



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS  
CON IRRADIACIÓN UV-C SOBRE LA ACTIVIDAD DE  
LA POLIFENOL OXIDASA Y PEROXIDASA EN  
MANGOS VARIEDAD 'ATAULFO' ALMACENADOS A  
BAJAS TEMPERATURAS.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A N:**  
**CLAUDIA IVONNE BRISEÑO CONTRERAS**  
**ZAIRA VARGAS SOLANO**

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

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTÓNOMA DE  
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES  
 ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Efecto de la aplicación de tratamientos con

irradiación UV-C sobre la actividad de la Polifenol oxidasa  
y Peroxidasa en mangos de la variedad 'Ataulfo' almacenados  
a bajas temperaturas.

que presenta la pasante: Zaira Vargas Solano

con número de cuenta: 09933721-2 para obtener el título de :

Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de marzo de 2008.

PRESIDENTE	<u>Dra. Susana Patricia Miranda Castro</u>	
VOCAL	<u>MC. Carolina Moreno Ramos</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Miriam Alvarez Velasco</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.A. Araceli Ulloa Saavedra</u>	





**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E**



**ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Efecto de la aplicación de tratamientos con  
irradiación UV-C sobre la actividad de la Polifenol oxidasa  
y Peroxidasa en mangos de la variedad 'Ataulfo' almacenados  
a bajas temperaturas.  
que presenta la pasante: Claudia Ivonne Briseño Contreras  
con número de cuenta: 40201510-9 para obtener el título de :  
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de marzo de 2008

<b>PRESIDENTE</b>	<u>Dra. Susana Patricia Miranda Castro</u>	
<b>VOCAL</b>	<u>M.C. Carolina Moreno Ramos</u>	
<b>SECRETARIO</b>	<u>Dra. María Andrea Trejo Márquez</u>	
<b>PRIMER SUPLENTE</b>	<u>I.A. Miriam Alvarez Velasco</u>	
<b>SEGUNDO SUPLENTE</b>	<u>I.A. Araceli Ulloa Saavedra</u>	

## *AGRADECIMIENTOS*

- Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica **PAPIIT** por el financiamiento para la realización de este proyecto (Clave: IN217807-3 '*La microbiota del mango, componente importante para mantener la inocuidad del fruto*').
  
- *A la Dra. María Andrea Trejo Márquez* Por su incansable esfuerzo, dedicación y orientación durante el desarrollo del proyecto y la realización de este trabajo de tesis.
  
- *A la M. en C. Norma Angélica Camacho de la Rosa* por el apoyo técnico, asesoramiento y tiempo dedicado para el desarrollo de la experimentación de este trabajo de tesis.

## *DEDICATORIAS*

### *CLAUDIA IVONNE*

**A mi Papá** Nicolás Briseño porque aunque no estás conmigo, segura estoy que allá donde estás, te sientes igual de contento que yo, siempre fuiste una pieza clave para que yo llegaré hasta donde estoy, GRACIAS, sin duda estarás tan orgulloso de mí, como yo lo estoy de ti.

**A mi Mamá** GRACIAS por estar conmigo, ya que eres un gran apoyo para mí y eres una persona a la que quiero y admiro mucho. Quiero que sepas que este logro también es tuyo por que sin tu cariño, guía, y ayuda, no hubiera realizado uno de mis más grandes y anhelados sueños.

**A mis sobrinos** Carlitos, Karen Daniela, Betsabe, Jahir y Romina por darme su amor y su cariño durante todo este tiempo, saben que son la razón de mi vida y que los quiero mucho, mis pequeños traviesos.

**A la Dra. Andrea** Gracias por la oportunidad , por creer en mi, por el gran apoyo, tiempo y dedicación que siempre me brindo, por permitirme formar parte de este proyecto tan importante y por la confianza que ha depositado en mi, le agradezco infinitamente por haberme ayudado a lograr una de mis metas de la cual usted también forma parte. Gracias por que es una persona a la que admiro y quiero mucho.

**A Mauricio y Ana** Les agradezco tanto su confianza, su apoyo moral y económico, porque siempre han estado conmigo, ya que son un gran apoyo para mí mil GRACIAS, los quiero mucho.

**A Hugo y Nancy** Gracias por estar siempre conmigo y por brindarme apoyo económico al darme trabajo durante toda la carrera, fueron una pieza importante en la terminación de esta tesis. Saben que los quiero mucho y siempre les voy estar muy agradecida por todo lo que han hecho por mí.


**A Zaira** Gracias por permitirme ser parte de este proyecto tan importante para ti como para mí, y que ahora terminamos satisfactoriamente, por la ayuda mutua que siempre existió durante el tiempo que estuvimos en el laboratorio, y por la amistad que siempre me brindaste.

**A mis Amigos y Compañeros del laboratorio de Postcosecha** Diana, Alicia, Lucia, Catalina, Juan Carlos, Yadira, Johana, Adriana, Lupita Pérez, Lupita Ramírez, Anabel, Jessica Garduño, Jessica Ávila, Karen, Adela , Carmen, Gaby, Selene, Issac, Carlitos, Ariadna, Carlos, les agradezco su amistad y compañerismo durante toda la carrera y durante mí estancia en el laboratorio de Postcosecha.

## DEDICATORIAS

### ZAIRA

Este trabajo está especialmente dedicado a:

