado. El almacenamiento prolongado y las bajas temperaturas son elementos que pueden afectar en cierta forma la aparición de una coloración adecuada del mango variedad 'Keitt' y debido a que en esta variedad predominan las tonalidades verdes, verdes-amarillas y muy poco las tonalidades naranjas o rojas, la afección de estas tonalidades se hace menos perceptible y el grado de variación del color se enmarcaría solo en la coloración verde y el grado en que la ligera opacidad que presenta se va perdiendo conforme el fruto madura, pero el daño que presentaron los frutos sometidos a bajas temperaturas, entre otras cosas, provocaron un pardeamiento (manchas color marrón) que en términos de color se puede traducir en la aparición de un oscurecimiento con una opacidad que conforme los daños se hicieron más evidentes se fueron intensificando estos daños.

En la figura 36 se muestran los cambios en la luminosidad de los mangos tratados térmicamente y almacenados a 5°C. En los mangos control almacenados a 5°C, el parámetro L\*, que representa el valor de la luminosidad, registró valores de 52 en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), valor que al máximo climaterio

(E<sub>3</sub>) se reduce hasta 49, pero en el postclimaterio repunta hasta un valor final de 56, lo que representa que en el último estadio (E<sub>4</sub>) se obtuvo una mayor claridad del color del fruto. Sin embargo, con respecto a los frutos control almacenados a 20°C los valores de L\*, se encontraron en un 10% por debajo de los frutos control almacenados a 5°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), pero en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) superaron al control a 5°C en un 24%, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) en un 13% y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) en un 2.5%, lo que indica que la claridad del color se vio afectada por el almacenamiento prolongado a las bajas temperaturas, al menos en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) y en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>), estadios en donde las características visuales del fruto son el parámetro más importante para la aceptación del consumidor. En trabajos realizados por Mohemmed y Brecht, (2002) reportaron que mangos 'Tommy Atkins' almacenados a 5°C durante 18 días presentaron un descenso en la luminosidad y croma en los primeros días de haberse transferido a la temperatura de 20°C correspondiendo este comportamiento al desarrollo de los síntomas de daño por frío.



**Figura 36.** Efecto de los tratamientos térmicos en la luminosidad del color de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

En lo que concierne a los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  para el control a 5°C se apreció que  $a^*$  obtuvo valores negativos a lo largo del proceso de maduración tomando valores iniciales de  $-12.35$ , para el preclimaterio (E<sub>1</sub>), hasta valores muy cercanos al cero como de  $-0.38$ , para el postclimaterio (E<sub>4</sub>), lo que indica que a medida que la coloración verde perdió cierta predominancia, permitió la aparición de

otras coloraciones, como las de los síntomas del daño por frío (pardeamientos) que fueron ocupando poco a poco la mayoría de la superficie del fruto desde el preclimaterio ( $E_1$ ) y hasta último estadio ( $E_4$ ) de maduración del mango. Por consiguiente los valores del parámetro  $b^*$  se ubicaron en el preclimaterio ( $E_1$ ) en 38.68 y para el postclimaterio ( $E_4$ ) en 41.69, estableciendo la tendencia de la aparición gradual de las coloraciones amarillo-parduscas (pardeamiento) a lo largo de la maduración del fruto.

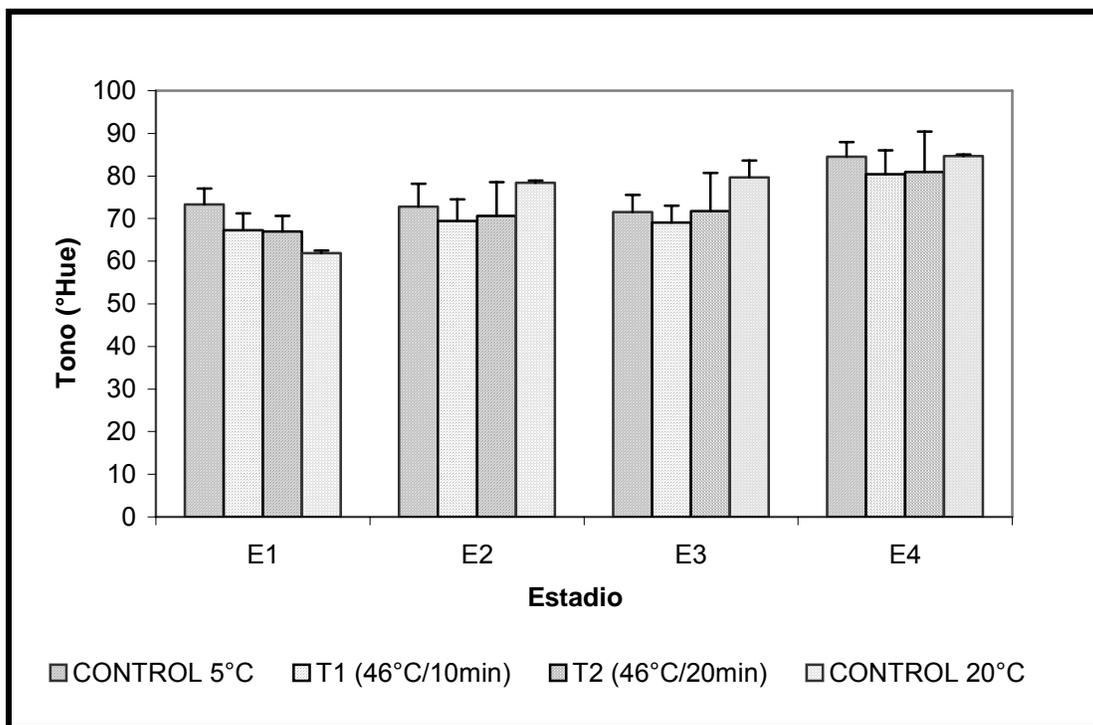
En cambio la luminosidad de los mangos tratados térmicamente presentó la misma tendencia al grupo control a  $5^\circ\text{C}$ , pero con ligeras variaciones. Encontrándose para los frutos tratados térmicamente por la condición de  $T_1$  una variación en el preclimaterio ( $E_1$ ), de un 10.5% por debajo del control a  $5^\circ\text{C}$ , y en el máximo climaterio ( $E_3$ ), con un 4% por debajo del control a  $5^\circ\text{C}$ , y presentando un mismo comportamiento en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) y en el postclimaterio ( $E_4$ ). En cambio, los frutos tratados por la condición de  $T_2$  presentaron un comportamiento diferente, teniendo entonces, una variación del 6%, por debajo del control a  $5^\circ\text{C}$ , para el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) incrementó su luminosidad en un 6.5% por arriba del control a  $5^\circ\text{C}$ , después desciende en el máximo climaterio ( $E_3$ ) en un 2% por debajo del control a  $5^\circ\text{C}$  y en el postclimaterio ( $E_4$ ) repunta en un 5% por arriba del control a  $5^\circ\text{C}$ .

Los tratamientos térmicos no afectaron significativamente ( $p \geq 0.05$ ) la luminosidad de los frutos almacenados a  $5^\circ\text{C}$ .

Lo anterior sugiere que los mangos tratados térmicamente, principalmente el  $T_2$ , presentó una mayor claridad del color al ser expuestos a bajas temperaturas de almacenamiento ( $5^\circ\text{C}$ ) lo que provocaría, como en el control ( $5^\circ\text{C}$ ), una disminución de la luminosidad por la aparición gradual del pardeamiento que sufre el mango, como resultado de la manifestación de los síntomas del daño por frío. En trabajos realizados por Ketsa *et al.*, (2000) reportaron que en mango 'Nam DokMai' tratado térmicamente a  $38^\circ\text{C}$  por tres días y almacenados a  $4^\circ\text{C}$  por tres semanas desarrollaron un amarillamiento en piel con una rapidez similar a los frutos no tratados y mantenidos a  $25^\circ\text{C}$ . McCollum *et al.*, (1993) reportaron que el efecto que tiene los tratamientos térmicos ( $38^\circ\text{C}$  por 24 ó 48 horas) sobre el mango 'Keitt' es que desarrollan más color que el control.

Los valores del ángulo HUE para los frutos controles a  $5^\circ\text{C}$  presentaron un comportamiento similar a la luminosidad a  $5^\circ\text{C}$  con valores iniciales de 73 para el preclimaterio ( $E_1$ ) seguido de un ligero descenso en el inicio del climaterio ( $E_2$ ), con 73, y en el máximo climaterio ( $E_3$ ), con 71.5, pero en el

postclimaterio ( $E_4$ ) registraron su valor más alto con 84.5, lo que indica una tendencia gradual hacia las tonalidades amarillas, y con respecto a los valores obtenidos del ángulo HUE a 20°C se obtuvo una diferencia en el incremento de los valores desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) siendo para el control a 5°C de un 15%, en cambio para el control a 20°C el incremento fue de un 37%, lo que representó que el incremento del ángulo HUE del control a 20°C fue por desarrollar el fruto el matiz o la clase de color que según la escala del ángulo HUE fue una mezcla del color rojo con el amarillo y que le brindan las características visuales típicas de la coloración normal del mango variedad 'Keitt' en su proceso de maduración, en cambio para el control a 5°C este menor incremento del ángulo HUE indicó que como los síntomas del daño por frío desde el preclimaterio ( $E_1$ ) ya estaban presentes en el mango como pequeñas manchas de una ligera coloración marrón y que conforme fue madurando el fruto se intensificaron en color y tamaño, como lo indicó el IDF, representaría no la determinación de un color en específico, sino más bien el desarrollo de uno de los síntomas ocasionados por las bajas temperaturas como fue el pardeamiento que presentaron los frutos una vez concluida la maduración de los mismos.



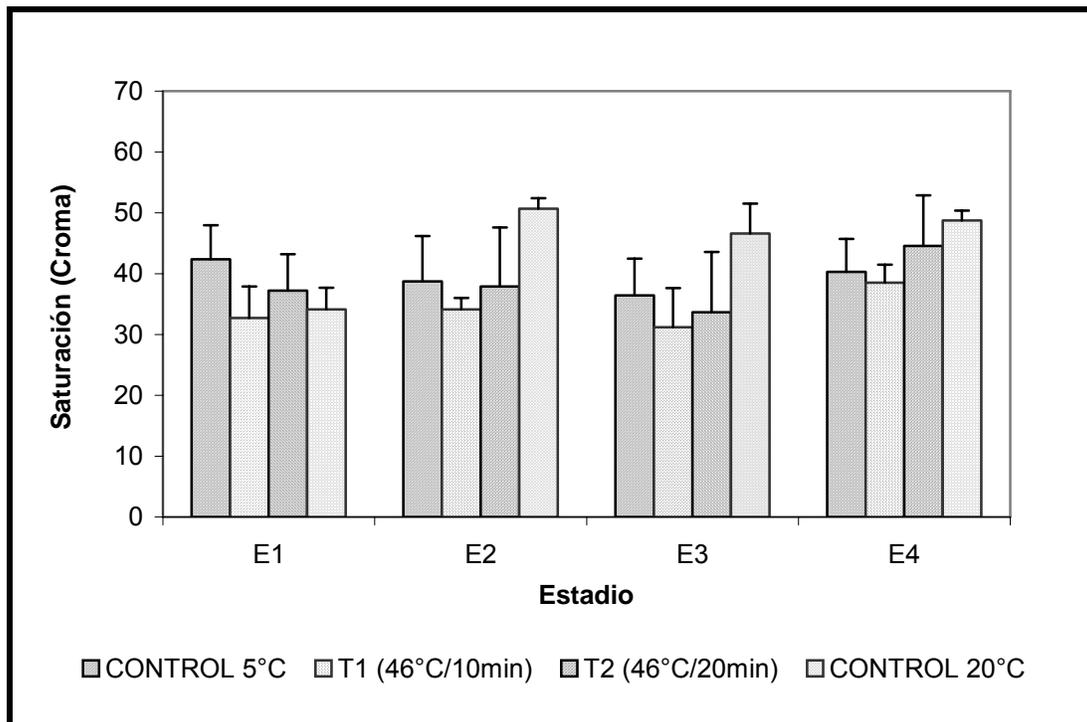
**Figura 37.** Efecto de los tratamientos térmicos en el tono del color de mangos variedad 'Keitt' almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.  $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio).

Los mangos tratados térmicamente conservaron una tendencia algo diferente al control (5°C) a lo largo del proceso de maduración como se muestra en la figura 37, porque mientras en los frutos control (5°C) el valor de Hue disminuía, en los frutos tratados térmicamente aumentaban, pero sin mostrar diferencias significativas, por lo tanto el  $T_1$  tomó valores iniciales de 67.5 ubicándose en un 8% por debajo del control (5°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ), para el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de 69.5 ubicándose en un 4.5% por abajo del control (5°C), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) estancó un poco sus valores tomando el valor de 69 con un retraso mínimo al estadio anterior ( $E_2$ ), pero reduciendo la diferencia encontrándose en un 3.5% por debajo del control (5°C) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) alcanzó su valor máximo al alcanzar el valor de 80.5, ubicándose en un 5% por debajo del control (5°C). En cambio el  $T_2$  mantuvo una tendencia en aumento durante el paso de los estadios al iniciar con valores de 67 para ubicarse en un 8.5% por debajo del control (5°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de 70.5 estando en un 3% por debajo del control, pero en el máximo climaterio alcanzó el valor de 72 ubicándose, así, en un mínimo 0.5% por arriba del control, para después alcanzar su valor máximo en el postclimaterio ( $E_4$ ) al tomar el valor de 81 que lo ubicó a un 4% por debajo del control (5°C). En trabajos realizados por Elhadi *et al.*, (2000) reportaron que los valores del ángulo hue indicaron el paulatino cambio de color en mango 'Oro' (verde-amarillo-rojo) y 'Manila' (verde-amarillo) sin mostrar diferencias entre los tratamientos aplicados (44°C por 160 minutos y almacenados por 24 días a 5°C). Nyanjage *et al.*, (2001) reportaron que mangos 'Tommy Atkins' tratados térmicamente a 46.5°C por 90 minutos por agua caliente y almacenados durante 20 días a 4°C, presentaron bajos valores del ángulo hue.

Los tratamientos térmicos no presentaron un efecto significativo ( $p \geq 0.05$ ) en el ángulo Hue de los mangos, ni al inicio ni al final del almacenamiento. Al comparar el tono de estos frutos con los almacenados a 20°C tampoco se registró un efecto significativo ( $p \geq 0.05$ ) al final del almacenamiento. Por lo que se puede sugerir que los síntomas de daños por frío no afectaron este parámetro del color.

El croma o la saturación del color en los frutos control almacenados a 5°C mostró una tendencia negativa a lo largo del proceso de maduración del fruto como se muestra en la figura 38 tomando valores iniciales de 42.37 en el preclimaterio ( $E_1$ ), con una disminución desde el inicio del climaterio ( $E_2$ ) con valores de 38.76 y en el máximo climaterio ( $E_3$ ) con valores de 36.44, para después mostrar un repunte final en el postclimaterio ( $E_4$ ) con valores e 40.31 que incluso fue menor a su valor inicial ( $E_1$ ). En tanto, la saturación del color del control a 20°C, a pesar de haber estado por debajo del control a 5°C en un 19.5% en el preclimaterio ( $E_1$ ), tuvo una tendencia positiva al ubicarse en un 21%

por arriba del control a 5°C en el postclimaterio (E<sub>4</sub>). Lo que indica que a medida que se define el tono del color (°HUE) a lo largo de la maduración del fruto a 20°C en ese mismo grado se intensifica o se obtiene la pureza del color, es decir el grado de dilución con el color blanco (Lees, 1980). En cambio, el control a 5°C al presentar una tendencia negativa sugiere que no sé esta intensificando el color, sino que sé esta diluyendo, aunque muy poco, pero lo suficiente, como para no presentar una coloración uniforme o bien definida. En trabajos realizados por Nyanjage *et al.*, (2001) reportaron que mangos ‘Tommy Atkins’ tratados térmicamente a 46.5°C por 90 minutos por agua caliente y almacenados durante 20 días a 4°C, presentaron bajos valores de croma.



**Figura 38.** Efecto de los tratamientos térmicos en la intensidad del color de mangos variedad ‘Keitt’ almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio).

En los frutos con tratamientos térmicos el croma mostró una tendencia positiva, a pesar de que en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) presentaron una ligera disminución de sus valores. Por lo tanto, el T<sub>1</sub> obtuvo valores de 32.73 que lo ubicó en un 22.5% por debajo del control a 5°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó valores de 34.16 para ubicarlo en un 12% por debajo del control a 5°C, en el máximo climaterio, donde obtuvo valores más bajos, mostró valores de 31.20 que lo ubicaron en un 14.5% por debajo del control a 5°C y en el postclimaterio alcanzó su valor máximo al ubicarse en 38.56 que lo colocó en un 4.5% por debajo del control a 5°C. En cambio, el T<sub>2</sub> inicia con valores de 37.21 para el preclimaterio (E<sub>1</sub>) ubicándose en un 12% por debajo del control a 5°C, para el inicio del

climaterio (E<sub>2</sub>) mostró un ligero estancamiento al tomar valores de 37.91 ubicándolo en un 2% por debajo del control a 5°C, en el máximo climaterio, donde presentó un descenso en sus valores, obtuvo valores de 33.66 que lo ubicaron en un 7.5% por debajo del control a 5°C y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) presentó su valor más alto al alcanzando el registro de 44.57 que lo colocó en un 10.5% por arriba del control a 5°C. Lo anterior demuestra que los tratamientos térmicos ayudaron a disminuir el efecto sobre la intensidad del color que causan las bajas temperaturas en los mangos variedad 'Keitt', que aunque presenten valores un poco más bajos, mantienen la misma tendencia de cómo si fueran madurados a 20°C.

El croma de los frutos tratados térmicamente y almacenados a 5°C no presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) al inicio del almacenamiento con respecto a los frutos control. Sin embargo, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) y postclimaterio (E<sub>4</sub>) los frutos tratados térmicamente presentaron un efecto significativo en el croma con respecto a los frutos control, lo que indica que este parámetro de color se afecta por las bajas temperaturas de almacenamiento y podría estar relacionado con los síntomas de daños por frío.

Lo anterior demuestra que los tratamientos térmicos ayudaron a disminuir los efectos que causan las bajas temperaturas en los mangos variedad 'Keitt', y a pesar de que presenten valores un poco más bajos, mantienen la misma tendencia de cómo si fueran madurados a 20°C.

## **5.7 Cambios en el contenido de fenoles y en actividades de PPO y POD en mangos variedad 'Keitt' almacenados a bajas temperaturas y tratados térmicamente.**

### **5.7.1 Contenido de Fenoles totales.**

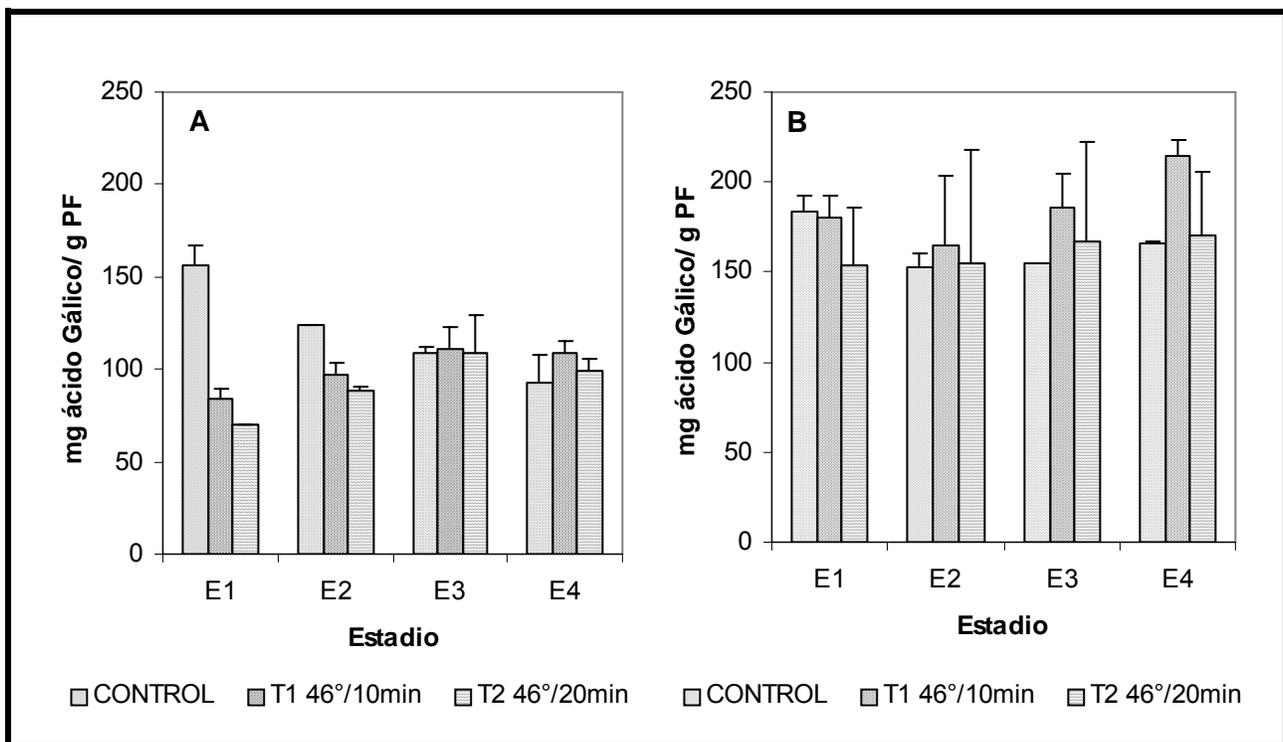
Los compuestos fenólicos son importantes debido a su contribución en el color y sabor de los frutos (Shaw *et al.*, 1998), así como en el proceso de pardeamiento de sus tejidos. Los frutos del banano, mango y algunos otros cultivares tienen un alto contenido de fenoles del tipo tanino a la maduración fisiológica y son los que proporcionan el sabor astringente a los mismos; su degradación es lo que permite llegar a su madurez de consumo (Díaz, 2002).