- A Dios, por darme la oportunidad de prosperar uno de los grandes anhelos de mi corazón, porque aún en los momentos más difíciles tu presencia siempre estuvo conmigo y me permitió celebrar contigo este momento. No hay palabras para decirte cuan agradecida estoy por tu fidelidad. *Mi boca se llenó de risa, mi lengua de alabanza, entonces diré a las naciones ¡Grandes cosas ha hecho el Señor!* (Sal.123:2) EBENEZER. 
- A mi mamá, María Alejandra Solano, por enseñarme que sólo los grandes éxitos se consiguen con trabajo; por tu apoyo incondicional e insustituible, por tu abrazo que estuvo ahí cada vez que necesité fortaleza. Mamita, hoy comparto contigo éste triunfo que también es tuyo, que Dios te bendiga siempre por tu entrega y la pasión con la que haces todo. Te Amo
- A mis hermanitos Yeremí, Zareth y Alejandro, por su eterna disposición a facilitar las cosas, porque siempre han estado involucrados en mis proyectos, por su apoyo incondicional y la forma en la que me demuestran que voy a contar con ustedes para toda la vida. Para ustedes este trabajo, que bajo sus miradas pendientes fui construyendo pedazo a pedazo. Que Dios los bendiga. Los Amo muchísimo.
- A mi papa Joaquín Vargas, GRACIAS por tu amor y tu apoyo, Dios te bendiga, sabes que mis hermanos y yo te Amamos mucho.
- A la UNAM mi *Alma Mater* porque es un gran orgullo formar parte de esta institución, por la forma en la que impulsa los anhelos profesionales de los que formamos parte de ella, por las experiencias que viví dentro de sus aulas que sin duda marcaron mi vida, y por darme la oportunidad de rodearme de mucha gente valiosísima, que llevo en mi corazón.
- A la Dra. Andrea Trejo, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por el apoyo profesional y moral que siempre nos brindó, por la disposición y su consejo oportuno, MUCHAS GRACIAS por la confianza que depositó en nosotras, por su amistad.
- A Ivonne por participar en este proyecto conmigo, por ser siempre la otra mitad, por el esfuerzo y la pasión que siempre pusiste para que las cosas salieran bien. Amiga, hoy nuestro sueño es una realidad. Chaparrita que Dios te Bendiga siempre y adondequiera que vayas.
- A mis amigos Mauricio, Alejandro y Jorge, porque las mejores anécdotas de mi estancia en la UNAM las viví con ustedes y porque con su apoyo y consejo, grandes cosas que ahora forman parte mi vida vinieron de ustedes. Que Dios les prospere siempre los anhelos de su corazón. Mil GRACIAS por su amistad y su cariño, esto también es para ustedes.

- A mis amigos, mis hermanos en Xto. (por orden de aparición) :Jessy, Nelly, David, Yaz, Katya, Viri, Sandy, Karina, Jave y George, por su apoyo y por enseñarme que no hay mejor cariño que el de un buen amigo, GRACIAS por que siempre he encontrado en ustedes brazos abiertos para llorar o para demostrar con un abrazo sincero cuánto nos queremos. Este trabajo es para ustedes por sus oraciones y por su entrega conmigo y con mis hermanos. Les Amo.
- A la M en C Norma Camacho por su disposición y su apoyo, porque a través de gente como tú la UNAM construye grandes cosas cada día, muchas gracias por tu tiempo y tu consejo, son invaluable para mí.
- A Lupita Pérez y Lupita Ramírez, por su amistad y su apoyo, Gracias porque con su compromiso como mujeres y como universitarias, son un verdadero ejemplo. Que Dios las bendiga.
- A mis compañeros del Laboratorio Postcosecha: Gaby, Selene, Adriana, Adela, Isaac, Carlitos, Carmen, Karen, Jessica, Ariadna, porque aún con lo diversos que somos, siempre ha habido un punto en común que es el trabajo arduo y los anhelos de ejercer una carrera que nos ofrece una manera diferente de vivir. Unidos hemos sido un gran equipo. Mil GRACIAS a todos.



*El da esfuerzo al cansado,  
y multiplica las fuerzas  
al que no tiene ningunas.<sup>30</sup>  
Los muchachos se fatigan y se cansan,  
los jóvenes flaquean y caen;<sup>31</sup>  
pero los que esperan a Jah,  
tendrán nuevas fuerzas;  
levantarán alas como las águilas;  
correrán, y no se cansarán;  
caminarán, y no se fatigarán.*

*Is. 40:29-31*



---

**CONTENIDO.****Resumen.**

<b>1. Introducción.</b>	1
<b>2. Antecedentes.</b>	4
2.1 Generalidades del mango.	4
2.1.1 Origen del mango.	4
2.1.2 Clasificación botánica.	4
2.1.3 Valor nutricional.	5
2.1.4 Producción nacional.	5
2.1.5 Principales Estados productores.	6
2.1.6 Variedades que se cultivan en México.	7
2.1.6.1 Mango 'Ataulfo'.	7
2.1.6.1.1 Características morfológicas del fruto.	7
2.1.7 Cambios bioquímicos durante la maduración.	8
2.1.7.1 Respiración.	8
2.1.7.2 Producción de etileno.	9
2.1.7.3 Carbohidratos.	10
2.1.7.4 Ácidos orgánicos.	10
2.1.7.5 Sustancias pécticas.	10
2.1.7.6 Pigmentos.	11
2.1.7.7 Compuestos volátiles.	12
2.1.7.8 Lípidos.	12
2.1.7.9 Proteínas.	12
2.1.7.10 Compuestos fenólicos.	13
2.1.7.11 Enzimas.	14
2.2 Generalidades de las enzimas Polifenol oxidasa y Peroxidasa	15
2.2.1 Estructura de la polifenol oxidasa.	16
2.2.1.1 Mecanismo de reacción.	16
2.2.1.2 Sustratos.	18
2.2.2 Estructura de la peroxidasa.	19
2.2.2.1 Mecanismo de reacción.	19
2.2.2.2 Sustratos.	20
2.3 Pérdidas poscosecha.	21
2.3.1 Plagas.	22
2.3.2 Enfermedades.	22
2.3.3 Desórdenes fisiológicos.	22
2.3.3.1 Daños por frío.	25
2.3.3.2 Factores determinantes en el daño por frío.	26
2.3.3.3 Síntomas de los daños por frío.	27
2.3.3.4 Control de los daños por frío.	28
2.3.3.4.1 Tratamiento con irradiación.	28
2.3.3.4.1.1 Tratamiento con irradiación gamma.	31
2.3.3.4.1.2 Tratamientos con irradiaciones ultravioleta.	31