La Fenilalanina Amonio Liasa (PAL, EC 4.3.1.5) es la primera enzima comprometida en la ruta fenólica primaria, y su actividad controla la velocidad de la ruta fenólica hasta el final (Saltveit, 2000). Los compuestos fenólicos están ampliamente distribuidos y sus funciones están relacionadas con la

protección frente a las heridas, con procesos de oxidación y son indicadores de la maduración del fruto (Hobson, 1993).

En la figura 39 se muestran los cambios en el contenido de fenoles de frutos almacenados a 5°C y 20°C. El contenido de fenoles totales del mango variedad 'Keitt' mostró que en la piel estos frutos son ricos en compuestos fenólicos, en tanto que en la pulpa el contenido fue 100 veces inferior. Esto se debe a la función biológica de estos compuestos, ya que su síntesis esta relacionada con la protección del fruto frente a las heridas con procesos de oxidación y participan también en la resistencia a las enfermedades relacionadas con la invasión de agentes patógenos (Hobson, 1993; Sharma *et al.*, 2001).

En la figura 40 A se muestra que el contenido de fenoles en piel de mangos almacenados a 20°C presentó un descenso en la concentración de fenoles totales de un 41% desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>), con valores de 157 mg ácido Gálico/ g PF, hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), donde tomó el valor de 93 mg ácido Gálico/ g PF. Este comportamiento coincide con trabajos de Hobson (1993) que reportó que la concentración de compuestos fenólicos decrece durante la maduración del fruto, incrementándose, a su vez, la condensación de los compuestos fenólicos disminuyendo la astringencia y el amargor.



**Figura 39.** Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de fenoles totales en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

Sin embargo, los mangos tratados térmicamente presentaron un comportamiento diferente a los mangos controles a 20°C (figura 39 A). Se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el contenido de fenoles de los frutos control (20°C) y la primera condición del tratamiento térmico ( $T_1$ ) en los primeros estadios ( $E_1$  y  $E_2$ ), tomando una concentración inicial de fenoles totales de 84 mg ácido Gálico/ g PF, situándolo por debajo del control (20°C) en un 46.5% en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) la concentración aumentó en un 15.5% con respecto al estadio anterior ( $E_1$ ) tomando valores de 97 mg ácido Gálico/ g PF situándolo en un 22% por debajo del control (20°C) en el mismo punto, no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en los siguientes estadios con respecto al control, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) la concentración fue de 111 mg ácido Gálico/ g PF, siendo su producción más alta de fenoles totales, que además fue un 14.5% mayor con respecto al estadio anterior ( $E_2$ ) ubicándolo en un 2% por arriba del control en el mismo estadio ( $E_3$ ) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) tomó el valor de 108 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó en un 16% por arriba del control en el mismo estadio ( $E_4$ ). Los frutos sometidos a  $T_1$  mantuvieron una tendencia en aumento en la concentración de fenoles totales con un incremento del 28.5% en la concentración inicial desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_4$ ). En cambio, el  $T_2$  mantuvo un comportamiento similar al  $T_1$ , presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control (20°C) en los primeros estadios ( $E_1$  y  $E_2$ ) iniciando con valores en el preclimaterio ( $E_1$ ) de 70 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó por debajo del control (20°C) en un 55.5%, en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) incremento la concentración en un 14% alcanzando valores de 88 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 29% por debajo del control (20°C) en el mismo punto, en los siguientes estadios no se presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) la concentración se incrementó en un 24% desde el  $E_2$  con 109 mg ácido Gálico/ g PF, siendo su máximo valor alcanzando el mismo valor que el control (20°C) en el mismo estadio, y en el postclimaterio ( $E_4$ ) la concentración descendió en un 9% con respecto al estadio anterior ( $E_3$ ) que lo ubicó en un 6.5% por arriba del control (20°C) en el mismo estadio. Por consiguiente, mientras el grupo control (20°C) inició con valores de concentración de fenoles totales más altos que los valores de los tratamientos térmicos, la tendencia que mantuvo hasta el último estadio ( $E_4$ ) fue en descenso, mientras los frutos del tratamiento  $T_1$  mantuvieron una tendencia en aumento, lo mismo que los del  $T_2$ , aunque hubiera descendido su concentración en el último estadio. Una ventaja de los tratamientos de shock térmico es la pérdida de la síntesis de los compuestos fenólicos (Shellie y Mangan, 2000; Saltveit, 2000). Aunque el ligero stress por calor que previene el incremento de la actividad de la PAL y el pardeamiento, no eliminan en su totalidad la actividad de las enzimas involucradas en el pardeamiento de los tejidos (PAL, PPO y POD) (Loaiza-Velarde *et al.*, 1997, citado por Saltveit, 2000). En el rango de temperatura de 45°C a 55°C por menos de un minuto de aplicación decrece

significativamente la actividad de PPO junto con la síntesis de compuestos fenólicos (Loaiza-Velarde *et al.*, 1997, citado por Paull y Chen, 2000).

En cambio, el contenido de fenoles totales en piel de mangos controles almacenados a 5°C durante 25 días fue mayor en su concentración con respecto a los mangos controles almacenados a 20°C como se observa en la figura 39 B. Por lo que se observó un efecto en el contenido de fenoles por la temperatura de almacenamiento ya que los frutos presentaron valores de 183 mg ácido Gálico/ g PF, situándose en un 14% por arriba del control a 20°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), después descendió su concentración en un 16.5% en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) con 153 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó en un 19% por arriba del control a 20°C, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tuvo un ligero aumento del 1% en su concentración con respecto al anterior estadio (E<sub>2</sub>) tomando valores de 155 mg ácido Gálico/ g PF en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) la concentración de fenoles totales tuvo un incremento de un 7.5% con respecto al anterior estadio (E<sub>3</sub>) alcanzando el valor de 166 mg ácido Gálico/ g PF, este último incremento lo ubicó en un 44% por arriba del control a 20°C. Los resultados obtenidos anteriormente indicaron que hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre la concentración de fenoles totales, tanto a 20°C como a 5°C, ya que no solo mostraron diferencias en cuanto a la cantidad de fenoles totales sino también en el comportamiento de los mismos, encontrándose un tendencia negativa a lo largo de la maduración en los mangos almacenados a 20°C. En cambio, los mangos sometidos a 5°C por 25 días de almacenamiento presentaron una concentración de fenoles totales más elevada que la de 20°C mostrando su más alto valor en el primer estadio (E<sub>1</sub>), reduciendo su concentración en el segundo estadio (E<sub>2</sub>), pero a diferencia de los resultados obtenidos a 20°C, no mostraron una tendencia negativa, sino que a partir de este estadio (E<sub>2</sub>) la concentración comenzó a aumentar progresivamente hasta el ultimo estadio (E<sub>4</sub>), debido a que las cantidades de los compuestos fenólicos cambian durante el enfriamiento. Haard y Radadive (1973) demostraron que en plátanos, los compuestos fenólicos de bajo peso molecular disminuyeron a temperaturas bajas, mientras que aumentaron los fenoles sumamente polimerizados (citado por Pantastico, 1987). Además de que los compuestos fenólicos al servir de sustrato a las enzimas encargadas de llevar a acabo el pardeamiento enzimático sea la causa de presentar una tendencia negativa en la concentración de fenoles totales. Algunas sustancias polifenólicas comunes encontradas en frutos, son los ácidos cloragénico y cafeínico, así como la quercetina. En tejidos intactos y sanos, estos compuestos están compartamentalizados en diferentes partes de las células. Cuando un fruto es dañado, la ruptura de las células ocurre, y estas sustancias se ponen en contacto con las enzimas PPO y POD, las cuales causan la reacción del pardeamiento enzimático. La actividad de la PPO se

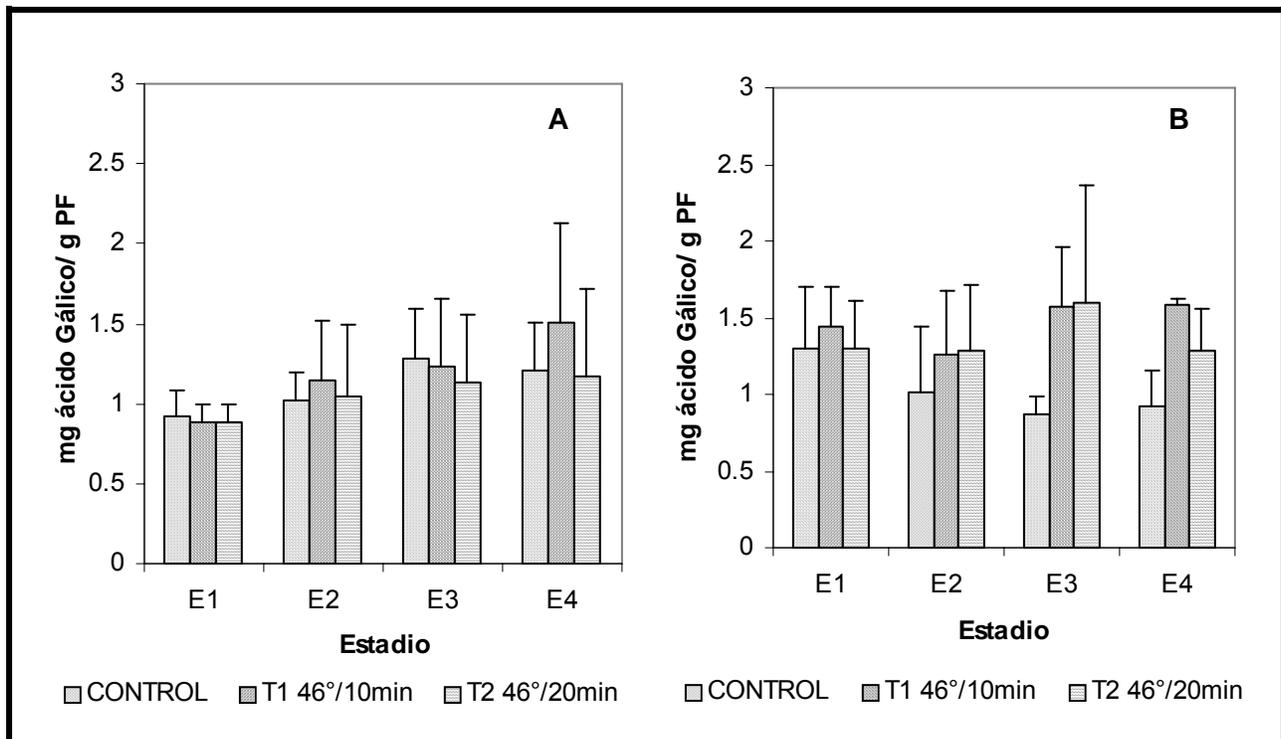
incrementa a medida que maduran los frutos, pero los sustratos fenólicos descienden en sus niveles concomitantemente (Ryugo, 1993).

En piel de mangos tratados térmicamente y almacenados a 5°C durante 25 días, al igual que los controles bajo las mismas condiciones, presentaron un considerable aumento y un comportamiento diferente en los valores de concentración de fenoles totales presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a lo largo de la maduración en relación a los mangos tratados térmicamente almacenados a 20°C (figura 39 B). Los frutos tratados a 46°C por 10 minutos presentaron un valor inicial de 180 mg ácido Gálico/ g PF valor muy cercano al control (5°C) en un 2% por debajo de este, en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) redujo su concentración en un 8.5% de la concentración inicial, que lo ubicó en un 7.5% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó valores un 20% por arriba del control (5°C) con 186 mg ácido Gálico/ g PF presentando una acumulación en la concentración, como en el control a 5°C y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) tomó su máximo valor alcanzando niveles de 214 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 29% por arriba del control (5°C). Sin embargo el T<sub>2</sub>, a pesar de haber presentado valores de concentración de fenoles totales menores al T<sub>1</sub> (5°C) a lo largo del proceso de maduración del fruto y a diferencia de los frutos control (5°C), mostró un tendencia progresiva en aumento desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), iniciando con valores de 154 mg ácido Gálico/ g PF ubicándose por debajo del control (5°C) en un 16%, en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó valores de 155 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 1% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó el valor de 167 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 8% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó su más alto valor con 170 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 2% por arriba del control (5°C). La tendencia al incremento de los compuestos fenólicos en ambas condiciones del tratamiento térmico (T1 y T2), con respecto al control (5°C), pudiera ser debido a una posible inactivación de las enzimas que se encargan de tomar a los compuestos fenólicos como sustrato para sus funciones metabólicas como la PPO y POD ya que éstas enzimas catalizan la oxidación de fenoles, los cuales producen cambios en la coloración del fruto (Cano *et al.*, 1990), como se ha encontrado en trabajos de Saltveit (2000) donde reportó que un corto shock de calor o un prolongado tratamiento térmico confiere tolerancia al frío en los tejidos vegetales. El efecto protector del corto estrés por calor puede ser la causa de la interrupción de esta alteración al proceso metabólico normal o la causa de la inhibición de la síntesis de enzimas relacionadas a la ruta nociva.

El contenido de fenoles totales en pulpa de mango variedad 'Keitt' mostró, al igual que en piel, diferencias entre las dos condiciones de almacenamiento (20°C y 5°C). Además, la concentración del

contenido de fenoles totales en pulpa fue de cien veces menor al contenido de fenoles totales encontrado en piel, en ambas condiciones de almacenamiento (figura 40).

Por consiguiente, en pulpa los mangos controles almacenados a 20°C presentaron valores iniciales de 0.91 mg ácido Gálico/ g PF en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), incrementando su concentración en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>), con 1.02 mg ácido Gálico/ g PF, y en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) donde alcanzó su valor máximo con 1.28 mg ácido Gálico/ g PF, y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) descendieron sus valores en un 6% hasta el valor de 1.20 mg ácido Gálico/ g PF, obteniendo solamente un incremento de la concentración de fenoles totales de un 32% desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) (figura 40 A).



**Figura 40.** Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de fenoles totales en pulpa de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y a (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

Sin embargo, el contenido de fenoles totales en pulpa de los mangos tratados térmicamente presentó diferencias con respecto a los controles a 20°C, presentando una tendencia a acumularse a lo largo del proceso de maduración del fruto y un comportamiento distinto para cada condición del tratamiento térmico como se observa en la figura 40 A. No se presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los frutos control (20°C) en la primera condición del tratamiento térmico (T<sub>1</sub>) iniciando con valores de 0.88 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 3% por debajo del control (20°C) en el

preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó el valor de 1.14 mg ácido Gálico/ g PF que lo coloco en un 12% por arriba del control (20°C) en el mismo punto, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) obtuvo valores de 1.22 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 4.5% por debajo del control (20°C) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) obtuvo su registro más alto alcanzando el valor de 1.51 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó en un 26% por arriba del control (20°C) en el mismo punto. En cambio, los frutos sometidos a la segunda condición del tratamiento térmico ( $T_2$ ) presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control en el contenido de fenoles, iniciando con valores de 0.88 mg ácido Gálico/ g PF que al igual que el  $T_1$  se ubicó en un 3% por debajo del control (20°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó el valor de 1.04 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 2% por arriba del control (20°C), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) se ubicó en un 12% por abajo del control (20°C) al tomar el valor de 1.13 mg ácido Gálico/ g PF y en el postclimaterio ( $E_4$ ) alcanzó su máximo registro con el valor de 1.17 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 2.5% por debajo del control (20°C), al final del almacenamiento se observó que los tratamientos térmicos afectaron los niveles de compuestos fenólicos en la pulpa del fruto.

Sin embargo, en los mangos almacenados a 5°C durante 25 días se modificó el contenido de fenoles totales incrementando mínimamente la concentración en pulpa de los frutos controles y tratados térmicamente, con respecto a los mangos almacenados a la temperatura de 20°C (figura 40 B). Encontrándose para el control a 5°C los valores de 1.29 mg ácido Gálico/ g PF situándolo en un 42% por arriba del control (20°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ) que además fue su más alto valor registrado, presentando a partir del inicio del climaterio ( $E_2$ ) un descenso en la concentración de fenoles totales que se prolongaría hasta el final de la maduración del fruto, tomando en este punto ( $E_2$ ) el valor de 1.01 mg ácido Gálico/ g PF que lo situó en un 1% por debajo del control (20°C), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) tomó su valor más bajo con 0.86 mg ácido Gálico/ g PF ubicándose en un 32% por debajo del control (20°C) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) tomó el valor de 0.92 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubico en un 23.5% por debajo del control (20°C) en el mismo punto. Youssef *et al.*, (2002) encontraron en pulpa de mangos 'Zebda' un significativo incremento de los compuestos fenólicos durante el periodo de almacenamiento a  $3 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Con respecto a los mangos tratados térmicamente estos tuvieron un comportamiento diferente, tanto entre ellos mismos como con el control (5°C) (figura 40 B). Por lo tanto, los frutos sometidos a la condición  $T_1$  inició con valores de 1.43 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó en un 11% por arriba del control (5°C), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) decrece la concentración al valor de 1.25 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó en un 24% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) incrementó nuevamente el valor de su concentración de fenoles totales a 1.57 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicó

en un 82.5% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó su máximo registro con el valor de 1.58 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 72% por arriba del control (5°C). Los frutos sometidos a la condición T<sub>2</sub> mostraron un comportamiento diferente tanto al control (5°C) como al T<sub>1</sub> tomando valores iniciales de 1.29 mg ácido Gálico/ g PF que fue el mismo registro del control (5°C) en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) redujo mínimamente la concentración a 1.28 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 27% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio aumentó nuevamente la concentración alcanzando su máximo registro con el valor de 1.6 mg ácido Gálico/ g PF que lo ubicaron en un 86% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) redujo nuevamente su concentración tomando el valor de 1.28 mg ácido Gálico/ g PF ubicándolo en un 39% por arriba del control (5°C). En trabajos de Youssef *et al.*, (2002) encontraron que durante el almacenamiento de mangos 'Zebda' tratados térmicamente con vapor caliente hubo un ligero incremento de los compuestos fenólicos en pulpa, resultados similares a los encontrados en el presente trabajo.

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) y máximo climaterio (E<sub>3</sub>) entre el control, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, respectivamente. Sin embargo, en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) no se presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre el control, T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> a 5°C.

### 5.7.2 Actividad de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD).

La mayor parte de los cambios químicos y bioquímicos que se producen en los tejidos vivos son provocados por las enzimas, siendo muy amplio el número de los sistemas enzimáticos que se han descubierto en los tejidos de las frutas y verduras (Pantastico, 1987).

La enzima Polifenol oxidasa (PPO) es una oxidoreductasa de gran importancia en los vegetales ya que está relacionada con el pardeamiento enzimático, también por su participación en otros procesos tales como la síntesis de lignina, en la oxidación del ácido indol acético (IAA) y su papel en aspectos fitopatológicos relacionado con resistencia a enfermedades (Guadarrama y Rivas, 1995).