<b>3. Objetivos.</b>	34
Objetivo general.	34
Objetivos particulares.	34
<b>4. Materiales y métodos.</b>	35
4.1 Secuencia metodológica.	35
4.2 Material biológico.	36
4.3 Tratamiento de las muestras.	36
4.4 Caracterización física, química y fisiológica del mango conservado a temperatura ambiente.	37
4.5 Descripción del sistema de irradiación UV-C.	37
4.6 Selección de las condiciones de los tratamientos UV-C.	38
4.7 Efecto de los tratamientos por irradiación UV-C en mangos almacenados a bajas temperaturas.	38
4.7.1 Efecto de los tratamientos por irradiación UV-C en las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD) y contenido de Fenoles.	40
4.8 Métodos analíticos.	41
4.8.1 Parámetros químicos.	41
4.8.1.1 Determinación de humedad.	41
4.8.1.2 Determinación de carbohidratos.	41
4.8.1.3 Determinación de proteína.	41
4.8.1.4 Determinación de fibra cruda.	41
4.8.1.5 Determinación de grasa.	42
4.8.1.6 Determinación de cenizas totales.	42
4.8.2 Determinación de los parámetros de calidad.	42
4.8.2.1 Determinación de sólidos solubles.	42
4.8.2.2 Determinación de pH.	43
4.8.2.3 Determinación de acidez.	43
4.8.2.4 Determinación de firmeza.	44
4.8.2.5 Determinación de pérdida de peso.	44
4.8.2.6 Determinación del color.	44
4.8.3 Determinación de los parámetros fisiológicos.	45
4.8.3.1 Determinación de la respiración.	45
4.8.3.2 Índice de daño por frío.	46
4.8.3.3 Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (POD).	46
4.8.3.3.1 Preparación del extracto crudo.	46
4.8.3.3.2 Determinación de la actividad de Polifenol Oxidasa.	47
4.8.3.3.3 Determinación de la actividad de Peroxidasa.	48
4.8.3.3.3.4 Ensayo de distribución de PPO y POD (“nitrocellulosa tissue print”).	48
4.8.3.4 Determinación de fenoles totales.	48
4.8.3.4.1 Preparación del extracto.	48



4.8.3.4.2 Cuantificación de fenoles totales.	49
4.9 Análisis estadístico.	49
<b>5. Resultados y Discusión.</b>	<b>50</b>
5.1 Evaluación de las características físicas, químicas y de calidad del mango 'Ataulfo' en estado preclimático y climatérico conservado a temperatura ambiente.	50
5.2 Efecto del tiempo de exposición a los tratamientos de irradiación UV-C.	55
5.2.1 Determinación del índice de quemaduras.	55
5.2.2 Efecto en los parámetros de calidad.	58
5.2.3 Efecto en los parámetros fisiológicos y bioquímicos.	66
5.2.3.1 Efecto en la actividad de la enzima Polifenol Oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD).	69
5.2.3.2 Efecto en el contenido de fenoles totales.	77
5.3 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C en los parámetros de calidad y fisiológicos del mango variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas.	81
5.4 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C sobre la actividad enzimática de la Polifenol oxidasa y Peroxidasa y su relación con el índice de daños por frío.	96
5.5 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C sobre el contenido de fenoles totales y su relación con los daños por frío.	113
<b>6. Conclusiones.</b>	<b>120</b>
<b>7. Recomendaciones.</b>	<b>121</b>
<b>8. Anexos.</b>	<b>122</b>
<b>9. Referencias.</b>	<b>126</b>
<b>10. Abreviaturas.</b>	<b>136</b>



**Índice de tablas.**

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Clasificación botánica del mango.	4
2	Composición química del mango.	5
3	Principales plagas del mango.	23
4	Enfermedades del mango.	24
5	Tratamientos aplicados para alargar la vida útil en mango.	29
6	Tipo de irradiaciones ultravioleta.	31
7	Diseño experimental.	38
8	Escala del grado de avance de los síntomas de daños por frío.	46
9	Características físicas de mango 'Ataulfo'.	50
10	Composición química del mango variedad 'Ataulfo'.	51
11	Parámetros fisicoquímicos del mango variedad 'Ataulfo'.	52



**Índice de figuras.**

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Distribución de la exportación mundial de mango en el año 2005.	6
2	Distribución de la producción nacional de mango en el 2005.	6
3	Mecanismo de hidroxilación de monofenoles a <i>o</i> -difenoles por la polifenol oxidasa.	17
4	Mecanismo de oxidación de <i>o</i> -difenoles a <i>o</i> -quinonas por la polifenol oxidasa.	17
5	Sustratos más utilizados por la polifenol oxidasa para llevar a cabo la reacción de pardeamiento enzimático.	18
6	Mecanismo de oxidación de la peroxidasa en guayacol.	20
7	Sustratos utilizados durante los mecanismos de reacción de la peroxidasa.	21
8	Espectro electromagnético.	32
9	Cuadro metodológico.	35
10	Mango variedad 'Ataulfo'.	36
11	Selección de mango 'Ataulfo'.	36
12	Cámara de irradiación UV-C.	37
13	Refractómetro manual.	42
14	Potenciómetro manual.	43
15	Determinación de acidez por titulación directa.	43
16	Penetrómetro manual.	44
17	Colorímetro MINOLTA.	45
18	Determinación de la respiración con analizador de gas.	45
19	Microcentrífuga digital.	47
20	Espectrofotómetro.	47



---

<b>21</b>	Producción de CO <sub>2</sub> del mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C.	54
<b>22</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre el índice de quemaduras de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C.	56
<b>23</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamientos UV-C sobre el índice de quemaduras de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C	57
<b>24</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre el pH de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C.	58
<b>25</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la acidez de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C.	61
<b>26</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre los sólidos solubles de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	63
<b>27</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la firmeza de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	64
<b>28</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la pérdida de peso de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	66
<b>29</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la respiración de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	67
<b>30</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PPO en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	70
<b>31</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PPO en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	72
<b>32</b>	Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PDO en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	74
<b>33</b>	Efecto del tratamiento UV-C sobre la actividad de la PDO en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	76
<b>34</b>	Efecto del tratamiento UV-C sobre el contenido de fenoles totales en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.	78

---



---

<b>35</b>	Efecto del tratamiento UV-C sobre el contenido de fenoles totales en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 °C.	79
<b>36</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el pH en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20 °C y a 5 °C por 25 días.	82
<b>37</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la acidez en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20 °C y a 5 °C por 25 días.	83
<b>38</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre Sólidos Solúbles en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	85
<b>39</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la firmeza en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	86
<b>40</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la luminosidad en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días.	88
<b>41</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el Tono en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días.	89
<b>42</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre Croma en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	91
<b>43</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la pérdida de peso en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	92
<b>44</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la respiración en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	94
<b>45</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la el índice de daño por frío en mangos 'Ataulfo' almacenados a 5°C por 25 días.	97
<b>46</b>	Mangos variedad 'Ataulfo' tratados con irradiación UV-C, almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días y trasferidos a 20°C para su maduración.	98
<b>47</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Polifenol Oxidasa en piel de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y 5°C por 25 días.	100
<b>48</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Polifenol Oxidasa en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	102
<b>49</b>	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Peroxidasa en piel de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	105

---



50	Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Peroxidasa en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	106
51	Distribución de la actividad enzimática de la PDO( Nitrocellulosa tissue print) en mango 'Ataulfo ' almacenado a bajas temperaturas, en estadio preclimatérico y postclimatérico	111
52	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el contenido de fenoles totales en piel de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	114
53	Efecto de los tratamientos UV-C sobre el contenido de fenoles totales en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días.	116



## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de los tratamientos por irradiación UV-C, en el control de los daños por frío y en las enzimas relacionadas con el pardeamiento enzimático (Polifenol oxidasa y Peroxidasa) en mangos variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas.