La actividad de la Polifenol oxidasa (PPO) en piel de mangos controles almacenados a la temperatura de 20°C aumentó paulatinamente al transcurrir la maduración del fruto, sucediendo el mismo comportamiento para los mangos almacenados a 5°C, salvo que en estos últimos la actividad se incrementó casi al doble, desde el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), de la actividad

registrada a la temperatura de almacenamiento de 20°C (datos no mostrados). Un comportamiento similar se presentó en trabajos de Vela *et al.*, (2003) donde la actividad de PPO en mangos 'Manila' mantenidos a una temperatura de maduración de 25°C mostraron una reducida actividad enzimática, mostrando una mayor actividad de PPO en frutos almacenados a temperaturas de refrigeración, pero esta actividad fue más intensa cuando los frutos fueron madurados a temperatura ambiente. Este incremento de la actividad de PPO pudo haber sido porque desde que el fruto se transfiere a la temperatura de 20°C para su posterior maduración, presentó desde los primeros estadios de maduración indicios del daño por frío (DF) por el efecto de las bajas temperaturas que ocasionan entre otras cosas una pérdida de la permeabilidad de la membrana que origina que los sustratos fenólicos entren en contacto con las enzimas encargadas de oxidarlos como la PPO y POD. En trabajos de Vela *et al.*, (2003) reportaron que varios autores han encontrado que la exposición del fruto a estrés por frío a 6°C causa un rompimiento de la estructura celular, incrementando la solubilidad de la PPO y facilitando el contacto con los sustratos fenólicos. Por otra parte Wang (1982) reportó que los tilacoides de cloroplastos exhiben descompartimentación que pudiera liberar a la PPO, la cual pudiera interactuar con estos sustratos que son liberados al incrementar la permeabilidad y fuga de solutos de la membrana celular, y entonces destaca el pardeamiento.

Un efecto similar tuvo la actividad de PPO en pulpa que fue incrementándose a lo largo del proceso de maduración de los mangos controles a 20 °C y 5°C, respectivamente (datos no mostrados). Cabe mencionar que la actividad de PPO en pulpa fue mayor que la actividad registrada en piel en ambas temperaturas de almacenamiento.

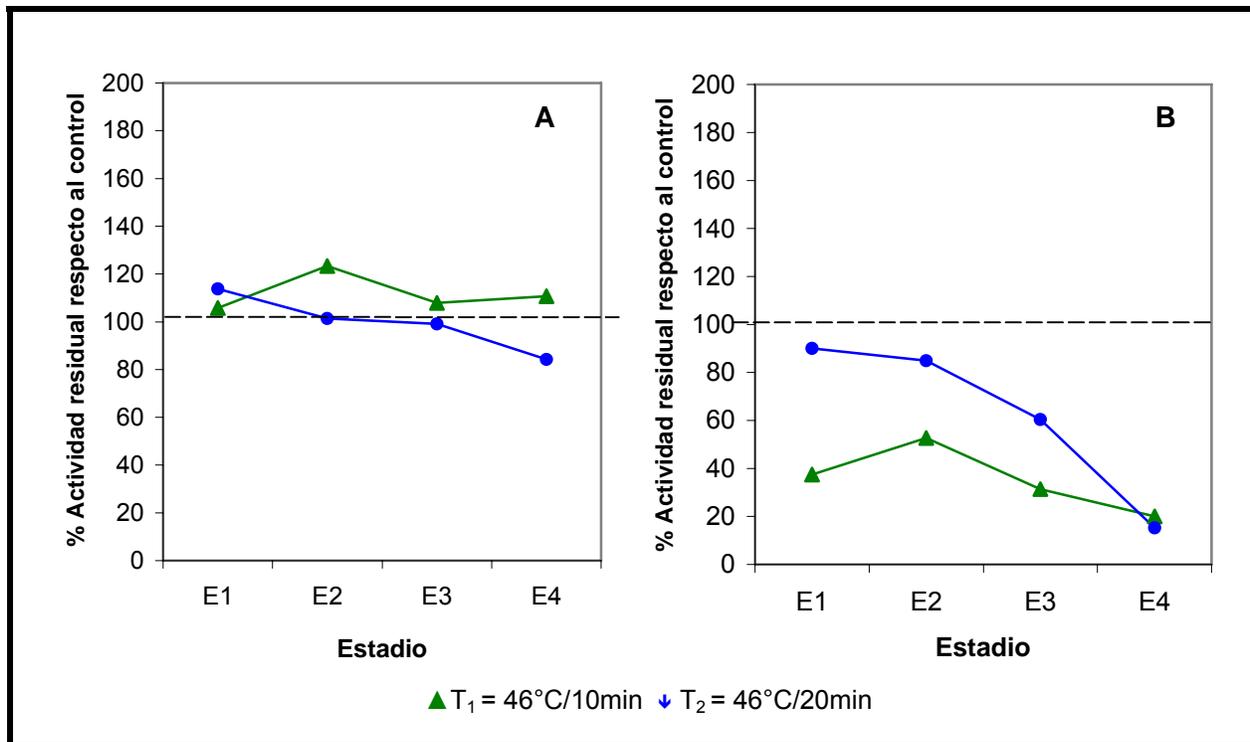
La Peroxidasa (POD), que es particularmente resistente a la inactivación por el calor, ha sido considerada como una causa probable de que las frutas y verduras congeladas pierdan su sapidéz durante el almacenamiento (Pantastico, 1987).

La actividad de Peroxidasa (POD) en piel de mangos controles almacenados a 20°C fue aumentando conforme maduró el fruto. A la temperatura de almacenamiento de 5°C la actividad de POD en piel de mangos controles fue muy similar al comportamiento presentado a 20°C, salvo que la actividad enzimática a 5°C duplicó los valores de POD con respecto a la actividad a 20°C desde el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) (datos no mostrados). Zauberman *et al.*, (1988) encontraron que a 20°C, con el avance de la maduración del mango 'Keitt', hubo algún incremento en la actividad de la peroxidasa. Toraskar y Modi (1984) encontraron que durante la maduración normal del plátano la actividad de la Peroxidasa se incrementó cuando el fruto maduró. Debido a que la Peroxidasa (POD) es una enzima relacionada a la membrana celular, y su solubilidad se ve afectada por condiciones a bajas temperaturas de los tejidos vegetales (Cano *et al.*, 1990), es posible que esto

haya contribuido al incremento de la actividad enzimática de POD a la temperatura de almacenamiento a 5°C. Zauberman *et al.*, (1988) mencionan que al transferir mangos 'Keitt' a una temperatura de 20°C, la actividad de peroxidasa alcanzó altos niveles en la piel de los frutos almacenados a 5°C que en los frutos madurados normalmente a 20°C.

En pulpa la actividad de POD a la temperatura de almacenamiento de 20°C se mantuvo con un mínimo aumento durante el transcurso de la maduración del fruto, en cambio a la temperatura de almacenamiento de 5°C la tendencia de la actividad de POD fue paulatinamente en aumento siendo de casi el doble desde el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) con respecto a la actividad presentada a 20°C (datos no mostrados).

Para evaluar el efecto de los tratamientos térmicos en las actividades enzimáticas de la PPO y POD, se determinó la actividad residual, la cual se expresa como el porcentaje de actividad de los frutos tratados con respecto a los frutos no tratados. En mangos tratados a 46°C por 10 minutos almacenados a 20°C, se presentó un incremento en la actividad de PPO en piel inmediato al tratamiento, que lo mantuvo por arriba del control a lo largo de la maduración del fruto, situándose desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) con un incremento en la actividad enzimática con respecto al control de un 6%, en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) presentó su máxima actividad que lo ubicó con un incremento de un 23%, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) descendió la actividad situándose en un 7% y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) presentó un incremento de un 11% en la actividad de PPO (figura 41 A). En cambio, los mangos tratados a 46°C por 20 minutos presentaron un comportamiento diferente a la primera condición del tratamiento térmico (T<sub>1</sub>), presentando un aumento de la actividad inmediato al tratamiento térmico y una tendencia a disminuir a lo largo del proceso de maduración del fruto (figura 41 A). En el postclimaterio (E<sub>4</sub>) presentó un 16% menos de actividad que el control, lo que indicó que hubo un mayor efecto del T<sub>2</sub> sobre la actividad de la PPO al inhibirla en mayor grado presentando una mayor velocidad de desactivación enzimática con la pérdida gradual de la PPO en el transcurso de la maduración del fruto, situación que no se presentó con el T<sub>1</sub> ya que este la mantuvo casi constante. La actividad de PPO significativamente decrece con el incremento del tiempo de exposición al tratamiento térmico por vapor caliente (Youssef *et al.*, 2002). En trabajos de Saby *et al.*, (2002) reportaron que cuando la piel de mangos 'Banganapalli' fue sometida a tres diferentes temperaturas (20, 60 y 95°C), observaron que tanto la actividad de PPO Y POD se fueron perdiendo conforme se incrementó la temperatura. Lo mismo que en trabajos de Guadarrama y Rivas (1995) que reportaron que la actividad de la PPO del ocumo a la temperatura de 50°C durante 50 minutos presentó estabilidad, en cambio a 75°C mostró una rápida pérdida de actividad de PPO, reflejando poca estabilidad al calor.

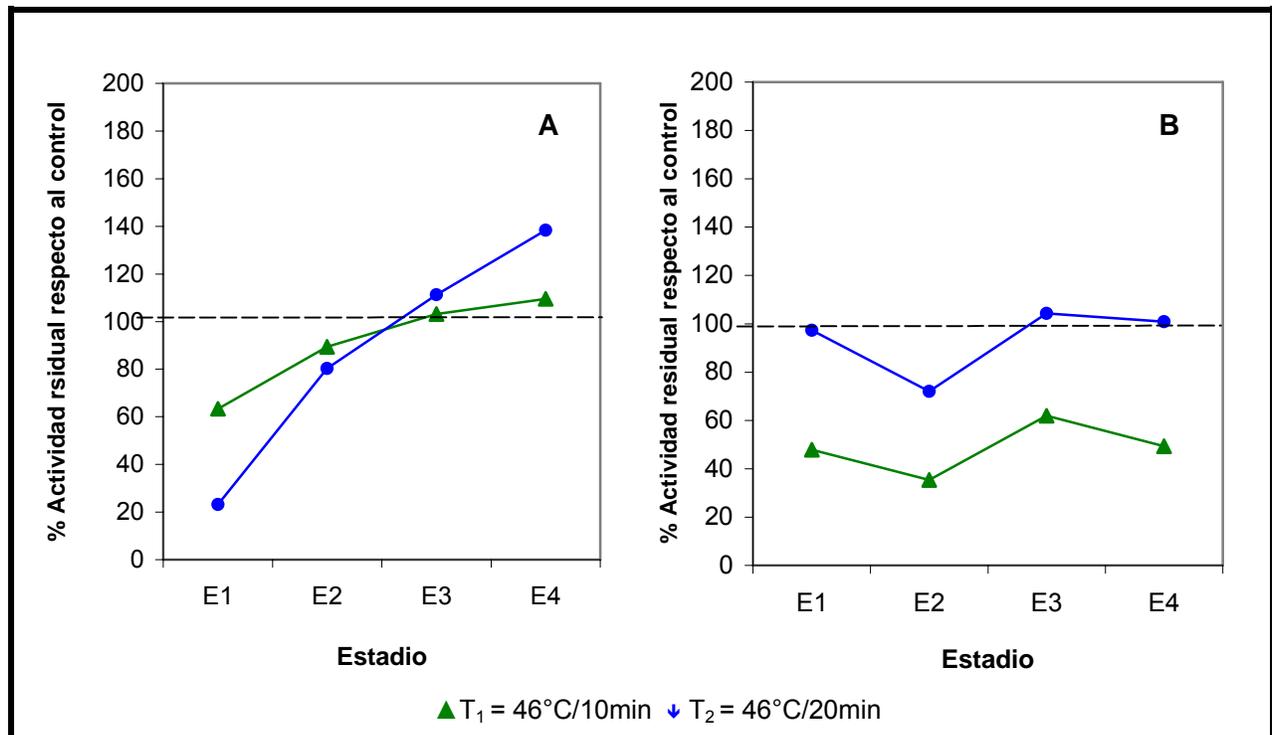


**Figura 41.** Actividad de Polifenol oxidasa (PPO) en piel de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

En cambio, a la temperatura de almacenamiento a 5°C las actividades residuales de PPO en piel de los mangos tratados térmicamente presentó un comportamiento diferente a los mangos almacenados a 20°C. en los mangos tratados térmicamente a 46°C por 10 minutos se presentó una inactivación parcial de PPO de un 63% inmediato al tratamiento, después se incrementó la actividad hasta alcanzar una recuperación parcial que lo ubicó en un 48% en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) y a partir de este punto desciende su actividad hasta alcanzar un 80% de pérdida de actividad de PPO en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) (figura 41 B). Un comportamiento similar presentó el T<sub>2</sub> iniciando con una pérdida de la actividad de PPO inmediato al tratamiento de un 10% y a diferencia del T<sub>1</sub> su tendencia fue continua hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) donde alcanzó una pérdida de actividad enzimática de un 85%, presentando una mayor velocidad de desactivación de PPO con respecto al T<sub>1</sub> a lo largo de los estadios de maduración, a pesar de iniciar, el T<sub>2</sub>, con una activación enzimática mayor al T<sub>1</sub> (figura 41 B), lo que demostró que el efecto que tienen los tratamientos térmicos sobre los síntomas por bajas temperaturas es en gran parte por la parcial inhibición enzimática, ya que al lograr una pérdida gradual de la actividad enzimática, los compuestos (fenólicos) que interactúan para producir los síntomas de daño por frío permanecen, en su mayoría, sin combinarse con las enzimas precursoras de los síntomas de daño por frío. Es conocido que en diversos frutos la PPO es sensible al calor. Se encontró en uvas 'Koshu' que la actividad enzimática incrementa con la temperatura de 15 a 25°C,

con una máxima actividad ocurrida a 25°C. Por encima de 45°C la actividad declina muy rápidamente mientras la temperatura se incrementa. En el rango de temperatura de 30 a 60°C la actividad residual decrece gradualmente, pero una rápida inactivación ocurre arriba de 60°C (Lydakís y Aked, 2003).

En pulpa de mangos tratados térmicamente al aplicar el tratamiento  $T_1$  se logró una inactivación parcial de un 37% de la actividad enzimática de PPO inmediato al tratamiento, misma que en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) presentó una recuperación la actividad enzimática ubicándose en un 11% por debajo de la actividad enzimática referente al control (20°C), recuperando progresivamente la actividad enzimática hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) donde presentó un incremento de la actividad de PPO de un 10% con respecto al control (20°C) (figura 42 A).

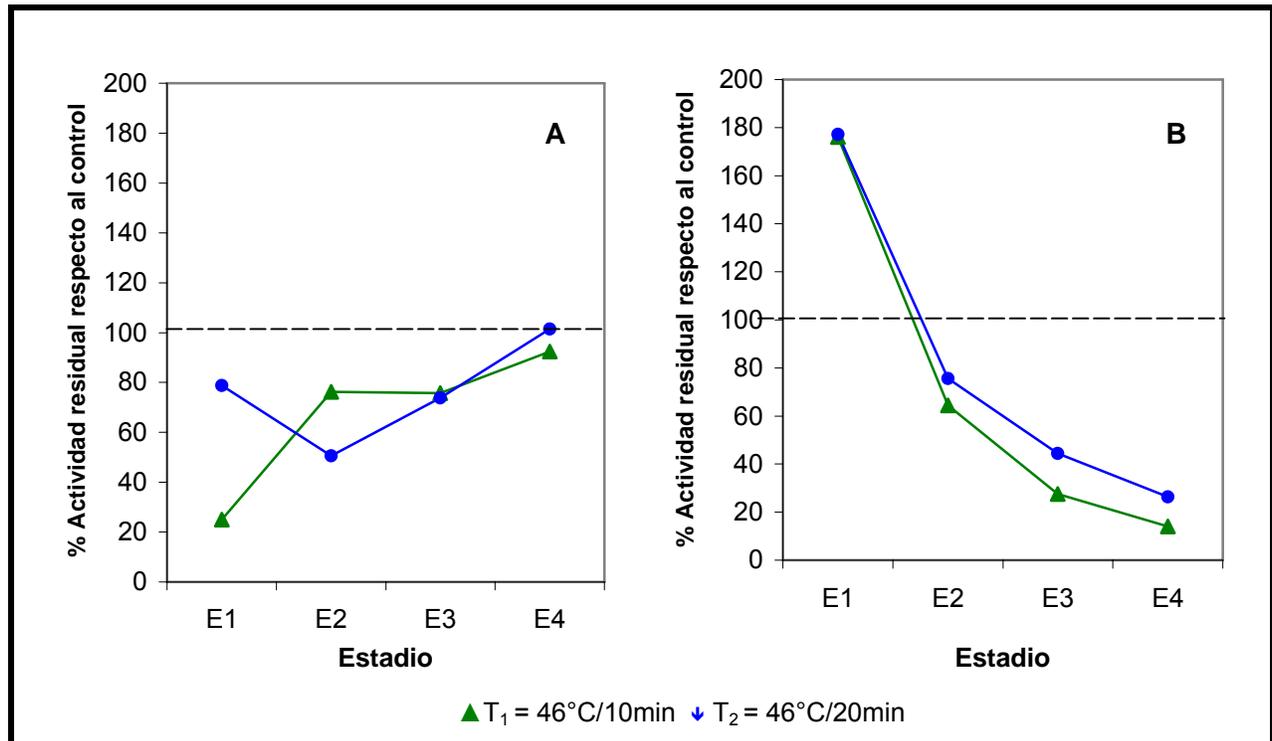


**Figura 42.** Actividad de Polifenol oxidasa (PPO) en pulpa de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración.  $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio)

Los frutos sometidos al tratamiento  $T_2$  mostraron la misma tendencia del  $T_1$ , pero con una mayor velocidad de recuperación, al iniciar con una pérdida de actividad enzimática de un 77% en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) logró una recuperación parcial cercana al 60%, al encontrarse con un 20% de desactivación con respecto al control (20°C), ya que en el mismo punto el  $T_1$  solo logró incrementar la actividad enzimática en un 25%, y esta tendencia positiva que presentó el

$T_2$  en los primeros estadios la prolongaría hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) donde presentó un incremento de la actividad PPO de casi un 40% de la que presentó el control en el mismo punto (figura 42 A).

Sin embargo, a la temperatura de almacenamiento a  $5^\circ\text{C}$  los mangos tratados térmicamente presentaron comportamientos diferentes a los presentados a la temperatura de almacenamiento a  $20^\circ\text{C}$ . los frutos tratados por  $46^\circ\text{C}$  por 10 minutos mostraron una desactivación enzimática de más del 50% con respecto al control ( $5^\circ\text{C}$ ) a lo largo de la maduración del fruto (figura 42 B). En cambio, la actividad de PPO de los frutos tratados por  $46^\circ\text{C}$  por 20 minutos no presentó ningún efecto inmediato al tratamiento y en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) se redujo más la velocidad de activación al presentar una disminución de PPO de un 28%, pero en los siguientes estadios ( $E_3$  y  $E_4$ ) se observó una recuperación de la actividad enzimática llegando a valores similares al control (figura 42 B).



**Figura 43.** Actividad de Peroxidasa (POD) en piel de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a: (A)  $20^\circ\text{C}$  y (B)  $5^\circ\text{C}$  por 25 días y transferidos a  $20^\circ\text{C}$  para su maduración.  $E_1$  (preclimaterio),  $E_2$  (inicio del climaterio),  $E_3$  (máximo climaterio) y  $E_4$  (postclimaterio)

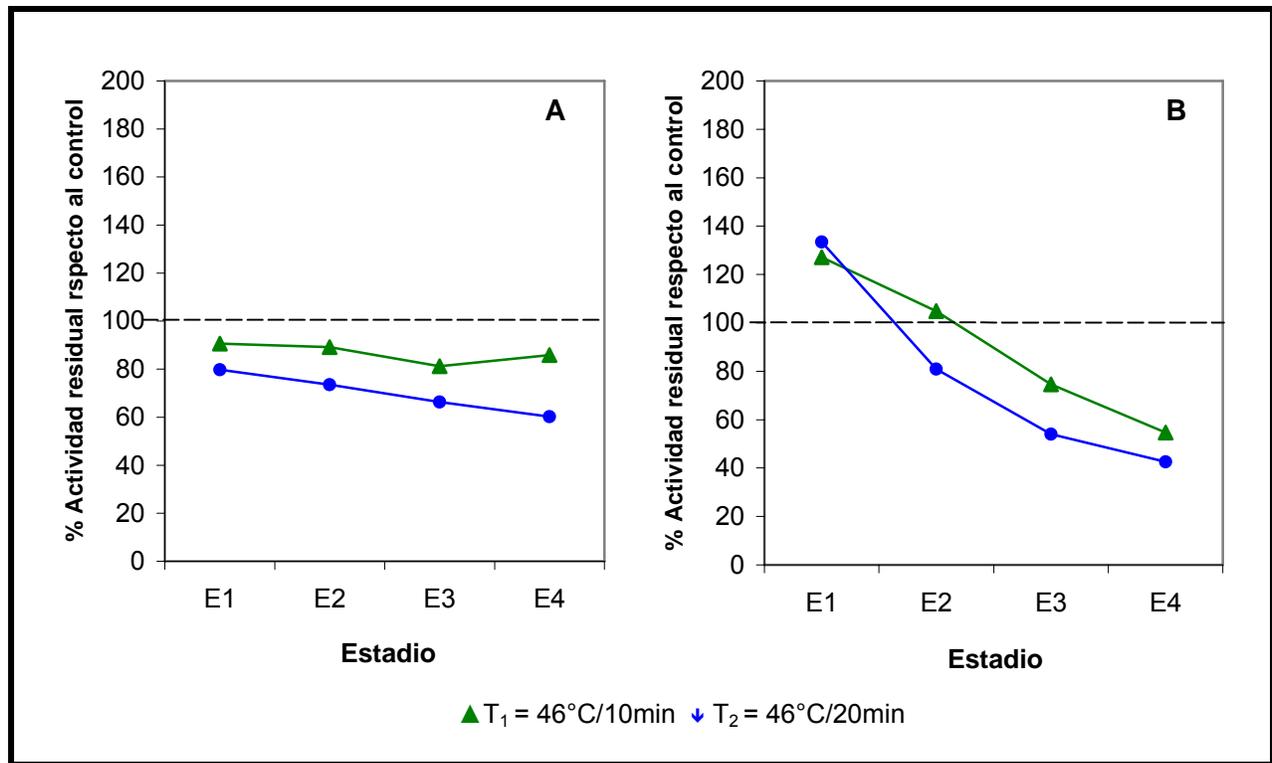
Con respecto a los mangos tratados térmicamente (figura 43 A), la actividad de POD en piel presentó una desactivación parcial del 75% para la condición de  $46^\circ\text{C}$  por 10 minutos en el preclimaterio ( $E_1$ ), mientras que la segunda condición,  $46^\circ\text{C}$  por 20 minutos, presentó también una inactivación parcial del 21% en el mismo estadio ( $E_1$ ), sin embargo en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) la actividad enzimática para el  $T_1$  se recuperó hasta ubicarse en un 24%, en tanto el  $T_2$  incrementó la inactivación de POD

hasta encontrarse en casi un 50%, y en los siguientes estadios ( $E_3$  y  $E_4$ ) en ambos tratamientos se logró una recuperación de la actividad de POD, situándose el  $T_1$  en un 8% por debajo de la actividad enzimática del control y el  $T_2$  incrementó la actividad en un 2% con respecto al control (20°C).

En cambio, en piel de mangos tratados térmicamente a la temperatura de almacenamiento de 5°C, ambas condiciones ( $T_1$  y  $T_2$ ) mostraron una tendencia muy similar, presentando una pérdida gradual de la actividad enzimática a lo largo del proceso de maduración del fruto, iniciando con un incremento de la actividad de POD del 77% en ambas condiciones con respecto al control en el preclimaterio ( $E_1$ ), y a partir de este punto iniciaron una pérdida en la actividad enzimática, para el caso del  $T_1$  fue de casi el 90%, en tanto que el  $T_2$  presentó una pérdida de POD de casi el 75% en el postclimaterio ( $E_4$ ), respectivamente (figura 43 B). Lo anterior sugiere que la pérdida gradual de la actividad de POD en la piel del mango es una respuesta al efecto que tuvieron los tratamientos térmicos sobre el fruto, ya que al reducir la actividad enzimática se logró minimizar los efectos de las bajas temperaturas (5°C), principalmente el pardeamiento enzimático producido por la combinación de la POD y los compuestos fenólicos que le sirven de sustrato.

En pulpa los mangos tratados térmicamente a la temperatura de almacenamiento de 20°C presentaron una mínima disminución en la actividad de POD con una ligera diferencia entre uno y otro estadio ya que se mantuvo casi constante a lo largo del proceso de maduración del fruto. Ambas condiciones del tratamiento térmico ( $T_1$  y  $T_2$ ) presentaron en el preclimaterio ( $E_1$ ) una pérdida inicial de la actividad enzimática de un 10% para el  $T_1$  y de un 20% para el  $T_2$ , y en el postclimaterio ( $E_4$ ) el  $T_1$  tuvo una pérdida de la actividad de POD de un 14%, en tanto que el  $T_2$  presentó una pérdida de un 40% en el mismo punto (figura 44 A).

En cambio, a la temperatura de almacenamiento de 5°C los mangos tratados térmicamente presentaron un comportamiento diferente a los mangos almacenados a 20°C, presentando una mayoría de pérdida de la actividad de POD en pulpa como se observa en la figura 44 B. El  $T_1$  presentó en el preclimaterio ( $E_1$ ) un incremento en la actividad enzimática con respecto al control (5°C) de un 27%, mientras que en el  $T_2$  fue de un 33%, en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) descienden las actividades enzimáticas de ambos tratamientos, presentando el  $T_1$  un incremento de un 5% y el  $T_2$  tuvo una pérdida de la actividad POD de un 20% con respecto al control (5°C), esta reducción gradual de las actividades enzimáticas se manifestó hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) donde el  $T_1$  obtuvo una pérdida de casi el 50%, mientras que en el  $T_2$  fue de casi el 60% con respecto al control (5°C).



**Figura 44.** Actividad de Peroxidasa (POD) en pulpa de mangos tratados térmicamente variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

### 5.8 Relación de la actividad enzimática, el contenido de compuestos fenólicos e índice de daños por frío en mangos tratados térmicamente.

La actividad enzimática de PPO y POD varía de acuerdo a la duración del tratamiento térmico (46°C por 10 y 20 minutos) y por el almacenamiento a bajas temperaturas (5°C). Además, se pudo observar que el índice de daños por frío (IDF) también varía por el efecto de la aplicación de los tratamientos térmicos, cuando los frutos son expuestos a las bajas temperaturas. Por esta razón se puede decir que existe una relación entre las actividades enzimáticas de PPO y POD con los IDF, porque a medida que una disminuye (PPO Y POD) la otra (IDF) también disminuye. Se estableció una correlación entre ambas para determinar en que medida dependían las actividades enzimáticas con los síntomas de daño por frío.

En la piel de los mangos almacenados a 5°C se encontró una correlación entre la PPO y el IDF para el T<sub>1</sub> de  $r = -0.659$ , en cambio, la correlación entre la POD y el IDF fue de  $r = -0.947$  indicando que el tratamiento térmico no fue lo suficientemente eficaz para disminuir la actividad enzimática de la PPO, pero sí tuvo un efecto sobre la inhibición de la POD, lo que demostró que la presencia del IDF para

esta condición ( $T_1$ ) estuvo regida por la actividad de PPO. En cambio, la correlación entre la actividad enzimática y el IDF para el  $T_2$  fue para PPO de  $r = -0.964$  y para POD de  $r = -0.897$ , lo que demostró que el grado de la inhibición enzimática esta estrechamente ligada a la disminución de los síntomas de daño por frío.

Debido a que el pardeamiento enzimático aparece cuando los compuestos fenólicos interactúan con las oxidoreductasas (PPO y POD), se establecieron correlaciones entre la actividad enzimática (PPO y POD) y el contenido de fenoles totales para determinar en que medida se presentó el pardeamiento.

En piel la correlación entre la actividad enzimática (PPO y POD) y el contenido de fenoles totales en los mangos almacenados a  $5^\circ\text{C}$  para el  $T_1$  fue de  $r = -0.962$  para PPO y de  $r = -0.459$  para POD, lo que indicó que la actividad de PPO estuvo más estrechamente ligada al contenido de fenoles totales que la actividad de POD. En cambio, el  $T_2$  presentó correlaciones de  $r = -0.899$  para PPO y de  $r = -0.820$  para POD indicando que la inhibición enzimática por el tratamiento térmico a  $46^\circ\text{C}$  por 20 minutos ( $T_2$ ) repercute en la disminución de la actividad de PPO y POD, y como consecuencia los compuestos fenólicos al no ser oxidados se incrementan.

En pulpa se encontró una correlación entre la actividad enzimática (PPO y POD) y el contenido de fenoles totales para el  $T_1$  de  $r = 0.862$  para PPO y de  $r = -0.676$  para POD, lo que indicó que el contenido fenólico solo tiene relación con la actividad enzimática de PPO. En cambio para el  $T_2$  la correlación fue de  $r = 0.503$  para PPO y de  $r = -0.367$  para POD lo que indicó que no hubo correlación entre el contenido de fenoles totales y la actividad enzimática, ya que el incremento de la actividad enzimática de PPO y la inhibición de la POD no se debieron a la interacción con los compuestos fenólicos.

### **5.9 Efecto de las bajas temperaturas de almacenamiento en el contenido de pigmentos del mango variedad 'Keitt'.**

Los cambios de color en los frutos es uno de los aspectos más evidentes en el proceso de maduración (Mayorca, 1971) y están asociados generalmente con una disminución del contenido de clorofila y a la síntesis de carotenoides o antocianos, o ambos (Madlicott, 1986; Leopold, 1966).

Los pigmentos fotosintéticos, clorofilas y carotenoides, son los únicos que tienen la capacidad de absorber la energía de la luz solar y hacerla disponible para el aparato fotosintético. Debido a que un pigmento es cualquier sustancia que absorbe luz y presenta un color, la clorofila como tal es el

pigmento verde de las plantas que utiliza la energía del sol en la fotosíntesis. La clorofila en las plantas desempeña funciones metabólicas tales como la respiración y el crecimiento (Hernández-Ríos *et al.*, 2000).

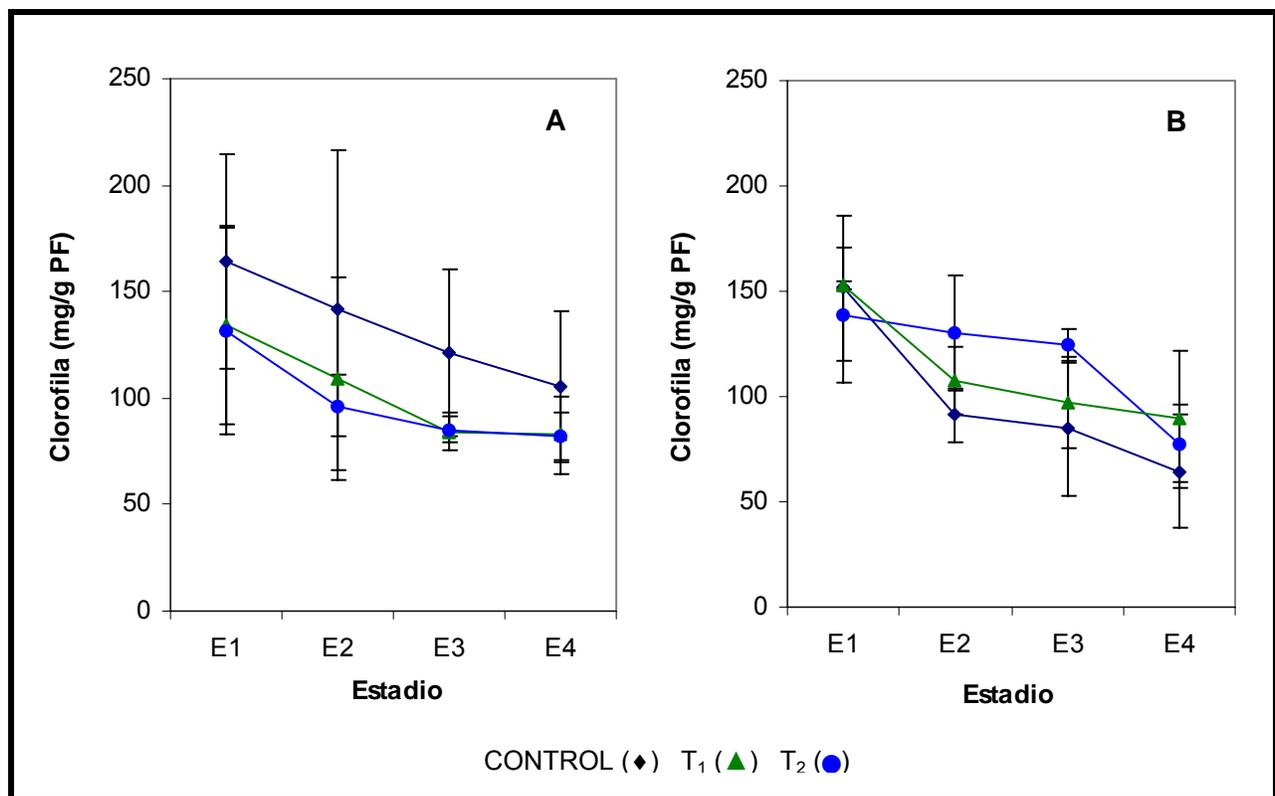
En el mango variedad 'Keitt' predominan las tonalidades verdes, verdes-amarillas y muy poco las tonalidades naranjas o rojas, además tiene una ligera opacidad que va perdiendo conforme el fruto madura.

### 5.9.1 Clorofila.

El contenido de clorofila para los mangos controles almacenados a 20°C presentó una disminución gradual a lo largo del proceso de maduración del fruto, iniciando con valores de 164.4 mg/g PF en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), y en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) el contenido de clorofila disminuyó de su concentración inicial en un 14% tomando valores de 141.3 mg/g PF, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó valores de 121.4 mg/g PF disminuyendo en un 26% su concentración inicial y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó valores de 105.5 mg/g PF lo que representó una disminución total de un 36% de la concentración inicial de clorofila (figura 45 A). Se tiene conocimiento que la pérdida de clorofila en la piel de los frutos está relacionada con la destrucción de los cloroplastos y/o a la activación de la clorofilasa, que es asociado al efecto que produce el etileno, causando la ruptura de la membrana interna de los cloroplastos e induciendo el incremento de la actividad de la clorofilasa (Purvis, 1980).

El almacenamiento prolongado a bajas temperaturas trae repercusiones en los aparatos fotosintéticos porque no se tiene el contacto directo con la fuente luminosa que se requiere para que se lleve a cabo el adecuado proceso fotosintético (Lichtenthaler *et al.*, 1981). Como es el caso de la clorofila que presentó un comportamiento diferente para cada condición a la que se sometió previo al almacenamiento a 5°C, como se puede apreciar en la figura 45, donde se observa que para los frutos control almacenados a 5°C hubo un desajuste en su comportamiento ya que no siguió la misma tendencia a los frutos almacenados a 20°C, a pesar de iniciar con valores similares el comportamiento fue totalmente diferente. El control a 5°C inició con valores de concentración de clorofila de 151.6 mg/g PF ubicándose en un 8% por abajo del control a 20°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), y en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) sufrió una considerable pérdida de la concentración de clorofila al disminuir en un 40% de la concentración inicial tomando valores de 91.4 mg/g PF ubicándose en un 35.5% por debajo del control a 20°C, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) hubo un descenso en los valores tomando el registro de 85.1 mg/g PF que lo ubicó en un 30% por debajo del control a 20°C y la

concentración de clorofila se redujo en un 44%, en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) se ubicó en un 39% por debajo del control a 20°C al tomar el valor de 64.3 mg/g PF, lo que generó un descenso de la concentración de clorofila de un 57.5% que fue mayor al registrado a 20°C (36%) en un 21.5% más, lo que indica que la disminución de la concentración de clorofila para los mangos almacenados a bajas temperaturas ofrece una mayor pérdida de clorofila que aquellos que son almacenados a temperaturas mas elevadas, como se puede corroborar en los trabajos de Lichtenthaler *et al.*, (1981) donde mencionan que la degradación de la clorofila ocurre durante el almacenamiento a 4°C. La clorofila 'a' es más sensible que la clorofila 'b'. Además el contenido de clorofila 'b' es mayor cuando el fruto se somete a almacenamientos prolongados en ausencia de una fuente luminosa.



**Figura 45.** Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de clorofila en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

En los mangos tratados térmicamente en las condiciones de 46°C por 10 minutos (T<sub>1</sub>) y 20 minutos (T<sub>2</sub>), y almacenados a 20°C para su maduración, la pérdida de clorofila presentó una tendencia parecida al control (20°C), pero con valores mucho más bajos, como se aprecia en la figura 45 A, esto puede ser explicado debido al efecto del tratamiento térmico en los primeros estadios, ya que el vapor caliente provocó una ligera desverdización del producto, pues la temperatura y la duración del tratamiento térmico provocó un impacto en el contenido del pigmento, según la especie (Paull y Chen,

2000), presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a lo largo de los estadios de maduración del fruto con respecto al control. Para el  $T_1$  la pérdida total de clorofila fue de un 38.5% desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_2$ ), iniciando con valores de 134.4 mg/g PF para ubicarse en un 18.5% por debajo del control (20°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de 109.3 mg/g PF que lo ubicaron en un 22.5% por debajo del control (20°C) en el mismo estadio ( $E_2$ ) y con una pérdida del 18.5% de su concentración inicial de clorofila, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) tomó valores de 84.1 mg/g PF que lo ubicó en un 30.5% por debajo del control (20°C) en el mismo estadio ( $E_3$ ) y con un 37.5% de pérdida de su concentración inicial y en el postclimaterio ( $E_4$ ) mantuvo sus valores con una mínima pérdida al registrar 82.6 mg/g PF para ubicarlo en un 22% por debajo del control (20°C) en el mismo estadio ( $E_4$ ) y la pérdida de la concentración total de clorofila fue de un 38.5%. El  $T_2$  presentó desde el preclimaterio ( $E_1$ ) hasta el postclimaterio ( $E_4$ ) una pérdida total de clorofila de un 37.5%, que lo mantuvo en un 1% por debajo al  $T_1$  y en un 1.5% por debajo al control (20°C), iniciando con valores de 131.4 mg/g PF que lo ubicaron en un 20% por debajo del control (20°C) en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de 96.4 mg/g PF que lo ubicaron en un 31.5% por debajo del control (20°C) en el mismo estadio ( $E_2$ ) y en un 26.5% de pérdida de su concentración inicial, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) se presentaron valores de clorofila alrededor de 85.2 mg/g PF que lo ubicaron en un 30% por debajo del control en el mismo estadio ( $E_3$ ) y con un 35% de pérdida de la concentración de clorofila y en el postclimaterio ( $E_4$ ) tomó valores de 82.1 mg/g PF que lo ubicaron en un 22% por debajo del control (20°C) en el mismo estadio ( $E_4$ ). Lo anterior indica que en los frutos sometidos a tratamientos térmicos de 46°C por 20 minutos la degradación de clorofila fue más lenta posiblemente debido a una inactivación parcial de las enzimas clorofilasas, ya que los tratamientos físicos aplicados a los frutos pudieron alterar parcialmente los sistemas enzimáticos o la inhibición de sus actividades, causando cambios en el perfil del pigmento (García *et al.*, 2001).