Se utilizaron mangos de la variedad 'Ataulfo', los cuales fueron irradiados por 5, 10 y 20 minutos y almacenados a 20°C. Para evaluar el efecto de los daños ocasionados por las bajas temperaturas se almacenó un lote de frutos a 5°C por 25 días y posteriormente se transfirieron a 20°C para monitorear el proceso de maduración en los frutos, determinando los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza y color). Además, se evaluaron la respiración, la actividad enzimática de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO) y el contenido de fenoles totales, así como su relación con los síntomas del daño por frío.

En los resultados obtenidos se encontró que los tratamientos con irradiación UV-C (285-100nm) fueron efectivos para el control de los daños por frío, registrándose un daño moderado en los frutos sometidos a 5 y 10 minutos de irradiación, disminuyendo el efecto del daño en un 32% ,respecto a los frutos sin tratamiento.

En cuanto a los parámetros de calidad no se observó diferencia significativa entre los frutos tratados y los frutos control. Se determinó que los síntomas de daño por frío (IDF) presentaron una correlación con la activación de la PPO y la PDO, en mango 'Ataulfo', estos síntomas se encuentran estrechamente ligados con la actividad de estas enzimas pertenecientes al grupo de las oxido-reductasas.

Los compuestos fenólicos en la piel y pulpa de mango, se incrementaron por el efecto del tratamiento aunado con las bajas temperaturas de almacenamiento. Se encontró una relación entre los daños por frío y la maduración; éstos aumentaron un 60% en el postclimaterio en comparación con los frutos preclimatéricos.

Se concluye que la irradiación UV-C por tiempos de 5 y 10 minutos puede ser una alternativa viable para el control de daños por frío.

---





## 1. INTRODUCCIÓN.

El mango (*Mangifera indica*, L.) pertenece a la familia de las dicotiledóneas *Anacardiaceae*, es originario del sur y sureste de Asia, en cuanto a producción y popularidad, es una de las frutas tropicales más importantes, ya que posee un color y sabor atractivos, además de tener múltiples propiedades nutricionales (Allende-Molar *et al.*, 2002).

El mango es un fruto climatérico, que durante la maduración presenta un aumento en la velocidad de respiración aunado a la producción autocatalítica de etileno; fitohormona encargada del desarrollo de los factores fisiológicos que determinan la calidad organoléptica de la fruta como lo es: el ablandamiento del fruto, desarrollo del color, olor y sabor característicos que pueden variar de acuerdo a la variedad de mango de que se trate (Suresh *et al.*, 2003).

La producción de mango 'Ataulfo' tiene sus orígenes en el año de 1963, cuando se realizaron investigaciones sobre este fruto, con diferentes materiales existentes en la región del Soconusco Chiapas; detectando en un predio de Tapachula, propiedad del señor Ataulfo Morales Gordillo, 5 árboles con características sobresalientes del fruto, de los cuales se han obtenido yemas y varetas para propagar este material en toda la región del Soconusco y otras regiones productoras del fruto en el país (IMPI, 2002).

El mango 'Ataulfo' tiene entre sus características generales las siguientes: un peso promedio de 350 g; una composición de 69% de pulpa, 19% cáscara y 8.5 % hueso o semilla. La pulpa es de consistencia firme con muy poco contenido de fibra, con sabor dulce y baja de acidez, con cáscara firme, color amarillo y resistente al manejo poscosecha (IMPI, 2002).

México es uno de los principales países productores de mango 'Ataulfo', siendo Oaxaca, Chiapas y Guerrero los estados de la república con mayores extensiones de tierra dedicados a la producción de este fruto.



La importancia económica del mango 'Ataulfo' radica en que el precio pagado por este fruto, resulta hasta cuatro veces mayor que el ofrecido por la variedad 'Manila', por lo cual, es exportado a diversos países del mundo entre los que destacan: Estados Unidos, Canadá, Francia, Italia, España, Inglaterra, además de otros países asiáticos y centroamericanos; por lo cual el empleo de bajas temperaturas de almacenamiento es muy recurrente en el transporte y comercialización del mango (SIAP-SAGARPA, 2005).

Al ser el mango un fruto tropical, presenta una amplia susceptibilidad al daño por frío (Couey, 1982), que es un desorden fisiológico, que ocurre al almacenar el fruto a temperaturas menores a la temperatura crítica (10°C). Algunos autores, refieren este desorden con síntomas como: decoloración y excoriaciones en la piel, maduración nula o poco homogénea, pobre desarrollo del color, sabor y con ello grave pérdida de la calidad del fruto (Couey, 1982; Mitra y Baldwin, 2002).

Los daños por frío, pueden reducirse a partir de diferentes tecnologías planteadas tras previas investigaciones en el área, aumentando la tolerancia al frío de los productos o bien retrasando el desarrollo de los síntomas (Wang, 2000).

Dentro de los métodos químicos empleados en el retraso del desarrollo de los síntomas, se encuentra la aplicación de sustancias antioxidantes ( Benzoato de sodio, fungicidas y vapores de etanol) , los tratamientos térmicos en los cuales el fruto se somete a baños de aire y agua a temperaturas que van desde los 30 a los 50 °C, además del uso de atmósferas modificadas, en gran medida han favorecido a disminuir los estragos y pérdidas causadas por los daños provocados por las bajas temperaturas de almacenamiento (Parry 1995; Artés – Hernández, 2003).

El uso de tecnologías emergentes como lo es, la irradiación de alimentos, ha ganado popularidad muy lentamente, en gran parte porque la industria y los consumidores aún asocian este proceso con posibles compuestos cancerígenos, además de la reducción de contenido nutricional en alimentos. Sin embargo, la irradiación ultravioleta (UV-C), radiación no ionizante, se utiliza ampliamente como una alternativa a la esterilización química, reduciendo el crecimiento de organismos vegetativos en productos alimenticios.