En cambio los mangos tratados térmicamente ( $T_1$  y  $T_2$ ) almacenados a 5°C y posteriormente trasladados a una temperatura de 20°C para su maduración, presentaron un comportamiento diferente al control a 5°C como se aprecia en la figura 45 B. El  $T_1$  mostró un tendencia similar al control (5°C) a largo del proceso de maduración con valores iniciales de 153 mg/g PF ubicándose en un 1% por arriba del control (5°C) y en un 7% por abajo del control a 20°C, después descendió en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) hasta el valor de 107.5 mg/g PF donde se ubicó en un 17.5% por arriba del control (5°C) y en un 24% por abajo del control a 20°C, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) reduce su valor donde tomó valores de 97.3 mg/g PF que lo ubicaron en un 14.5% por arriba del control a 5°C y en un 20% por debajo del control (5°C), y en el máximo climaterio ( $E_4$ ) descendió nuevamente sus valores

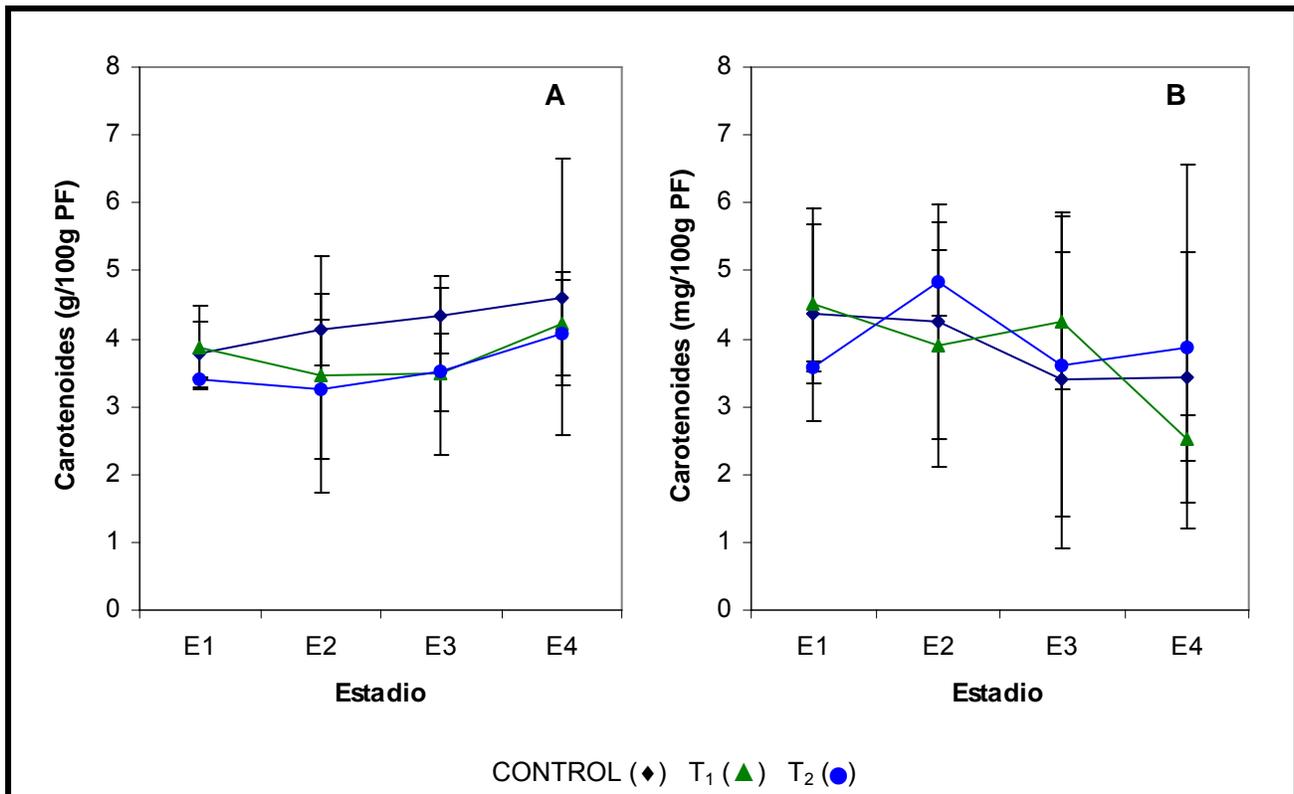
hasta 89.2 mg/g PF el cual lo ubicó en un 5% por encima del control (5°C) y en un 15.5% por debajo del control a 20°C. Sin embargo, el T<sub>2</sub> mantuvo un comportamiento diferente al control (5°C) tomando valores iniciales de 139 mg/g PF el cual lo situó en un 8.5% por debajo del control (5°C) y en un 15.5% por debajo del control a 20°C, en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó valores de 130.1 mg/g PF que lo ubicaron en un 42.5% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó valores de 124.4 mg/g PF que lo ubicó en un 46.5% por arriba del control a 5°C y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) presentó la mayor pérdida de la concentración de clorofila de casi el 40%, con respecto al estadio anterior (E<sub>3</sub>), al tomar el valor de 77.8 mg/g PF que, no obstante, lo ubicó en un 21% por arriba del control (5°C). Por lo tanto se observó un efecto significativo por la temperatura de almacenamiento en el contenido de clorofila. Al final del almacenamiento no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los frutos tratados y los no tratados. Por consiguiente los tratamientos térmicos aplicados a los mangos incrementan la degradación de clorofila que es inhibida por el efecto de las bajas temperaturas de almacenamiento, siendo la segunda condición del tratamiento térmico (T<sub>2</sub>) la que presentó efecto positivo sobre la degradación de clorofila de los mangos almacenados a 5°C.

### 5.9.2 Carotenoides.

Otro de los pigmentos importantes en el mango son los carotenoides, compuestos relacionados con las coloraciones rojas, naranjas y amarillas (Lupenna, 2001; González, 2002). El contenido de carotenoides en piel de mangos controles a la temperatura de almacenamiento de 20°C mostró un comportamiento en ascenso como se muestra en la figura 46 A, iniciando con un contenido de carotenoides de 3.8 mg/100g PF en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) ascendió al valor de 4.1 mg/100g PF, generando un aumento de un 8% de la concentración de carotenoides, durante el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) se presentó un aumento de la concentración de un 7% tomando valores de 4.4 mg/100g PF y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) la concentración total de carotenoides tuvo un aumento de un 21%, donde alcanzó valores de 4.6 mg/100g PF. El aumento de carotenoides coincidió con la pérdida de clorofila al pasar los frutos del preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), esto también se puede apreciar en estudios realizados por Guadarrama (1983).

El contenido de carotenoides en piel de mangos controles a 5°C presentó un comportamiento inverso al mostrado en los mangos almacenados a 20°C como se puede observar en la figura 46 B, donde el control (5°C) inició con valores de 5.3 mg/100g PF en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó valores de 3.0 mg/100g PF que fue su valor más bajo, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó valores de 3.4 mg/100g PF y se mantiene casi constante durante el postclimaterio (E<sub>4</sub>). La

disminución de la concentración de carotenoides en los frutos control a 5°C fue de un 35%. Esto indica que se presentó un efecto por la temperatura de almacenamiento, lo cual inhibió la síntesis de carotenoides a 5°C. Goodwin 1954 reportó que el contenido de carotenoides fue muy bajo en mangos variedad 'Alphonso' almacenados a 10°C.



**Figura 46.** Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de carotenoides en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

En cambio, los frutos sometidos a los tratamientos térmicos (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) y almacenados a 20°C presentaron un comportamiento diferente al mostrar una tendencia positiva a partir del tercer estadio (E<sub>3</sub>) (figura 46 A). Por lo tanto, el T<sub>1</sub> inició con valores de concentración de carotenoides de 3.9 mg/100g PF que fueron un 2.5% mayores al control en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) presentó una disminución de un 10.5% de la concentración inicial al tomar valores de 3.5 mg/100g PF que lo ubicó en un 14.5% por debajo del control en el mismo estadio (E<sub>2</sub>), en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) mantuvo sus valores con 3.5 mg/100g PF ubicándose en un 20.5% por debajo del control y en el máximo climaterio (E<sub>4</sub>) repuntó sus registros al alcanzar valores de 4.2 mg/100g PF que lo ubicaron en un 8.5% por abajo del control y con un incremento total del 7.5% en la concentración inicial de carotenoides, no presentando diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en el primer (E<sub>1</sub>), segundo (E<sub>2</sub>) y último (E<sub>4</sub>) estadio de maduración con respecto al control a 20°C. En tanto, el T<sub>2</sub>

presentó valores iniciales de carotenoides de 3.4 mg/100g PF que lo ubicaron en un 10.5% por debajo del control en el preclimaterio ( $E_1$ ), en tanto en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) presentó una disminución, al igual que el  $T_1$ , en el contenido de carotenoides al tomar valores de 3.2 mg/100g PF que lo ubicaron a un 22% por debajo del control y en un 6% de pérdida de la concentración inicial de carotenoides, sin embargo en el máximo climaterio ( $E_3$ ) incrementó sus registros tomando valores de 3.5 mg/100g PF que lo ubicaron a un 20.5% por debajo del control y con un incremento de un 3% en la concentración inicial de carotenoides, y en el postclimaterio ( $E_4$ ) alcanzó su máximo valor con 4.1 mg/100g PF que lo ubicó en un 11% por abajo del control y con un incremento total del 20.5% de la concentración inicial de carotenoides, no presentando diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en el primer ( $E_1$ ) y segundo ( $E_2$ ) estadio, en cambio presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el tercer estadio ( $E_3$ ) y último ( $E_4$ ) estadio de maduración, respectivamente.

Entre tanto, los mangos tratados térmicamente ( $T_1$  y  $T_2$ ) almacenados a 5°C y trasferidos a 20°C para su maduración, presentaron un comportamiento y tendencia diferentes al control (5°C) (figura 46 B). Con respecto al  $T_1$ , éste presentó una tendencia discontinua a lo largo del proceso de maduración del fruto tomando en el preclimaterio ( $E_1$ ) el valor de 4.5 mg/100g PF ubicándose en un 15% por debajo del control (5°C), después en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) descendió su valor llegando a 3.9 mg/100g PF para ubicarse en un 29% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) aumentó su valor al registrar 4.3 mg/100g PF que lo ubicaron en un 46.5% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) redujo nuevamente su valor hasta 2.5 mg/100g PF que lo ubicaron en un 26.5% por debajo del control (5°C). En cambio, el  $T_2$  mostró un comportamiento diferente al  $T_1$ , iniciando con valores de 3.6 mg/100g PF que lo ubicaron en un 32.5% por abajo del control (5°C), en el preclimaterio ( $E_1$ ), incrementando su valor en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) con un registro de 4.8 mg/100g PF para ubicarlo en un 11.5% por arriba del control (5°C, en el máximo climaterio ( $E_3$ ) redujo su concentración de carotenoides a 3.6 mg/100g PF que lo ubico en un 6% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) incrementó nuevamente su valor hasta 3.9 mg/100g PF que lo ubicaron en un 15% por arriba del control (5°C). Los frutos sometidos a la condición  $T_2$  mostró con respecto al control a 5°C una tendencia similar a partir del segundo estadio ( $E_2$ ) de maduración del fruto. No se presentaron diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre el control (20°C) y el  $T_1$  durante los tres primeros estadios ( $E_1$ ,  $E_2$  y  $E_3$ ), presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) hasta el último estadio ( $E_4$ ) de maduración del fruto. En cambio el  $T_2$  no presentó diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en los primero estadios ( $E_1$  y  $E_2$ ), presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los dos último estadios ( $E_3$  y  $E_4$ ) de maduración del fruto. A pesar de que la segunda condición del tratamiento térmico ( $T_2$ ) tuvo diferencias significativas en los últimos estadios de maduración del fruto minimizan

la pérdida de la concentración de carotenoides beneficiando con esto al fruto, a diferencia de la pérdida que presentó el control a 5°C, en la obtención de una mayor concentración de carotenoides en los estadios (E<sub>3</sub> y E<sub>4</sub>) donde la apariencia física, principalmente el color, es un factor importante que afecta la aceptación del fruto ante el consumidor.

Un comportamiento diferente del contenido de carotenoides se presentó en la pulpa del mango, en la cual una de sus características visuales es que predominan las coloraciones claras y amarillas y por consiguiente los carotenoides son más evidentes al ofrecer esa pigmentación amarilla a la pulpa del fruto durante el proceso de maduración.

Por consiguiente, tanto el control como en los frutos sometidos a los tratamientos térmicos (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) mostraron un comportamiento similar y una tendencia en aumentó conforme maduro el fruto, como se observa en la figura 47 A, donde el control mostró un incremento total de un 110.5% desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>) iniciando con valores de 0.19 mg/100g PF en el preclimaterio (E<sub>1</sub>) y con valores finales de 0.40 mg/100g PF en el postclimaterio (E<sub>4</sub>), lo que refleja, que a pesar de ser menor el contenido de carotenoides en la pulpa que en piel, la superioridad de la pigmentación amarilla en la pulpa esta regida por el incremento de la concentración de carotenoides.

En lo que refiere a los mangos tratados térmicamente (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>), el T<sub>1</sub> mostró un incremento de la concentración de carotenoides de un 84% desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), situándose con una diferencia de un 26.5% por debajo del control (20°C), iniciando con valores similares al control (20°C) con 0.19 mg/100g PF para el preclimaterio (E<sub>1</sub>) y de 0.35 mg/100g PF para el postclimaterio (E<sub>4</sub>) presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al control (20°C) solamente en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>). En tanto, el T<sub>2</sub> mostró un incremento total de la concentración de carotenoides de un 123.5% desde el preclimaterio (E<sub>1</sub>) hasta el postclimaterio (E<sub>4</sub>), situándose con una diferencia de un 13% por arriba del control, tomando valores iniciales de 0.17 mg/100g PF para el preclimaterio (E<sub>1</sub>) y de 0.38 mg/100g PF para el postclimaterio (E<sub>4</sub>) no presentando diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) con respecto al control (20°C) durante la maduración del fruto.

Con respecto a los carotenoides contenidos en pulpa de mangos controles almacenados a 5°C se obtuvo una tendencia y un comportamiento similar al control a 20°C como se puede apreciar en la figura 47 B, donde inició con valores de 0.26 mg/100g PF que resultaron ser un 37% mayores al control a 20°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) incrementó su valor a

0.34 mg/100g PF siendo un 3% mayor al control a 20°C, pero en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) al tomar el valor de 0.37 mg/100g PF se ubicó en un 7.5% por debajo del control a 20°C y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó su mayor registro al tomar el valor de 0.43 mg/100g PF que lo ubicó en un 7.5% por arriba del control a 20°C. El control a 20°C tuvo un incremento de la concentración de carotenoides de un 110.5% desde el inicio (E<sub>1</sub>) hasta el final de la maduración del fruto (E<sub>4</sub>), mientras que el control a 5°C tuvo un incremento de un 65% en el mismo rango de tiempo. Lo que significó que la síntesis de carotenoides se afectó por el efecto de las bajas temperaturas y la duración del almacenamiento a que fue expuesto el fruto, manifestándose en una decoloración interna y superficial., además de una maduración desuniforme, una tendencia similar a lo señalado por Colinas (1992).

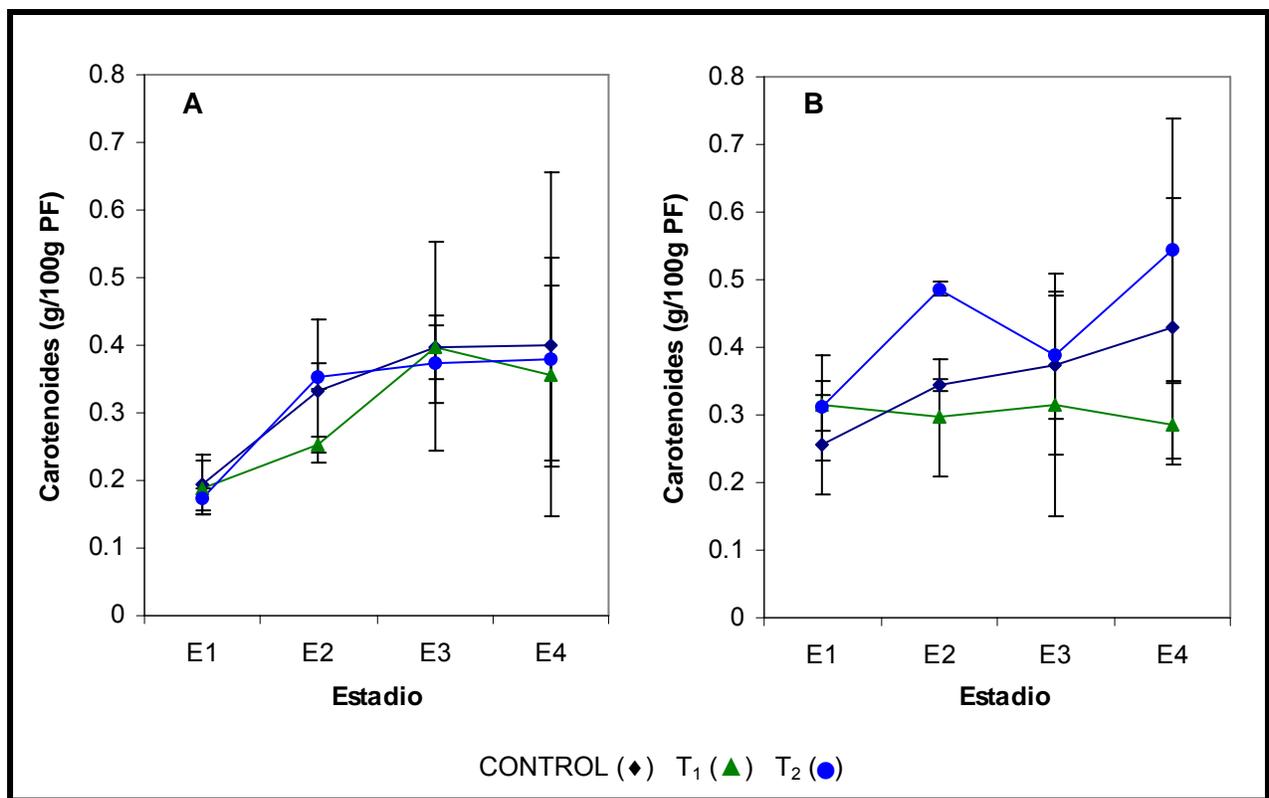


Figura 47. Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de carotenoides en pulpa de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

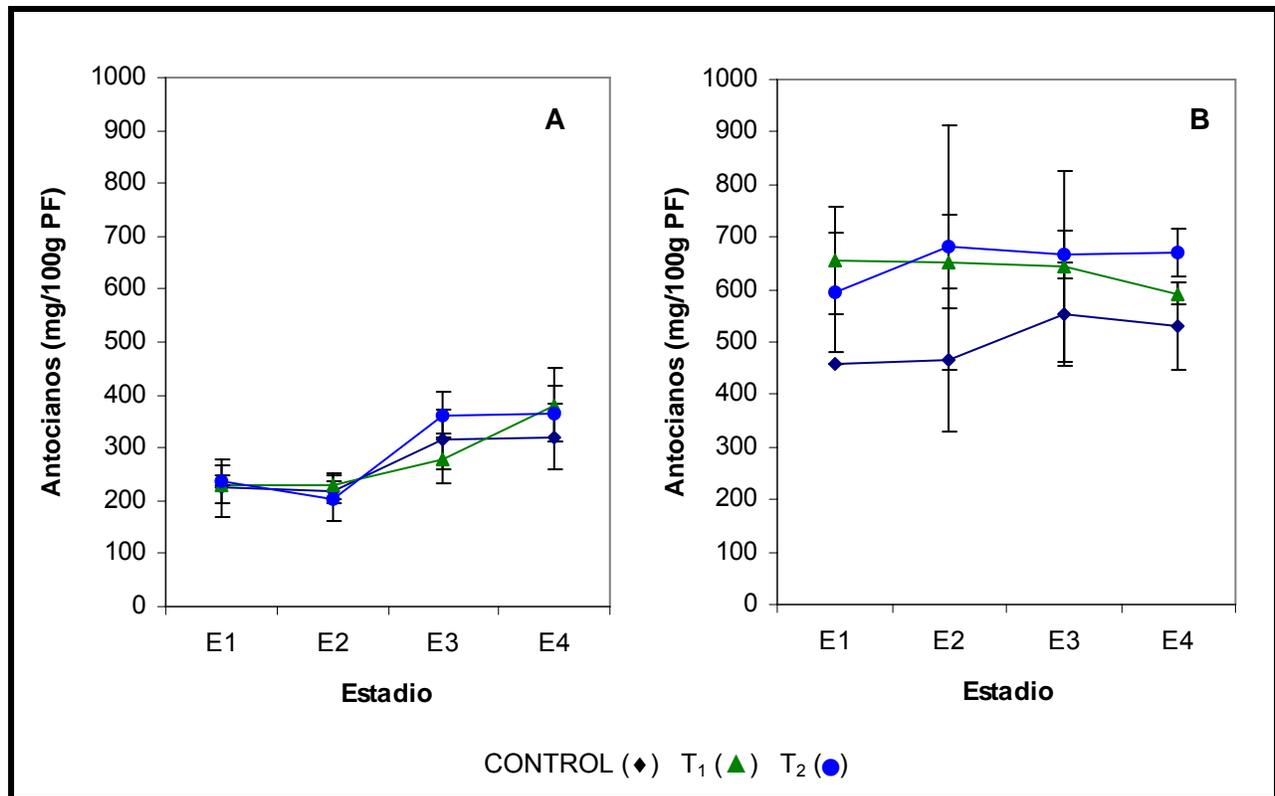
En cambio, la concentración de carotenoides en pulpa de mangos tratados térmicamente se comportó de manera diferente al control a 5°C, presentando una tendencia discontinua a lo largo del proceso de maduración del fruto (figura 47 A). Por consiguiente, la primera condición del tratamiento térmico (T<sub>1</sub>) inició con valores de 0.31 mg/100g PF que lo ubicaron en un 19% por arriba del control (5°C), descendiendo la concentración de carotenoides el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) en un 3% con respecto al anterior estadio (E<sub>1</sub>) tomando el valor de 0.30 mg/100g PF que lo ubicó en un 12% por debajo del

control (5°C), para el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) incrementó el valor de la concentración registrando el valor de 0.31 mg/100g PF que lo ubicó en un 16% por debajo del control (5°C) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) nuevamente descendió la concentración de carotenoides al tomar el valor de 0.29 mg/100g PF que lo ubico en un 32.5% por debajo del control (5°C). En cambio, el T<sub>2</sub> inició con valores de 0.31 mg/100g PF ubicándose, al igual que el T<sub>1</sub>, en un 19% por arriba del control (5°C), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó el valor de 0.49 mg/100g PF situándose en un 44% por arriba del control (5°C), en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) descendió la concentración de carotenoides en un 20.5% con respecto al anterior estadio (E<sub>2</sub>) tomando el valor de 0.39 mg/100g PF que lo colocaron en un 5.5% por arriba del control (5°C) y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) incrementó nuevamente la concentración alcanzando su máximo registro al tomar el valor de 0.54 mg/100g PF que lo ubicó en un 25.5% por arriba del control (5°C). Las dos condiciones (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) del tratamiento térmico presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el primer (E<sub>1</sub>), segundo (E<sub>2</sub>) y último estadio (E<sub>4</sub>) de maduración del fruto, respectivamente.

### 5.9.3 Antocianos.

El termino pigmento se utiliza para describir una molécula que absorbe luz y presenta un color, las flores y los frutos contienen muchas moléculas orgánicas que absorben luz, también contienen muchos pigmentos, que incluyen los antocianos, flavonoides, flavinas, quinonas y citocromos, pero ninguno de estos debe ser considerado como un pigmento fotosintético. Los pigmentos fotosintéticos son las únicas que contienen la capacidad de absorber la energía de la luz solar y hacerla disponible en energía química (Hernández-Ríos *et al.*, 2000).

Los antocianos son otros de los pigmentos importantes en muchas variedades de mango ya que son los responsables de la coloración roja y violeta (Bueno, 1997; Clifford, 2000). El área e intensidad de la coloración roja en la piel del mango aparece durante el crecimiento y desarrollo del fruto dependiendo de factores ambientales tales como la luz solar (Barmore *et al.*, 1974). El contenido de antocianos en piel para los mangos controles a 20°C mostró un aumento progresivo conforme maduró el fruto (figura 48 A) iniciando con valores de 224.2 mg/100g PF para el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) mostró una ligera disminución de su registro tomando valores de 217.6 mg/100g PF, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) tomó el valor de 314.7 mg/100g PF y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) alcanzó su máximo registro tomando valores de 320.8 mg/100g PF, lo que representó un incremento total de la concentración de antocianos del 43%.



**Figura 48.** Efecto de los tratamientos térmicos en el contenido de antocianos en piel de mangos variedad 'Keitt' almacenados a: (A) 20°C (A) y (B) 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración. E<sub>1</sub> (preclimaterio), E<sub>2</sub> (inicio del climaterio), E<sub>3</sub> (máximo climaterio) y E<sub>4</sub> (postclimaterio)

La concentración de antocianos en piel de mangos controles almacenados a 5°C presentó tanto un comportamiento y tendencia muy similar a los mangos controles almacenados a 20°C salvo que los controles a 5°C presentaron valores mucho mayores en su concentración en todos los estadios de maduración del fruto como se observa en la figura 48 B, en donde el valor inicial de la concentración de antocianos fue de 458.5 mg/100g PF ubicándose en un 104.5% por encima del control a 20°C en el preclimaterio (E<sub>1</sub>), en el inicio del climaterio (E<sub>2</sub>) tomó el valor de 465.5 mg/100g PF ubicándose en un 114% por arriba del control a 20°C, en el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) alcanzó su máximo valor con 553.4 mg/100g PF ubicándose en un 76% por arriba del control a 20°C y en el postclimaterio (E<sub>4</sub>) descendió la concentración de antocianos en un 4% con respecto al anterior estadio (E<sub>3</sub>) registrando el valor de 530 mg/100g PF ubicándose en un 65% por arriba del control a 20°C. De lo anterior puede decirse que el efecto de las bajas temperaturas debió afectar la estructura celular al incrementar el contenido de antocianos ya que estos pueden considerarse como compuestos fenólicos, como lo mencionan trabajos realizados por Díaz (2002), quien señala que los frutos del banano, mango y algunos otros cultivares tienen un alto contenido de fenoles del tipo tanino a la maduración fisiológica y son los que proporcionan el sabor astringente a los mismos; su degradación es lo que permite llegar a su madurez de consumo. Debido a que los compuestos fenólicos aumentan por el efecto de la

exposición a bajas temperaturas del fruto pueden corroborarse estos resultados obtenidos con el apartado 5.7.1.

En cambio, los mangos tratados térmicamente ( $T_1$  y  $T_2$ ) almacenados a  $20^\circ\text{C}$  presentaron una tendencia similar al control ( $20^\circ\text{C}$ ) no presentando diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) a lo largo de la maduración del fruto con respecto al control ( $20^\circ\text{C}$ ), pero con un comportamiento ligeramente diferente como se puede apreciar en la figura 48 A, además presentaron un mayor incremento de la concentración total de antocianos. Teniendo que el  $T_1$  inició con valores de concentración de antocianos de  $230.5 \text{ mg}/100\text{g PF}$  ubicándose en un 3% por debajo del control ( $20^\circ\text{C}$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de  $228.2 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicaron en un 5% por arriba del control ( $20^\circ\text{C}$ ), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) tomó valores de  $279.7 \text{ mg}/100\text{g PF}$  para ubicarse en un 11% por abajo del control y en el postclimaterio ( $E_4$ ) alcanzó su máximo registro alcanzando valores de  $380.2 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicaron en un 18.5% por arriba del control y con un incremento total de un 65% en la concentración de antocianos. Por consiguiente, el  $T_2$  inició con valores de  $238.5 \text{ mg}/100\text{g PF}$  ubicándose en un 6.5% por arriba del control ( $20^\circ\text{C}$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó valores de  $203.5 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicaron en un 6.5% por abajo del control ( $20^\circ\text{C}$ ), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) alcanzó valores de  $362.1 \text{ mg}/100\text{g PF}$  ubicándose en un 15% por arriba del control y en el postclimaterio ( $E_4$ ) alcanzó su máximo valor con  $366.3 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicaron en un 14% por arriba del control y logrando un incremento total de la concentración de antocianos de un 53.5%.

Con respecto a los mangos tratados térmicamente almacenados a  $5^\circ\text{C}$  el incremento de la concentración de antocianos mostró un comportamiento y tendencia diferentes a los mangos controles ( $5^\circ\text{C}$ ) (figura 48 B). La primera condición del tratamiento térmico ( $T_1$ ) inició con valores de  $654.6 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubico en un 43% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ) en el preclimaterio ( $E_1$ ), en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) alcanzó su máximo valor con  $653.1 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicó en un 40.5% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) presentó un descenso gradual prolongándose hasta el final de la maduración del fruto, tomando en este estadio ( $E_3$ ) el valor de  $643.6 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicó en un 16.5% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ) y en el postclimaterio ( $E_4$ ) registró el valor de  $592.6 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicó en un 12% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ). En tanto, la segunda condición del tratamiento térmico ( $T_2$ ) se ubicaba en el preclimaterio ( $E_1$ ) con una concentración de antocianos de un 30% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ) con el valor de  $594 \text{ mg}/100\text{g PF}$  en el inicio del climaterio ( $E_2$ ) tomó el valor de  $680.5 \text{ mg}/100\text{g PF}$  siendo su más alto registro ubicándolo en un 46% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ), en el máximo climaterio ( $E_3$ ) desciende en la concentración de antocianos al tomar el valor de  $665.1 \text{ mg}/100\text{g PF}$  que lo ubicó en un 20% por arriba

del control y en el postclimaterio ( $E_4$ ) tomando el valor de 669.7 mg/100g PF se ubicó en un 26.5% por arriba del control ( $5^\circ\text{C}$ ). Ambos tratamientos térmicos presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) durante el proceso de maduración del fruto con respecto al control a  $20^\circ\text{C}$ , este aumento puede ser correspondido con el contenido de fenoles totales debido a que como los mangos tratados térmicamente, almacenados a  $5^\circ\text{C}$ , presentaron un incremento en el contenido de éstos compuestos, estos incrementos pueden ser relacionados con los antocianos debido a que son los compuestos coloreados derivados de los compuestos fenólicos.

## 6. Conclusiones.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede concluir que:

- ◆ Los tratamientos por vapor caliente a 46°C por 10, y 20 minutos no alargaron la vida útil del mango 'Keitt' almacenado a temperatura ambiente. Además, estos tratamientos no presentaron efecto en los parámetros de calidad: pH, acidez, sólidos solubles y firmeza.
- ◆ Los tratamientos por vapor caliente a 46°C por 10, y 20 minutos no presentaron un efecto en la luminosidad y tono, sin embargo la cromaticidad fue el parámetro más afectado por estos tratamientos.
- ◆ Los tratamientos por vapor caliente permitieron inhibir el crecimiento del hongo *C. gloesporoides*. La condición de 46°C por 20 minutos fue la más efectiva para el control de esta enfermedad.
- ◆ Los tratamientos por vapor caliente a 46°C por 10, y 20 minutos permitieron reducir el índice de daño por frío en mangos 'Keitt'. La condición de 46°C por 20 minutos fue la más efectiva para controlar los síntomas de daños por frío ocasionados por el almacenamiento a bajas temperaturas.
- ◆ Los tratamientos por vapor caliente a 46°C por 10, y 20 minutos ayudaron a reducir el efecto negativo sobre los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza) ocasionado por la exposición del fruto a bajas temperaturas.
- ◆ Los cambios en la concentración de pigmentos (clorofila, antocianos y carotenoides) en el mango variedad 'Keitt' no se afectaron por los tratamientos térmicos, tampoco se presentó una relación con los síntomas de daños por frío. Sin embargo, se vieron afectados por el almacenamiento a bajas temperaturas registrandose una disminución en la degradación de clorofila y la formación de carotenoides y antocianos.
- ◆ Los síntomas de daños por frío, evaluados como IDF presentaron una correlación con los cambios en las actividades enzimáticas de PPO y POD, por lo que estos síntomas están relacionadas con estas enzimas oxidoreductasas en mango variedad 'Keitt'.

- ◆ Los cambios en las actividades de PPO presentaron una correlación con los cambios en el contenido de fenoles en la piel de mangos 'Keitt' y no se registró una correlación con la enzima POD.
- ◆ Los compuestos fenólicos en la piel de mango variedad 'Keitt' se incrementaron con las bajas temperaturas de almacenamiento y presentaron una relación con los síntomas de daño por frío (IDF).

## 7. Recomendaciones.

En base a los resultados obtenidos se recomienda:

- ◆ Realizar otros estudios referentes a la actividad enzimática relacionadas a condiciones de someter los frutos del mango a condiciones de estrés, por calor y frío, en mango, principalmente en aquellas enzimas que se vean involucradas en el pardeamiento enzimático provocado por las bajas temperaturas, como la PAL.
- ◆ Aplicar los tratamientos térmicos por vapor caliente a otros frutos susceptibles a enfermedades postcosecha y a alteraciones fisiológicas causadas por las bajas temperaturas de almacenamiento.
- ◆ Identificar los compuestos fenólicos que puedan ser oxidables por las oxidoreductasas y establecer un método que inhiba la síntesis de estos compuestos, para reducir el pardeamiento enzimático provocado por las bajas temperaturas.
- ◆ Realizar una combinación de tratamientos térmicos existentes (vapor-agua, vapor-aire, microondas-vapor, agua-aire) como medida de control de enfermedades y desórdenes fisiológicos postcosecha en frutos.
- ◆ Aplicación de los tratamientos térmicos en periodos controlados durante el almacenamiento a bajas temperaturas para minimizar los daños provocados por el frío.
- ◆ Implementación de un tratamiento térmico secundario de menor intensidad previo (acondicionamiento) o posterior (mantenimiento) al tratamiento térmico principal para prolongar el efecto térmico al fruto como medida de control de enfermedades por patógenos y disminuir los efectos de las bajas temperaturas en los frutos.

## 8. Anexos.

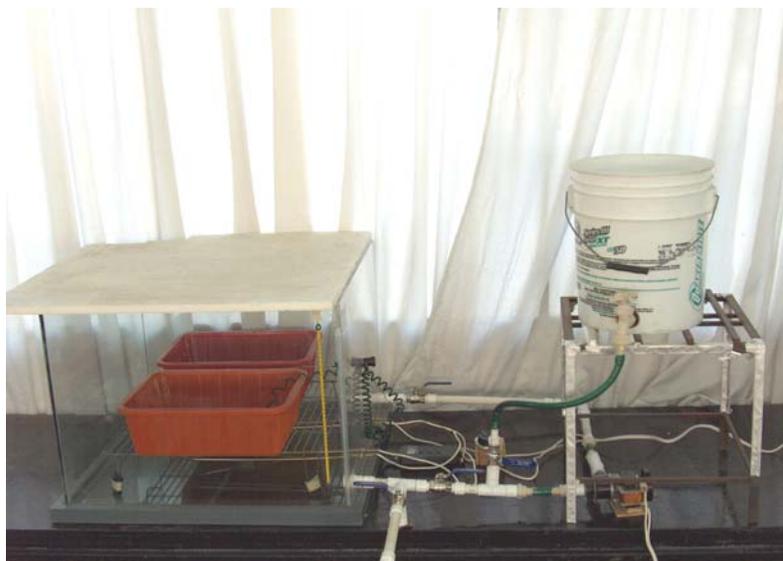
### Anexo A.

#### Cámara de recirculación de vapor.

El equipo en el cual se desarrollaron las pruebas de los tratamientos térmicos por vapor caliente fue diseñado en el Laboratorio Postcosecha de Productos Vegetales ubicado en el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) de la UNAM.

Este equipo cuenta con las condiciones necesarias para la aplicación de los tratamientos térmicos por vapor caliente *in situ*, ya que ha sido utilizado para otros proyectos que requieran de las condiciones que brinda el dispositivo (vapor y alta temperatura).

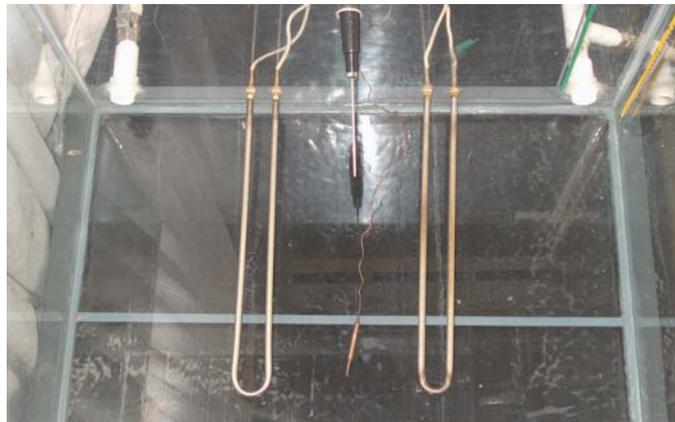
El equipo cuenta con los siguientes elementos de diseño:



**Figura 1.** Cámara de recirculación de vapor.

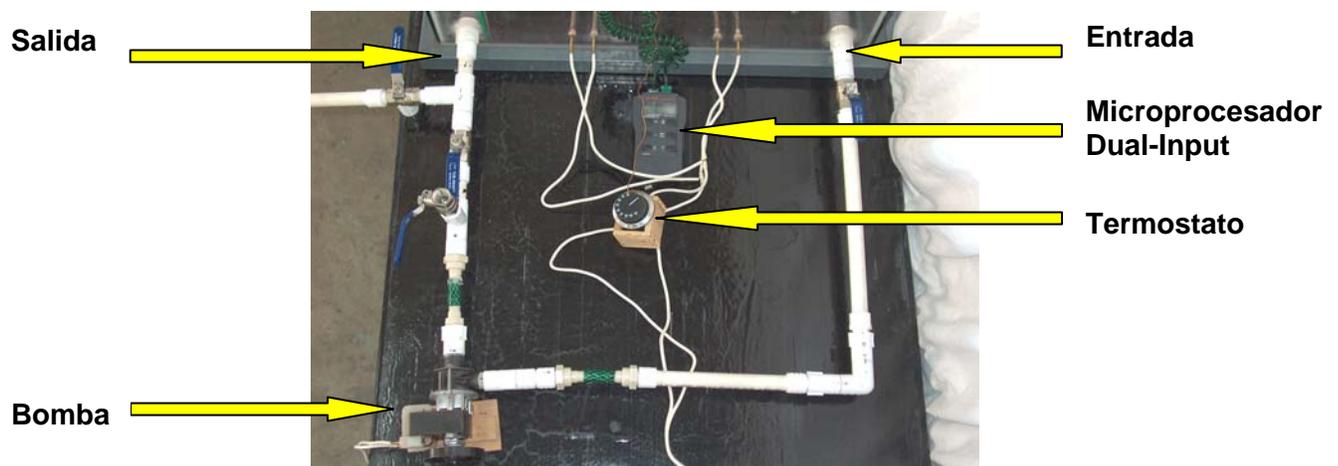
- Resistencias eléctricas.
- Sistema de recirculación.
- Termostato (0-110°C).
- Termopares.
- Termómetro (-10 a 100°C)
- Parrilla metálica.
- Contenedores.

La obtención del vapor necesario para las condiciones que requiera el tratamiento térmico se generó a partir del calentamiento gradual de agua (de preferencia desalinizada para evitar sedimentaciones en las resistencias) por medio de unas resistencias eléctricas ubicadas en el fondo del equipo (figura 2), estas resistencias están controladas por un termostato ajustado a la temperatura del agua deseada, el cual regula el apagado y encendido de las resistencias eléctricas cuando se alcanza la temperatura deseada.



**Figura 2.** Resistencias eléctricas de la cámara de vapor.

Este medio de calentamiento además cuenta con un sistema de recirculación (figura 3), el cual evita que el agua en calentamiento se quede estancada, permitiendo así la libre circulación del líquido para obtener una uniformidad en la temperatura por toda la cámara del vapor generado, este sistema de recirculación cuenta con una red de tuberías conectadas en los orificios de entrada y salida de la cámara, esta red además contiene, entre otras cosas, una pequeña bomba que impulsa el líquido a través de la tubería hasta el interior de la cámara lo que hace que se lleve a cabo la recirculación del líquido dentro de la cámara.



**Figura 3.** Sistema de recirculación de la cámara de vapor.

Íntimamente ligado a este sistema de calentamiento el termómetro y los termopares brindan el control de las temperaturas del agua, del vapor generado y del fruto. Debido a que el termostato tiene un rango de funcionamiento de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  el termómetro es una herramienta auxiliar en el control de la temperatura del líquido debido a que la temperatura del agua es proporcional a la del vapor generado, por esta razón el termómetro nos brinda la temperatura a la cual debemos fijar las condiciones del termostato. En cambio los termopares, divididos en dos puntas de lectura individual que están conectadas a una unidad de lectora marca (Dual-Input, Microprocessor, K-Type, Thermocouple Thermometer), brindan la temperatura del vapor generado dentro de la cámara al colocar una de sus puntas a la mitad del espacio libre del equipo (figura 4), mientras que la otra punta es penetrada hacia el interior del fruto la cual nos refiere la temperatura del interior del mismo. En tanto, la forma en que se colocaron los lotes de los frutos dentro de la cámara es por medio de contenedores en forma de reja que permiten el libre acceso del vapor a través del fruto, y para evitar el contacto directo del fruto con el agua en calentamiento estas rejillas se colocan sobre una parrilla metálica que las mantiene por arriba del nivel del líquido en calentamiento.