La luz UV también induce al estrés biológico en plantas, así como mecanismos de defensa de los tejidos vegetales con la consecuente producción de fitoalexinas (Mercier, 1997). Recientemente, la irradiación UV-C ha sido considerada como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas (González-Aguilar *et al.*, 2005b). El modo de acción antimicrobiana de la UV-C reside en el daño que ésta provoca en el DNA de los microorganismos.

Trabajos con diversas variedades de manzana cubiertas con un film impermeable a las radiaciones UV presentaron una acumulación de antocianos y la actividad de enzimas que metabolizan compuestos fenólicos fueron inhibidas o reducidas (Kubo *et al.*, 1988). En diversas investigaciones sobre la relación entre la radiación UV y los compuestos fenólicos, especialmente los antocianos y en menor grado los flavonoides, parecen indicar que la luz es un factor determinante en la acumulación de gran parte de estos compuestos fenólicos en frutos y otras especies vegetales. Debido, principalmente a la contribución de las cadenas de carbono derivadas de la fotosíntesis, y de manera más específica, a partir de la activación de enzimas del metabolismo fenólico, (polifenoloxidasas y peroxidasas) (González-Aguilar *et al.*, 2005a; Macheix *et al.*, 1990).

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos por irradiación ultravioleta (UV-C) en el control de los daños por frío y en las enzimas relacionadas con el pardeamiento enzimático (Polifenol oxidasa y Peroxidasas), en mango variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas.



---

---

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Generalidades del mango

#### 2.1.1 Origen del mango.

El mundo occidental se relacionó con el mango e inició su actual distribución mundial con la apertura de las rutas marítimas hacia el Lejano Oriente, al principio del siglo XVI, por los portugueses. También se le llevó de Indochina a la isla de Mindanao, no siendo sino hasta fines del siglo XIV y principio del siglo XV que los viajeros españoles llevaron la fruta desde la India hasta Manila, en Luzón. Mientras tanto, los portugueses en Goa, cerca de Bombay, transportaron fruta de mango al sur de África, de ahí hacia Brasil, alrededor del siglo XVI y unos 40 años después a la Isla de Barbados (INFOAGRO, 2002).

Del mismo modo, los españoles introdujeron este cultivo a sus colonias tropicales del continente americano, por medio del tráfico entre las Filipinas y la costa oeste de México entre los siglos XV y XVI. Jamaica importó sus primeros mangos de Barbados y las otras islas de las Indias Occidentales, al principio del siglo XVII. Los mangos fueron llevados de México a Hawai, en 1809, y a California, alrededor de 1880, mientras que la primera plantación permanente en Florida data de 1861 (INFOAGRO, 2002).

#### 2.1.2 Clasificación botánica.

El mango (*Mangifera indica L.*) pertenece a la familia de las dicotiledóneas *Anacardiaceae* (ver Tabla1), originario del sur y sureste de Asia. Tiene algunos parientes conocidos, tales como el marañón (*Anacardium occidentale L.*), el pistachero (*Pistacia vera L.*), entre otras.

**Tabla 1.** Clasificación botánica del mango.

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.	
REINO:	Vegetal
CLASE:	Angiospermae
SUBCLASE:	Dicotyledonae
ORDEN:	Sandae
FAMILIA:	Anacardiaceae
GÉNERO:	Mangifera
ESPECIE:	<i>Mangifera indica L.</i>

Fuente: Corporación Colombiana Internacional (1992).



### 2.1.3 Valor nutricional.

Los frutos del mango constituyen un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitaminas A y C, minerales (potasio, hierro y calcio), fibras y anti-oxidantes como  $\beta$  caroteno; siendo bajos en calorías, grasas y sodio. Su valor calórico es de 62-64 calorías/100 g de pulpa. En la Tabla 2 se muestra la composición química del mango en 100 g de parte comestible.

**Tabla 2.** Composición química del mango.

<b>COMPONENTES</b>	<b>VALOR MEDIO DE LA MATERIA FRESCA</b>
Agua (g)	81.80
Carbohidratos (g)	16.40
Fibra (g)	0.70
Vitamina A (U.I.)	1100
Proteínas (g)	0.50
Ácido ascórbico (mg)	80
Fósforo (mg)	14
Calcio (mg)	10
Hierro (mg)	0.40
Grasa (mg)	0.10
Niacina (mg)	0.04
Tiamina (mg)	0.04
Riboflavina (mg)	0.07

Fuente: INFOAGRO (2002).

### 2.1.4 Producción nacional.

México es el mayor productor de mango de América con **3, 405,000 MT**, ubicándose como el cuarto productor del mundo. Con una superficie cultivada de 173,769 hectáreas ocupando el primer lugar por volumen de exportación en el mundo con el 25% de las exportaciones mundiales, colocando 212,505 MT de las 1, 503,000 MT que se exportaron en el 2006 (Fig.1). 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. Sus exportaciones se destinan a los mercados de Estados Unidos (86%), Canadá (7.5%), Europa (3.2%) y Japón (1.85%) (FAO, 2005).



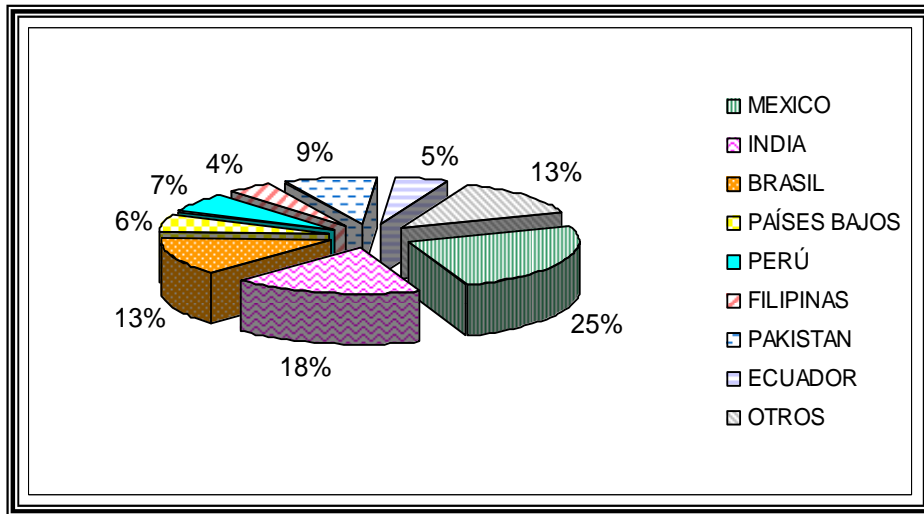


Figura 1. Distribución de la exportación mundial de mango en el año 2005.