**Figura 4.** Contenedores de la cámara de vapor.

---

**9. Abreviaturas.**

ACC oxidasa	Ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico.
ACC sintetasa	1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico.
AC	Atmósferas Controladas.
AM	Atmósferas Modificadas.
ANOVA	Análisis estadístico de varianza.
ATP	Adenosintrifosfato.
CI	Calentamiento Intermitente.
DNS	Ácido 3,5-dinitrosalicílico.
E <sub>1</sub>	Preclimaterio.
E <sub>2</sub>	Inicio del climaterio.
E <sub>3</sub>	Máximo climaterio.
E <sub>4</sub>	Postclimaterio.
FHAT	Tratamiento por Aire Forzado.
DF	Daño por Frío.
HR	Humedad Relativa.
HWT	Tratamiento por Agua caliente.
IAA	Ácido Indol Acético.
IDC	Índice de Decaimiento.
IDF	Índice de Daño por Frío.
IM	Índice de Madurez.
n	Tamaño de la muestra.
PAL	Fenilalanina Amonio Liasa.
PDO	Peroxidasa.
PE	Peptiesterasa.
PEPC	Fosfoenol Pirúvato carboxílasa.
PF	Peso Fresco.
PG	Poligalacturonasa.
p/p	Porcentaje peso / peso.
PPO	Polifenol Oxidasa.
PZA	Agar Papa Zanahoria.
SA	Susceptibilidad a Antracnosis.
SAM	5-adenosil metionina.
SEA	Sensibilidad a Enfermedades de Almacenamiento.
SF	Susceptibilidad al Frío.
SST	Sólidos Solubles Totales.
T <sub>1</sub>	Tratamiento térmico a 46°C por 10 minutos.
T <sub>2</sub>	Tratamiento térmico a 46°C por 20 minutos.
VHT	Tratamiento por Vapor caliente.

---

## 10. Referencias.

Acosta-Ramos, M; Nieto-Ángel, D; Téllez-Ortiz, D; Noriga-Cantu, D; Guzman-Rodriguez, M.P. y Vaquera-Huerta, H. (2003). Control químico de seis aislamientos de *Colletotrichum gloesporioides* de mango (*Mangifera indica* L) cv. 'Haden'. Libro de memorias de la conferencia panamericana de fitopatología, Isla del Padre, Texas, USA. pp. 93.

Agrios, N.G. (1995). *Fitopatología*. Editorial Noriega, 2ª edición pp. 283-405.

Aguirre, M.C. y Fernández, V.B. (1999). *El cultivo del mango*. Disponible en: [www.infofrut.com.ar/temas%20y%20nota%20tecnicas-36.htm](http://www.infofrut.com.ar/temas%20y%20nota%20tecnicas-36.htm)

Akinawe, T.O. (2000). Cashew apple juice: its use in fortifying the natural quality of some tropical fruits. *European Food Research and Tecnology*, **221** (3), 205-207.

Albion University, Dicot Families 2. Disponible en: [www.albion.edu/plants/dicots2.htm](http://www.albion.edu/plants/dicots2.htm)

Allende-Molar, R; García, R.S. y Carrillo, A. (2002) "Enfermedades Poscosecha en Mangos Cultivados en Sinaloa". *Boletín del CIAD*, Mayo-Junio. Departamento de Protección y Nutrición Vegetal, CIAD-Unidad Culiacán. Disponible en: [www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf](http://www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf)

AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists AOAC, food composition; additives; natural contaminants*, Volumen II, publicado por the association of official analytical chemist, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15ª edición, pp. 1298.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiology*, **24** :1-15.

Artés, F. (1995<sup>a</sup>). Innovaciones en los tratamientos físicos para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. I. Pretratamientos térmicos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, **35** (1): 139-149.

Artés, F. (1995<sup>b</sup>). Innovaciones en los tratamientos físicos para preservar la calidad de los productos hortofrutícolas en la postrecolección. II. Pretratamientos térmicos ciclicos. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, **35** (1): 139-149.

---

Artés (1999<sup>a</sup>). *Innovaciones tecnológicas para mejorar la calidad de la naranja y mandarina en postrecolección*. IV Cong. Citricultura. La Plana. Edit. Promociones LAV. pp 181-205.

Artés (2001). Conservación de productos hortofrutícolas en atmósferas controladas y modificadas. VII Curso Superior de Ingeniería y Aplicaciones del Frío en la Conservación de Vegetales. CTC, UPCT, CEBAS-CSIS. pp.28.

Artés, F; Tudela, J.A. y Villaescusa, R. (2000). Thermal postharvest treatments for improving pomegranate quality and shelf life. *Postharvest Biol. Technol.* **3**: 245-251.

Ashraf, M; Khan, N; Ahmad, M. y Elahi, M. (1981). Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **29**: 526-528.

Badui, D.S. (1999). *Química de alimentos*. Editorial Alambra Mexicana. México, pp. 424.

Barmore, C.P; Spalding, D.H. y McMillan, R.T. (1974). Anthocyanin development in mango fruit in response to a preharvest antitranspirant spray. *HortScience*, **9**: 114-115.

Batista, A.R. (2002). Estudio preliminar sobre el empleo de los tratamientos térmicos de microondas y agua caliente en la desinfección del mango Keitt. *Alimentaria*, **1**: 89-94.

Becerra, L.E.N. (1995). Enfermedades del cultivo del mango. En: *La producción del mango en México*. Mata, B. I y R. V., Mosqueda ( eds). Ed. Uteha/Noriega Editores. México. pp. 159.

Billot, J. (2002). El pardeamiento enzimático, en: Tirill, Y.I. y Bourgeois, C.M., (eds.). *Tecnología de las Hortalizas*. Editorial ACRIBIA. pp. 233-257.

Bordeu, S.E. y Scarpa, B-B.J. (1998). *Análisis Químico del vino*. Textos universitarios, Facultad de agronomía, Ediciones U. Católica de Chile, Santiago de Chile, pp. 253.

Bramlage, W.J. y Meir, S. (1990). Chilling Injury of Crops of Temperature Origin. *Food Science*, **43**: 264-266.

---

Brinson, K; Dey, P.M; John, M.A. y Pridham, J.B. (1988). Post-harvest changes in *mangifera indica* mesocarp cell walls and cytoplasmatic polysaccharides. *Phytochemistry*, **27**(3): 719-723.

Bueno, J. (1997). Enocianina, Antocianos, E-163. Disponible en:

<[www.personales.mundivia.es/josebueno/enocianina.htm](http://www.personales.mundivia.es/josebueno/enocianina.htm)>

Cano, P; Marín, M.A. y Fúster, C. (1990). Effects of some thermal treatments on polyphenoloxidase and peroxidase activities of banana (*Musa cavendishii*, var, *enana*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **51**: 223-231.

Cano, M.P.O; Marín, M.A. y Fúster, C. (1997). Differences among Spanish and Latin America banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*, **59**: 411-419.

Carotenóides cores atraentes e acao Biológica. (2000). Disponible en:

<[www.herbario.com.br/dataherb06/1112carotenoid.htm](http://www.herbario.com.br/dataherb06/1112carotenoid.htm)>

Chuahan, S.K; Lai, B.B. y Joshi, V.K. (1998). Development of a protein-rich mango beverage. *Journal of Food Science Technology India*, **35**(6), 521-523.

Clifford, M.N. (2000). Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**: 1063-1072.

Colinas, L.M.T. (1992). Desordenes fisiológicos de productos hortícolas. En: Elhadi, M; Yahia y Ciapara, I.H. *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. Ed. Limusa, México. pp. 65-72.

Côme, D. y Corbineau, F. (1994). Effets cellulaires et métaboliques du froid sur les produits végétaux. *Institute Intern. Froid. Brest.*, **5**: 17-28.

Consejo Latinoamericano de Información Alimentaría (CLIA) (2002). Los Fotoquímicos. Disponible en:

<[www.clia.org.mx](http://www.clia.org.mx)>

Cook, A.A. (1975). *Disease of tropical and subtropical fruits and nuts*, 1<sup>a</sup>. edición . New York Hafner Press. pp. 231.

---

Corkidi, G; Taboada, B; Balderas, K. A. y Galindo, E. (2004). Sistema de análisis de superficies de objetos tridimensionales por procesamiento de imágenes: Aplicación a la evaluación cuantitativa de la antracnosis en mango (*Mangifera indica*). Disponible en: laboratorio de imágenes y vision , CCADET-UNAM, México D. F., área de bioingeniería, IBT-UNAM, Cuernavaca, México.

Cornell University, Academic Technology Center (2002). *Mangifera indica* Linnaeus. Disponible en: [instruct1.cit.cornell.edu/courses/hort400/mpts/mango.html](http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/hort400/mpts/mango.html)

Corporación Colombia Internacional (2005). Origen y Botánica del mango. Disponible en: [www.cci.org.co/informacion/mango/mangoorigen.htm](http://www.cci.org.co/informacion/mango/mangoorigen.htm)

Couey, H.M. (1982). Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *HortScience*, **17**: 162-165.

Couey, H.M. (1989). Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pest of fruits. *HortScience*, **24** (2): 198-202.

CRFG. California Rare Fruit Grower Inc. (1996). Mango *Mangifera indica* L. Anacardiaceae. Disponible en: [www.crfg.org/pubs/ff/mango.html](http://www.crfg.org/pubs/ff/mango.html)

Cruz, C. y Pérez C. (1998). "Evaluación del efecto conservador y antimicótico de la película de quitosán en la vida útil del mango (*Mangifera L. Indica*), variedad Haden". Tesis de Ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Datzie, B.K. y Orchard, J.E. (1997). Evaluación Rutinaria Postcosecha de Híbridos de Bananos y Plátanos: Criterios y Métodos. Disponible en: [www.inibap.org/publications/technicalguidelines/guideline2\\_spa.pdf](http://www.inibap.org/publications/technicalguidelines/guideline2_spa.pdf)

Dave's Garden. (2004). Mango. Disponible en: [www.plansdatabase.com](http://www.plansdatabase.com)

Delphis. (1996). Mango Mania . Disponible en: [www.delphis.dm/mango.htm](http://www.delphis.dm/mango.htm)

Department of Agriculture Malaysia. (2002). Mango. En: *Crops Technologies*. Disponible en: [www.agrolink.moa.my/doa/english/croptech/mgo\\_gen.html](http://www.agrolink.moa.my/doa/english/croptech/mgo_gen.html)

---

Díaz, M.D. (2002). *Fisiología de arboles frutales*. AGT. Edit. S. A. Mexico, pp : 390.

Díaz-Sobac, R ; Pérez-Flores, L. y Vernon-Carter, J. (2000). Emulsions coatings control fruit fly and antracnose in mango (*Mangifera indica* cv. Manila). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **75** (1): 126-128.

Dir's HortInfo–Internet IPM Resources on Mango. (2000). Disponible en: <http://ippc.orst.edu/dir/fruit/mango.html>>

Doreyappa-Gowda, I.N. y Huddar, A.G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *Journal of Foods Science and Technology*, **38**: 135-137.

DPIF Queensland Australia. (2004). Department of Primary Industries and Fisheries, State of Queensland. Disponible en: <http://dpi.qld.gov.au/horticulture>>

Elhadi, M.Y; Mondragon, A; Balderas, M; Santiago, P. y Lagunez L. (2000). Effects of hot air treatments on postharvest physiology and quality of mango fruit. *Acta Horticulturae*, **509**: 419-427.

El Almanaque. (2005). Clorofila. Disponible en: <http://www.elalmanaque.com/Ecologia/clorofila.htm>>

EMEX. (2005). Empacadoras de mango de exportación. Disponible en: <http://www.mangoemex.com/EMEX.html>>

Esguerra, E.B; Valerio-Traya, R.F. y Lizada, M.C.C. (2004). Efficacy of Different Heat Treatments Procedures in Controlling Diseases of Mango Fruits. *Acta Horticulturae*, **645**: 551-556.

Exploración de mercados. Inteligencia de mercados, mango. (2003). Disponible en: [http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/int\\_mango.htm](http://www.agrocadenas.gov.co/inteligencia/int_mango.htm)>

FAO. (2005). Food and agricultural organization. Base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat>>

Fairchild Tropical Botanic Garden. (2005). International Mango Festival. Disponible en: <http://www.ftg.org/horticulture/mangofest>>.

---

Fitzell, R.D. y Peak, C.M. (1984). The epidemiology of antracnose disease of mango: inoculum sources, spore production and dispersal. *Ann. Appl. Biol.*, **104**: 53-59.

Flores Gutiérrez A.A. (2000). *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela*. Ed. UNILLETZ, Venezuela, pp 224.

Forney, C.F y Breen, P.J. (1986). Sugar content and uptake in the strawberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **111**: 241-247.

Fuertes Andrea. (2000). Beta-carotenos y otros carotenoides, Disponible en: [www.mifarmacia.es/producto.asp?Producto=../contenido/articulos/articulo\\_nu\\_beta\\_caroteno\\_y\\_otros](http://www.mifarmacia.es/producto.asp?Producto=../contenido/articulos/articulo_nu_beta_caroteno_y_otros)

Galán-Sauco, V. (1999). *El Cultivo del Mango*, Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España, pp. 298.

Gallegos, G.D. y Hosnaya, S.F. (1997). Manejo de cosecha y postcosecha para la comercialización de frutas y hortalizas en fresco. Tesis de Ingeniería en Alimentos, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

García, J.M; Yousfi, K; Mateos, R; Olmo, M. y Cert, A. (2001). Reduction of oil bitterness by heating of olive (*Olea europaea* fruits). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **49**: 4231-4235.

Gil, A.M; Duarte, I.F; Delgadillo, I; Coluhoun, I.J; Casuscelli, F; Humpfer, E. y Spraul, M. (2000). Study of compositional changes of mango during ripening by use of nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* , **48** (5), 1524-1536.

Gilchrist-Saavedra, L; Fuentes-Dávila, G. y Martínez-Cano, C. (1995). *Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada*. México, D.F. (CIMMYT) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 19-21.

Gómez-Lim, M.A. (2000). Postharvest Physiology. En: Litz, R.E. (ed.). *The Mango Botany, Production and Uses*. CAB International, USA, pp. 587.

González. C. (2002). Pigmentos fotosintéticos. Disponible en: [www.alipso.com/monografias/2014\\_pigmentosfotosinteticos/](http://www.alipso.com/monografias/2014_pigmentosfotosinteticos/)

- 
- Goodwin, T. W. (1954). *Carotenoids, their comparative biochemistry*. Chem. Pub. Co., New York.
- Gorinstein, S; Zemser, M; Haruenkit, R; Chuthakorn, R; Grauer, F; Martin B. y Trankhtenberg, S. (1999). Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **10**(6), 367-371.
- Guadarrama, A. (1983). Algunos cambios químicos durante la maduración de frutos de Semeruco (*Malpighia puniceifolia* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, (Maracay), **13** (1-4): 111-128.
- Guadarrama, A. y Rivas, N. (1995). Purificación y caracterización cinética de la enzima Polifenol oxidasa del ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, (Maracay), **16**: 65-86.
- Harborne, J.B. y Williams, C.A. (2000) Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*. v. **52**: 481-504.
- Hardenburg, R.E; Watada, A.E. y Wang, C.Y. (1990). *The commercial storage of fruits vegetables and florist and nursery stocks*. Agricultural Handbook 66. Ed. USDA. Washington. pp. 130.
- Healthnotes. Information at the point of decision. (2004). Carotenoides. Disponible en: [www.healthnotes.com](http://www.healthnotes.com)
- Hernández-Ríos, I; Markwell, J. y Namuth, D. (2000). Introducción a Los Pigmentos Vegetales y la fotosíntesis. En: Learn About the Science Behind Crop Technology Topics. Disponible en: [www.croptechnology.unl.edu](http://www.croptechnology.unl.edu)
- Hobson, G.E. (1993). Maduración del fruto. En : *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Azcon-Bieto (ed.), J. Interamericana Mcgrawhill. España, pp. 463-478.
- Holden, M. (1976). Chlorophylls. En: Goodwin, T.W. (ed.) *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigment*, vol 2, Academic Press, London, 1-37.
- Hulme, A.C. (1970). *The Biochemistry of fruits and their products*, vol 1 y 2. Academic Press, London.
- INFOAGRO. (2005). El cultivo del Mango. En: Las frutas tropicales. Disponible en: [www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/mango.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm)

- 
- Jackman, R.L; Yada, R.Y; Marangoni, A; Parkin, K.L. y Stanley, D.W. (1988). Chilling injury. A review of quality aspects. *Journal Food Quality*, **11**: 253-278.
- Jacobi, K.K; Wong, L.S. y Giles, J.E. (1995). Effect of fruit maturity on quality and physiology of high-humidity hot air-treated 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.). *Postharvest Biology and Technology*, **5**: 149-159.
- Jacobi, K.K; MacRae, E.A. y Hetherington, S.E. (2001<sup>a</sup>). Effect of fruit maturity on the response of 'Kensington' mango fruit to heat treatment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **41**: 793-803.
- Jacobi, K.K; MacRae, E.A. y Hetherington, S.E. (2001<sup>b</sup>). Postharvest heat desinfestation treatments of mango fruit. *Scientia Horticulturae*, **89**: 171-193.
- Jagtiani, J; Chang, H.T. y Sakai, W. (1998). *Tropical Fruit Processing*. Academic Press Inc. New York, EUA, pp. 45-104.
- Kane, O; Boulet, M. y Castaigne, F. (1982). Effect of Chilling-injury on Texture and Fungal Rot of Mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science.*, **47**: 992-995.
- Keitt mango (2005). Keitt mango: Nutrition Facts. Disponible en: [www.sunworldinternational.com/SunWorldHome/SWHomePhotos/mangoes4.html](http://www.sunworldinternational.com/SunWorldHome/SWHomePhotos/mangoes4.html)
- Ketsa, S; Rattanamalee, S. y Babprasert, C. (1991). Growth development, biochemical changes and harvesting index of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tongdum. *Kasetsart journal (Natural Science)*, **321**, 756-763.
- Ketsa, S; Phakawatmongkol, W. y Subhadrabhandhu, S. (1999). Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. *Journal of Plant Physiology*, **154**: 363-366.
- Ketsa, S; Chidtragool S. y Lurie, S. (2000). Prestorage Heat Treatment and Prestorage Quality of Mango Fruit. *HortScience*, **35** (2): 247-249.
- Klein, J.D. y Lurie, S. (1990). Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. *Scientia Horticulturae*, **115**: 265-269.

- 
- Krishnamurthy, S. y Joshi, S.S. (1989). Studies on low temperature storage of Alphonso mango. *Journal of the Food Science and Technology*, **26**: 177-180.
- Krishnamurthy, S; Patwardhan, M.V y Subramanyam, H. (1971) Biochemical changes during ripening of mango fruit. *Phytochemistry*. **10**: 2577-2581.
- Kudachikar, V.B; Kulkarni, S.G; Aradhya, S.M; Aravinda-Prasad, B. y Ramana, K.V.R. (2003). Physico-chemical changes in mango (*Mangifera indica* L.) varieties 'Alphonso' and 'Raspuri' during fruit development and maturation. *Journal of the Food Science and Technology*, **40**: 285-289.
- Laamin, M; Lapsker, Z; Fallik, E; Oubaou, A.A. y Lurie, S. (1998). Treatments to reduce Chilling Injury in Harvested cucumbers. *Adv Hort. Sci.* **4**: 175-178.
- Lance, C. y Moreau, F. (1992). Les effets métaboliques du froid. *En: D. Côme (ed.) Les végétaux et le froid*. Edit. Hermann, **2**: 27-50.
- Lakshminarayana, S. (1973). Respiration and ripening patterns of in the life cycle of mango fruit. *Journal of Horticultural Science*, **48**: 227-233.
- Lakshminarayana, S. (1975). Relation of time of harvest on respiration, chemical constituents and storage life of mangoes . *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **88**: 477-480.
- Lakshminarayana, S. (1980). Mango. *En: Nagy, S.; Shaw, P.E., (eds.) Tropical and Subtropical Fruits*. AVI Publishing Co., Westport, Connecticut, pp. 187.257.
- Lees, R. (1980). *Análisis de los alimentos, métodos analíticos y de control de calidad*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 288.
- Leopold, A.C. (1966). *Plant growth and development*. MacGraw Hill. New york.
- Lichtenthaler, H.K; Buschman, C; Doll, M; Fretz, H.J; Bach,T; Meier, U. y Rahms-Dorf, U. (1981). Photosinthetic activity Chloroplast ultraestructura and leaf characteristic of light-light and low-light plants and of the sen and shade leaves. *Photosintesis Research*, **2**: 115-141.