Fuente: FAO (2005).

### 2.1.5 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 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, Oaxaca, Chiapas y Michoacán que en conjunto, aportan el 87% de la producción nacional (Fig.2) (SIAP / SAGARPA, 2005).

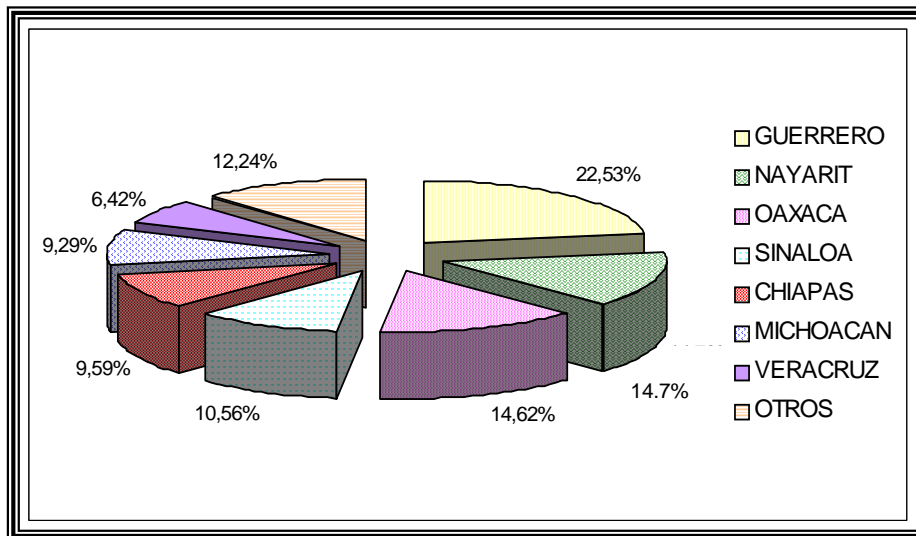


Figura 2. Distribución de la producción nacional de mango en el 2005.

Fuente: SIAP/SAGARPA (2005)



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

Existen centenares de variedades de mango cultivadas alrededor del mundo, pero solamente algunas de ellas son cultivadas a escala comercial. Las principales variedades cultivadas en México son: 'Ataulfo', 'Haden', 'Irwin', 'Kent', 'Keitt', 'Manila', 'Palmer', 'Sensation', 'Tommy Atkins' y 'Van Dyke' (Ramírez-Villatoro, 2005).

#### **2.1.6.1 Mango 'Ataulfo'.**

Desde 1963 a la fecha se han establecido 15,000 hectáreas de este mango que representa cerca del 83% de la superficie cultivada, cuyo volúmen anual es aproximadamente 176,000 toneladas, por lo que ha generado fuentes de empleo, servicios, centros de investigación, agroindustrias, comercializadoras, infraestructura y asociaciones de productores (IMPI, 2002).

En la planicie costera donde se cultiva el mango 'Ataulfo' predomina el clima cálido subhúmedo y cálido húmedo, ambos con lluvias en verano y oscilaciones isotermales menores de 5°C; tiene dos épocas secas, durante el verano y el invierno, siendo esta última la más marcada (IMPI, 2002).

La zona de producción del mango 'Ataulfo' abarca los municipios de: Suchiate, Frontera Hidalgo, Metapa, Tuxtla Chico, Tapachula, Mazatlán, Huehuetán, Tuzantán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Escuintla, Acacoyagua y Acapetahua, los cuales conforman la denominada región del "Mango Ataulfo del Soconusco Chiapas".

La temporada de cosecha es de finales de febrero a agosto y los principales productores de mango 'Ataulfo' son los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (IMPI, 2002).

##### **2.1.6.1.1 Características morfológicas del fruto.**

El mango 'Ataulfo' tiene un peso promedio de 350 g, una composición promedio de 69% de pulpa, 19% cáscara y 8.5% hueso o semilla. La pulpa es de consistencia firme con muy poco contenido de fibra, con sabor dulce y baja de acidez, con cáscara firme y de color amarillo y resistente al manejo postcosecha, con una vida de anaquel de hasta 16 días a temperatura de 13 °C (IMPI, 2002).



### 2.1.7 Cambios bioquímicos durante la maduración.

La etapa comprendida entre la cosecha y la madurez comercial del mango es un importante factor que finalmente determina el periodo de conservación y la calidad del fruto. Los mangos se cosechan en un estado de madurez fisiológica (verde), lo cual se logra después de haberse formado el fruto (Kudachikar *et al.*, 2003).

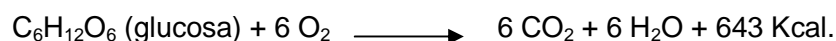
Los índices de cosecha son muy subjetivos debido a las diferencias existentes entre: mangos, cultivares, zonas productoras, condiciones de producción y destino final. Sin embargo, se ha tratado de definir en función de los parámetros físicos, químicos y fisiológicos que determinan el momento óptimo de la cosecha (Morton, 1987).

La maduración del mango implica grandes cambios bioquímicos y fisiológicos, como la alteración de la respiración, producción de etileno, cambios en el sabor, la textura, el aroma y valores nutricionales. Estos cambios ocurren en un lapso de 7 a 10 días a temperatura ambiente, dependiendo de la variedad y el estado de madurez (Pantástico, 1987).

#### 2.1.7.1 Respiración.

La respiración, es el proceso fisiológico fundamental después de la cosecha de los frutos, debido a que durante éste, se produce la energía necesaria para desarrollar los mecanismos de síntesis y mantener la integridad celular. Además tiene lugar una pérdida de sustancias nutritivas, siendo los azúcares los más afectados y también la emisión de etileno y otras sustancias volátiles (Lamúa, 2000).

En este proceso, totalmente imprescindible para el fruto, evoluciona normalmente y absorbe oxígeno y desprende anhídrido carbónico y calor, según la siguiente reacción:



Este calor de respiración, es parte de la energía liberada (la otra parte de esta energía la utilizan las células para consumirla en sus actividades energéticas internas) y es el que precisa ser eliminado para mantener el fruto a baja temperatura durante la frigoconservación (Durán, 1983).



El periodo de maduración en los frutos climatéricos es caracterizado por una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción autocatalítica de etileno y un incremento en la respiración; también ocurren todos los cambios característicos a la maduración, como la formación de color, sabor y aroma.

El climaterio corresponde al periodo en el cual, los frutos están en óptimas condiciones para ser consumidos (maduración comercial). El descenso de la actividad respiratoria en el postclimaterio, indica el inicio de la senescencia o envejecimiento del fruto y cesa definitivamente cuando el fruto se halla próximo a la muerte (Flores, 2000).

Los patrones respiratorios y el comportamiento postcosecha de los frutos varían ampliamente de acuerdo con la variedad, las condiciones climáticas y el lugar de cultivo (Mitra y Baldwin, 1997). En el mango como es un fruto climatérico se caracteriza por un aumento en la respiración a medida que madura, coincide con el comienzo de la maduración. Junto con la respiración climatérica, se incrementa la actividad de la catalasa y peroxidasa (Mitra y Baldwin, 1997).

### **2.1.7.2 Producción de etileno.**

El etileno es una fitohormona naturalmente producida por las plantas. Juega un papel muy importante afectando su crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia, a concentraciones bajas. En frutos climatéricos de madurez fisiológica, acelera la maduración, ya sea por su producción endógena o adicionado externamente (Flores, 2000).

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 ACC sintetasa en ácido -1-aminociclopropano -1-carboxílico (ACC). Finalmente, al actuar la enzima ACC oxidasa, el ACC se convierte en etileno (Barret, 2005).

Las enzimas involucradas en la biosíntesis de 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 (Barret, 2005).



### **2.1.7.3 Carbohidratos.**

Entre las primeras reacciones bioquímicas de la maduración, están las modificaciones de los constituyentes glucídicos. En general, el contenido de azúcares y el sabor azucarado aumentan en el transcurso de la maduración, a pesar del consumo de una parte de esos azúcares por la oxidación respiratoria. Esos azúcares provienen de la hidrólisis del almidón en los cloroplastos o bien de la hemicelulosa de la pared celular (Moreno, 1998).

La glucosa, fructosa y la sacarosa constituyen la mayoría de los monosacáridos, que se han distribuido para estar en concentraciones similares en los mangos maduros. Durante la maduración del fruto, la sacarosa aumenta de 3 a 4 veces (contribuye el 57% de azúcar total en el mango), sin embargo, durante el período postclimatérico el aumento en el contenido de azúcares reductores se hace a expensas de la sacarosa (Gómez-Lim, 2000).

### **2.1.7.4 Ácidos orgánicos.**

Por lo general, la maduración presupone un descenso de la acidez en el mango, debido a la alta tasa de pérdida del ácido cítrico y pequeñas cantidades de ácido málico, cambiando el pH de 2.2 a 5.5; de esta forma se produce la desaparición del sabor ácido y la astringencia para dar lugar al sabor suave y con ello aumenta la relación azúcares/ácidos (Pantástico, 1987).

Los ácidos pueden considerarse, como una fuente de reserva de energía del fruto y en consecuencia disminuye durante la actividad metabólica que ocurre durante la maduración. En la disminución de los ácidos orgánicos cuando la fruta madura, el ácido predominante es el ácido cítrico seguido por el málico, tartárico y oxálico (Flores, 2000).

### **2.1.7.5 Sustancias pécticas.**

En el fruto los compuestos pécticos, formados por largas cadenas de ácido galacturónico mantiene estrechamente unidas las paredes de las células contiguas y aseguran la firmeza de los tejidos (Primo, 1998).





Las sustancias pécticas resultan profundamente modificadas durante el crecimiento y maduración. La protopectina insoluble, se transforma en pectinas soluble y esta posteriormente se desmetoxila y despolimeriza parcialmente debido, en parte, a una síntesis acelerada de pectinasas. Estos cambios afectan a la pared celular y motivan un ablandamiento del fruto (Primo, 1998).

La degradación de las sustancias pécticas, se acelera después de la maduración, el contenido de pectatos y pectinatos solubles aumenta, mientras que disminuye el contenido total de sustancias pécticas; a medida que cambia la pectina, la firmeza de los frutos disminuye (Pantástico, 1987).

### **2.1.7.6 Pigmentos.**

Durante la maduración, el color de la piel cambia gradualmente de verde a naranja/amarillo. Y éste fenómeno está asociado con la pérdida de la textura, incremento del contenido de azúcares y disminución de la acidez. En los frutos inmaduros la coloración verde-amarilla es impartida por lípidos solubles en clorofilas; la cual esta localizada en los cloroplastos, mientras que el color amarillo puede ser por las xantofilas y el rojo por los carotenoides o por los antocianos solubles en agua que se encuentran en la vacuola (Medlicott *et al.*, 1986).

Los pigmentos sufren considerables modificaciones durante la maduración. Por lo general, el paso de verde a amarillo o rojo, corresponden al desenmascaramiento de los pigmentos carotenoides y xantofilas, debido a la degradación de las clorofilas, al mismo tiempo hay frecuentemente una síntesis de carotenoides (Moreno, 1998).

Los niveles de antocianinas gradualmente declinan, indicando un incremento prominente de rubor en algunos cultivares, al incrementarse el contenido de carotenoides.

En la pulpa los carotenoides continúan incrementándose en el fruto como un proceso de maduración, y el nivel varía según cultivar (Lizada, 1993).



#### **2.1.7.7 Compuestos volátiles.**

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 cambie como consecuencia de la maduración (Gómez-Lim, 2000).

La maduración origina un gran número de compuestos orgánicos volátiles que en parte, son responsables del aroma del fruto. Sus funciones en el metabolismo y las reacciones que motivan su formación, aún son poco conocidas; sin embargo las sustancias características que aportan a cada fruta su aroma típico son fundamentalmente aldehídos, ésteres, alcoholes e hidrocarburos terpénicos (Moreno, 1998).

#### **2.1.7.8 Lípidos.**

Los lípidos representan menos del 1% del peso fresco de la mayoría de los frutos y se encuentran asociados con las capas cuticulares protectoras de la superficie y con las membranas celulares (Wills *et al.*, 1987).