---

Lizada, C. (1993). Mango. En: Seymour, J. G. (ed.) *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman y May, Londres, pp. 255-271.

London Fruit Inc (2000). All About Mangos. Disponible en: [www.freshmangos.com/aboutmangoes/index.html](http://www.freshmangos.com/aboutmangoes/index.html)

Lowry, O.H; Rosebrough, N.A; Farr, A.L. y Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry*, **193**: 265-275.

Luchsinger, L. y Artés, F. (2000). Alleviating Chilling Injuries in stone Fruit. En: F. Artés, M. I. Gill y M. A. Conesa (eds.). *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals*. Edit. Intern. Institute of Refrigeration. **II**: 474-479.

Lupenna, C. (2001). Pigmentos. Generalidades. Biología 1. Disponible en: [www.eshumanidadesarte.cjb.net](http://www.eshumanidadesarte.cjb.net)

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

Lurie, S; Ronen, R. y Aloni, B. (1995). Grow regulator induced allevation of chilling injury in green and red bell pepper fruit during storage. *HortScience*. **30** (3): 558-559.

Lydakakis, D. y Aked, J. (2003). Vapour heat treatment of Sultanina table grapes. II: Effects on postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology*, **27**: 117-126.

Lyons, J.M. (1973). Chilling Injury in Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **24**: 445-466.

Lyons, J.M. y Breidenbach, R.W. (1987). Evaluation of Techniques to Measure Chilling Injury in Tomato. *HortScience*, **22**: 1309-1312.

Mabry, T.J; Markham, K.R. y Thomas, M.B. (1970). *The Systematic Identification of Flavonoids*, Springer-Verlag, New York.

MacLeod, A.J; MacLeod, G. y Snyder, C.H. (1988). Volatile aroma constituents of mango (cv. Kensington). *Phytochemistry*. **27**: 2189-2193.

---

Mango information Network, (2005). Mango information Network. Disponible en: [<www.min.pcarrrd.dost.gov.ph/>](http://www.min.pcarrrd.dost.gov.ph/)

Mango keitt médium. (2005). Keitt Mango. Disponible en: [<www.woolworths.com.au/resources/39584\\_pim\\_fruit\\_h-z\\_m5.pdf>](http://www.woolworths.com.au/resources/39584_pim_fruit_h-z_m5.pdf)

Marcellin, P. y Ulrich, R. (1983). Comportement des fruits et légumes en conditions modulées et programées. *Int. Journal Refrigeration*, **6**: 329-336.

Marcellin, P. (1992). Les maladies physiologiques du froid. En: D. Côme (ed.) *Les végétaux et le froid*. Edit. Hermann. Paris. 53-105.

Martínez, J.M; Mateos, M; Cuquerella, J y Navarro, P. (1987). Improving storage life of citrus fruits by temperature management. XVIIth Int. Cong. Refrigeration. **3**: 321-326.

Mayorca, H.G. (1971). Maduración de frutos y métodos de conservación. Instituto centroamericano de Investigación y tecnología Industrial. Guatemala.

Mazliak, P. (1992). Les effets du froid sur les biomembranes. En : D. Côme (ed.) *Les végétaux et le froid*,. Edit. Hermann. **1**: 3-26.

McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements, *HortScience*, **27**: 1254-1255.

McMurchie, E.J; McGlasson, W.B. y Eaks, I.L. (1972). Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene, *Nature*, **237**: 235-235.

McCollum, T.G; D'Aquino, S. y McDonald, R.E. (1993). Heat treatment inhibits mango chilling injury. *HortScience*, **28** (3): 197-198.

Medlicott, A.P. y Thompson, A.K. (1985) Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Keitt ) by high performance liquid chromatography. *Journal of Science of Food and Agriculture*, **36**: 561-566.

Medlicott, A.P; Bhogal Mohinder y Reynolds S.B. (1986) Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Annals of Applied Biology*, **109**: 651-656.

- 
- Medlicott, A.P; Semple, A.J., Thompson, A.J., Blackbourne, H.R y Thompson, A.K. (1990). Ripening of mangos following Low-temperature storage. *J. Amer. Soc. HortScience*, **115** (3): 430-434.
- Medlicott, A.P; Sigrist, J.M.M. y Sy, O. (1992). Measurement of colour changes in ripening Bananas and mangoes by instrumental, Chemical and visual assessments. *Trop. Agric. (Trinidad)* **69** (2): 161-166.
- Meir, S; Philosoph-Hadas, S; Laurie, S; Droby, S; Akerman, M; Zauberman, G; Shapiro, B; Cohen, E. y Fuchs, Y. (1996). Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jammonate. *Canadian J Botany*. **74** (6): 870-874.
- Mena, N.G; Nieto, A.D; Noriega, C.D; Téliz, O.D; Mora, A.G y Cárdenaz, S.E. (2005). Epidemiología y control de la antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides* Penz ) en mango. Disponible en: [www.colpos.mx/ifit/entacar/avances/avan99.htm](http://www.colpos.mx/ifit/entacar/avances/avan99.htm)
- Meredith, D.S. (1971). Transport and Storage Diseases of Bananas: Biology and Control. *Tropical Agricultural (Trinidad)*, **48** (1): 35-50.
- Miller, G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, **31**: 426-428.
- Miller, N.J. y Rice-Evans, C.A. (1997). The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food Chem.* **60**: 331-337.
- Miller, W.R. y McDonald, R.E. (1991). Quality changes during storage and ripening of 'Tommy Atkins' mangos treated with heated forced air. *HortScience*, **26** (4): 395-397.
- Mitcham, E.J. y McDonald, R.E. (1992). Cell wall modification durin ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, **117** (6): 919-924.
- Mitra, S.K. y Baldwin, E.A. (1997). Mango. en: Mitra, S.K. (ed.) *Postharvest physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Cab Internacional. Inglaterra, pp. 85-120.

- 
- Mohammed, M. y Brecht, J.K. (2002). Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, **95**: 297-308.
- Morris, L.L. (1982). Chilling Injury of Horticultural Crops: An Overview. *HortSci*. **17** (2): 161-165.
- Morton, J. (1987). Mango *Mangifera indica* L. En: Morton, J., *Fruits of warm climates*. Miami FL. Disponible en: <[www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango\\_ars.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango_ars.html)>
- Nair, S; Singh, Z. y Tan, S.C. (2004). Chilling injury in relation to ethylene biosíntesis in 'Kensington Pride' mango fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **79**: 82-89.
- Nyanjage, M.O; Wainwright, H. y Bishop, C.FH. (1998). The effects of Hot-Water treatments in combination with cooling and/or storage on the physiology and disease of mango fruits (*Mangifera indica* Linn.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **73** (5): 589-597.
- Nyanjage, M.O; Wainwright, H. y Bishop, C.FH. (2001). Effects of hot water treatments and storage temperatures on the ripening and the use of electrical impedance as an index for assesing post-harvest changes in mango fruits. *Annals of Applied Biology*, **139**: 21-29.
- Páez, R.A.R. (2005). Tecnologías Sostenibles para el Manejo de la Antracnosis en Papaya y Mango. Disponible en: <[www.turipana.org.co/manejo\\_Antracnosis.htm](http://www.turipana.org.co/manejo_Antracnosis.htm)>
- Palmer, J.K. (1971). The banana. En: A.C. Hulme (ed.), *The Biochemistry of Fruits and their Products.*, **2**. Academic Press, London, pp. 65-105.
- Pantastico, E.R.B. (1987). *Fisiología de la posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. C.E.C.S.A., México, pp. 663.
- Parry, R.T. (1995). *Envasado de los Alimentos en Atmósfera Modificada*. ed. A Madrid Vicente, Ediciones, Madrid, España, pp. 331.
- Paull, R.E. y Chen, N.J. (1990). Heat Shock response in field-grown, ripening papaya fruit. *Journal Amer. Soc. Hort. Sci.* **115**: 623-631.

- 
- Paull, R.E. y Chen, N.J. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, **21**: 21-37.
- Paull, R.E. y McDonald, R.E. (1994). Heat and cold treatments, Cap. 10 En: R. E Paull y J. W. Armstrong: *Insect Pests and Fresh Horticultural Products: Treatments and Responses*, eds: CAB INTERNATIONAL, Wallingford, U. K. pp. 191-194, 207-208.
- Pearson, D. (1998). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España. pp. 331.
- Pérez-Tello, O.G; Espinosa, S; Arispuro, V.I; Briceño, T.B.O. y Martínez, T.M.A. (2001). Effect of temperature on enzymatic and physiological factors related to chilling injury in carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **278**: 841-846.
- Planella, I. (1987). Tecnología del manejo postcosecha de frutas y hortalizas. IICA. Bogotá, Colombia. pp. 242.
- Ploetz, R.C. (2003). Diseases of mango. En: *Diseases of Tropical Fruits Crops*, CABI Publishing, CAB international, UK, USA, pp. 327-363.
- Ploetz, R.C; Zentmyer, G.A; Nishijima, W.T; Rohrbach, K.G. y Ohr, H.D. (1994). Compendium of Tropical Fruit Diseases. APS Press, USA. pp.88.
- Primo, Y.E. (1998). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis, S.A., España. pp. 461.
- PROEXANT. Promoción de exportaciones agrícolas no tradicionales (2002). Hoja técnica del mango. Disponible en: <[www.proexant.org.ec/HT\\_Mango.html](http://www.proexant.org.ec/HT_Mango.html)>
- Prusky, D.A. (1991). Mango disease: an overview. *Acta Horticulturae*. **291**: 279-288.
- Prusky, D. (1996). Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annu. Rev. Phytopath.*, **34**: 413-434.
- Purvis, A. (1980). Sequence of Chloroplasts degreening in calamondin Fruit as influence by ethylene and AgNO<sub>3</sub>. *Plant Physiology*, **6**: 624-627.

- 
- Raisman, S.J. y González, A.M. (2000). Hipertextos del Área de la Biología (Fotosíntesis: Conceptos Previos). Disponible en : <[www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint1.htm](http://www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint1.htm)>
- Ramírez-Tortosa, C; Andersen, O.M; Gardner, P.T; Morrice, P.C; Wood, S.G; Duthie, S.J; Collins, A.R. y Duthie, G.G. (2001). Anthocyanin-rich extract decreases indices of lipid peroxidation and DNA damage in vitamin E depleted rats. *Free Rad. Biol. Med.*, **31** (9): 1033-1037.
- Ramírez-Villatoro, G. (2005). Efecto de las bajas temperaturas sobre aspectos fisiológicos y bioquímicos relacionados con los síntomas de daño por frío en mango (*Mangifera indica*, L.). Tesis de ingeniería en alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. pp. 125.
- Reid, M.S. (1994). Biology of ethylene production and action. Univ. of California, EUA. *Perishables Handling Newsletter. Issue No. 80*.
- Rice-Evans, C.A; Miller, N.J. y Papaganda, G. (1996). Structure antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Rad. Biol. Med.*, **20**: 933-956.
- Roberts, D.A. y Boothroyd, C.W. (1978). *Fundamentos de patología vegetal*. Ed. Acribia, Zaragoza, España, pp. 380.
- Roe, B. y Bruemmer, J.H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mangos. *Journal of Food Science*, **46**: 186-189.
- Ryugo, K. (1993). *Fruticultura, Ciencia y Arte*. AGT, Editores S.A., México, pp. 460.
- Saby, J.K; Bhat, S.G. y Prasada, R.J.S. (2002). Involvement of preoxidase and polyphenol oxidase in mango sap-injury. *Journal of Food Biochemistry*, **26**: 403-414.
- Salunkhe, D.K. y Desai, B.B. (1984). Mango. En: *Postharvest Biotechnology of Fruits*. Vol. I, Chapter 6, C.R.C. Press INC: Boca Raton, Florida, Pp. 77-94.
- Salvador, A; Cuqueralla, J y Navarro, P. (2000). Susceptibility of 'Ortanique' citrus Fruit harvested in Valencia to Chilling Injury during cold storage. En: F. Artés, M. I. Gil y M. A. Conesa (eds.). *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals*. Edit. Inter. Institute of Refrigeration.. II: 498-505.

- 
- Salveit (Jr), M.E. y Morris, L.L. (1990) Overview on Chilling Injury of Horticultural Crops En: Wang, C.Y. (ed.) *Chilling Injury of Horticultural Crops* Boca Raton, FI, USA: CRC Press, pp.3-15.
- Salveit, M.E. (2001). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*, **21**: 61-69.
- Samson, J.A. (1986). *Tropical Fruits*. 2<sup>a</sup>. Ed. Longman Scientific and technical. pp. 216-234.
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Compuestos polifenólicos: efectos fisiológicos. Actividad antioxidante. *Alimentaria*. ene-feb, pp. 29-40.
- Santos-Moreno, A. y Esparza-Torres, F. (1995). *Manual de prácticas de química y bioquímica de alimentos*. 1<sup>a</sup>Ed.
- Sarker, S. y Muhsi, A.A. (1981). A study on the content and interconversions of organic acids of mango (*Mangifera indica* L.) at various stages of fruit development. *Bangladesh Journal of Agricultural Science*, **8**: 69-75.
- Selvaraj, Y. y Kumar, R. (1994). Enzymatic regulation in ripening mango fruit. *Indian Journal of Horticulture*. **51**: 316-323.
- Selvaraj Y; Kumar, R. y Pal D.K. (1989). Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*mangifera indica* L) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, **26** (6): 308-313.
- Sharma, R.R; Goswami, A.M; Singh, C.N; Chhonkar, O.P. y Singh G. (2001). Catecholase and cresolase activities and phenolic content in mango (*Mangifera indica* L.) at panicle initiation. *Scientia Horticulturae*, **87**: 147-151.
- Sharp, J.L. (1992). Hot air quarantine treatment for mango infested with Caribbean fruit fly (Diptera: thepripitidae). *Journal of Economic Entomology*, **85** (6): 2302-2304.
- Shashirekha, M.S. y Patwardhan, M.V. (1976) Changes in amino acids, sugars and nonvolatile organic acids in a repening mango fruit (*Mangifera indica* L. Badami variety). *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*, **9**: 369-370.

---

Shaw, P.E; Chan Jr, H.T. y Nagy, S. (1998). Mango. En: *Tropical and Subtropical Fruits*, A.G. Science Inc., USA, pp. 1-77.

Shellie, K.C. y Mangan, R.L. (2000). Postharvest disinfestation heat treatments: response of fruit and fruit fly larvae to different heating media. *Postharvest Biology and Technology*, **21**: 51-60.

SIAP / SAGARPA. (2003). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en:  [<www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/estacionalidad/EstacAgric03.pdf >](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/modelos/estacionalidad/EstacAgric03.pdf)

SIAP / SAGARPA. (2004). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en:  [<www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/Agricola/estacionalidad/perennes/mango.pdf >](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/Agricola/estacionalidad/perennes/mango.pdf)

Slinkard, K. y Singlanton, V.L. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods, *American Journal of Enology and Viticulture*, **28**: 49-55.

Smoot, J.J. y Segall, R.H. (1963). Hot water as a postharvest diseases of selected commodities. En: *Postharvest technology of horticultural crops*. Kader, A.A. (ed.), University of California, Oakland, California. pp. 117-160.

Snowdon, A.L. (1990). A colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables. **1: General introduction and fruits**. Wolfe Scientific Publications, London. UK. pp. 302.

Soule, M.J. y Harding, P.L. (1956). Changes in physical character and chemical constituents of Haden mangoes during ripening at 80°F. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **69**: 282-284.

Sutton, B.C. (1980). The Celomycetes Fungi Imperfecti with Pycnidia Acervuli and Stromata. Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England, pp. 526-537.

Terai, H. y Mizuno, S. (1985). Changes in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene-forming enzyme activity in growing and ripening fruits of tomato and cucumber. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, **53**: 467-473.

- 
- Tomás-Barberán, F y Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**: 853-876.
- Toraskar, M.V. y Modi, V.V. (1984). Peroxidase and chilling injury in banana fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **32**: 1352-1354.
- Tucker, G.A. (1987). Introduction of fruit and Vegetables Biochemistry. En: Seymour, G.B., Taylor, J.E. y Tucker, G.A. (eds.) *Biochemistry of fruit and Vegetables*. Ed. Chapman & Hall Inc. London. pp. 1-15.
- Universidad de Antioquia (UDEA), Vicerrectoría de docencia. (2003). Carotenoides. Disponible en: [www.docencia.udea.edu.co/~farmacogfit/Carotenoides/](http://www.docencia.udea.edu.co/~farmacogfit/Carotenoides/)
- Universidad de los Andes (ULA), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (FOREST). (2005). Clorofila, Disponible en: [www.forest.ula.ve/](http://www.forest.ula.ve/)
- Universidad Nacional Del Nordeste (UNNE), Facultad de Agroindustrias (FAI). (2005). Hipertextos de Biología. Disponible en: [www.fai.unne.edu.ar/biologia](http://www.fai.unne.edu.ar/biologia)
- Vázquez-Salinas, C. y Lakshminarayana, S. (1985). Composition changes in mango fruit during ripening at different storage temperature. *Journal of Food Science*, **50**: 1646-1648.
- Vela, G; León, D.M; García, H. y De la Cruz, J. (2003). Polyphenoloxidase activity during ripening and chilling stress in 'Manila' mangoes. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **78** (1): 104-107.
- Wang, C.Y. (1982). Physiological and Biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience*, **17**: 176-186.
- Wang, C.Y. (1990). Chilling Injury of Horticultural Crops. *HortScience*, **34**: 427-432.
- Wang, C.Y. (1991). Reduction of Chilling Injury in Fruits and Vegetables. *Post-harvest News and Information*, **2** (3):165-168.

- 
- Wang, C.Y. (2000). Postharvest techniques for reducing low temperature injury in chilling-sensitive commodities. En: F. Artés, M. I. Gil y M. A. Conesa (eds.). *Improving Postharvest Technologies for Fruits, Vegetables and Ornamentals*. Edit. Inter. Institute of Refrigeration.. II: 467-473.
- Wang, H; Cao, G. y Prior, R. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **45**: 304-309.
- Watada, A.E. (1982). Chilling Injury of horticultural Crops: Introduction. *HortScience*, **17** (2): 160.
- Willemont, C. (2002). Incidencia fisiológica de la conservación en frío. En: Tirill Y.I. y Bourgeois, C.M., (eds.). *Tecnología de la Hortalizas*. Editorial ACRIBIA, pp. 297-311.
- Wills, R.H.H; McGlasson, W.B; Graham,D; Lee, T.H. y Hall, E.G. (1989). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruitand vegetables*. 3<sup>rd</sup> edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp.176.
- Wilson, C.W; Shaw, P.E. y Knight, R.J. (1990). Importance of some lactones and 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone to mango (*Mangifera indica L*) aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **38**: 1556-1559.
- Wilson C; El Gaouth, A; Chalutz, E; Droby, S; Stevens, C; Lu, J.Y; Khna, V. y Arul, J. (1994). Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *Plant Disease*, **78**, 837-844.
- Yahia, K.E; Ortega, Z.D. y Mondragón, P.A. (1999). El desarrollo de tratamientos para disminuir el daño por frío y controlar insectos en frutos de guayaba en postcosecha. Disponible en: <[www.conacyt.mx/dadcytr/catalogo/cuaderno-sihgo-desarrollo](http://www.conacyt.mx/dadcytr/catalogo/cuaderno-sihgo-desarrollo)>
- Youssef, B.M; Asker, A.A; El-Samahy, S.K. y Swailam, H.M. (2002). Combined effect of steaming and gama irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. *Food Research International*, **35**: 1-13.
- Zambrano, J; Briceño, S; Méndez, C; Manzano, J. y Castellanos, E. (1997). Cambios en la maduración de frutos de mango cubiertos con ceras, durante el almacenamiento. *Agronomía tropical*, **47** (1): 5-15.

Zambrano, J. y Materano, W. (1999). Efecto del Tratamiento de Inmersión en Agua Caliente Sobre el Desarrollo de Daños por Frió en Frutos de Mango (*Mangifera indica* L.). *Agronomia tropical*, **49** (1): 81-92.

Zauberman, G; Fuchs, Y; Rot, I. y Wexler, A. (1988). Chilling injury, peroxidase and cellulase activities in the peel of mango fruit at low temperature. *HortScience*, **23** (4): 732-733.