Los lípidos pueden estar relacionados con el desarrollo del sabor y color del mango durante la maduración. La mayoría de los lípidos encontrados en el mango son ésteres de ácidos grasos de cadena larga. El contenido de lípidos totales y glicéridos se incrementa conforme avanza la maduración (Gómez-Lim, 2000).

#### **2.1.7.9 Proteínas.**

Las proteínas y los 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 (Flores, 2000).

El contenido en proteínas de los frutos aumenta durante el almacenamiento y después disminuye lentamente; durante el climaterio aumenta la actividad de algunas enzimas. Mientras tanto, en la senescencia aumenta el nivel de los aminoácidos libres lo que revela una degradación de las enzimas y un descenso de la actividad metabólica (Primo, 1998).



#### 2.1.7.10 Compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios producidos por los vegetales, presentan una estructura química en común, la presencia de anillos aromáticos con grupos hidroxilos responsables de su actividad. Los polifenoles presentes en los alimentos de origen vegetal comprenden una gran diversidad, entre los más importantes podemos destacar los ácidos hidroxicinámicos, estilbenos, ácido benzoico, flavonoides, proantocianidinas, lignanos y ligninas (González-Aguilar, 2005 b).

Los compuestos fenólicos sencillos pueden considerarse derivados de fenoles simples, del ácido benzoico, de la acetofenona y del ácido cinámico. 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 fenilpropanoides e incluyen una gran variedad de compuestos (Hobson, 1993).

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

Estos compuestos se depositan principalmente en la membrana celular, donde se acumulan la lignina y las moléculas simples (flavonoides y ésteres de ácidos ferúlicos), y en las vacuolas donde se almacenan los compuestos fenólicos solubles y sus derivados.

La acumulación de compuestos fenólicos solubles es mayor en los tejidos finos externos de las frutas pulposas, que en el tejido fino interno, debido a que la formación de compuestos fenólicos depende de la luz, y por lo tanto, se encuentran principalmente en la piel de frutas (Marshall *et al.*, 2000).

Los compuestos fenólicos, han sido ampliamente estudiados por su relación con las características de calidad de los alimentos vegetales y el color es uno de ellos, ya que muchos son pigmentos como las antocianinas, otros al ser oxidados enzimáticamente dan lugar al fenómeno del pardeamiento enzimático; además, también participan como



compuestos proporcionadores de sabor del fruto: los ácidos fenólicos proporcionan acidez, los flavanos astringencia y las flavonas y flavononas amargor (González-Aguilar *et al.*, 2005b).

En el mango se encuentran presentes los ácidos: tánico, gálico, ferúlico, cinámico, cafeíco, vanílico y cloragénico (Singh *et al.*, 2004).

La concentración de compuestos fenólicos decrece durante la maduración y varía ampliamente dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales. Durante la maduración se incrementa la condensación de los compuestos fenólicos, disminuyendo la astringencia y el amargor (Hobson, 1993).

### **2.1.7.11 Enzimas.**

Las propiedades mecánicas de las frutas cambian ampliamente, no sólo durante la maduración y almacenamiento sino también durante el procesamiento, a causa de las alteraciones de sus componentes estructurales por ejemplo, la pared celular, la laminilla media, y las membranas (Alzamora *et al.*, 2000).

Muchos de los efectos químicos y físicos que se observan durante la maduración de los frutos son atribuidos a acciones enzimáticas. Las enzimas que se encuentran de manera natural, pueden ser la causa de la pérdida del sabor, la aparición de colores indeseables, hasta la pérdida de calidad de los mangos.

Las enzimas que generalmente se encuentran en el mango son: polifenol oxidasa, pectinmetilesterasa, peroxidasa, amilasa, catalasa e invertasa.

La mayoría de las enzimas se encuentran ubicadas en las membranas de las estructuras subcelulares como los cloroplastos, donde realizan gran variedad de reacciones, entre ellas la conservación de la energía lumínica a través de la fotofosforilación y la fijación de dióxido de carbono (Camacho de la Rosa, 2004).

Las pectinasas tienen una gran importancia en los frutos, ya que participan en su maduración transformando las pectinas insolubles (protopectinas) en pectinas solubles. En el almacenamiento, producen ablandamiento de frutos y hortalizas.



Un grupo importante de enzimas relacionadas con el metabolismo de fenoles son las polifenol oxidasas (PPO), enzima responsable del oscurecimiento enzimático que ocurre durante el almacenamiento y procesamiento de muchos frutos (Trejo-Márquez, 2000).

### **2.2 Generalidades de las enzimas Polifenol oxidasa y Peroxidasa.**

La mayoría de las frutas y hortalizas presentan pardeamiento después de haber sufrido algún tipo de daño, corte, magulladura o infección. El pardeamiento es una de las principales causas de pérdida poscosecha de productos hortofrutícolas.

El cortado del tejido produce rápidamente una señal de daño, que se cree responsable de la inducción de diversas reacciones fisiológicas entre las que se incluyen: incremento de la respiración y producción de etileno, biosíntesis de compuestos fenólicos, inducción de reacciones metabólicas indeseadas entre las que se encuentra el pardeamiento enzimático, además de la estimulación de la cicatrización de lesiones (González-Aguilar et al., 2005b).

El incremento de la tasa respiratoria y de la producción de etileno es una de las primeras respuestas al daño. No todo el  $O_2$  que consume el tejido se utiliza en la respiración, ya que el incremento incontrolado del consumo de  $O_2$  por un tejido cortado es, frecuentemente, una indicación del pardeamiento enzimático (González-Aguilar et al., 2005b).

Los productos de la oxidación de los compuestos fenólicos, parecen estar implicados en la defensa de las plantas frente a patógenos invasores, ayudando, la polimerización de estos compuestos oxidados, al sellado y cicatrización de heridas.

El pardeamiento enzimático es una reacción de oxidación en la que interviene como sustrato el oxígeno molecular, catalizado principalmente por las enzimas polifenol oxidasa y peroxidasa (Macheix et al., 1990).



### 2.2.1 Estructura de la polifenol oxidasa.

La polifenol oxidasa, (EC 1.14.18.1) tiene dos actividades enzimáticas, una hidroxilando monofenoles (“cresolasa”) y otra oxidando difenoles a quinonas (catecolasa). Dependiendo de la fuente, la actividad “cresolasa” es mayor o menor, incluso inexistente en algunos casos (Guadarrama y Rivas, 1995).

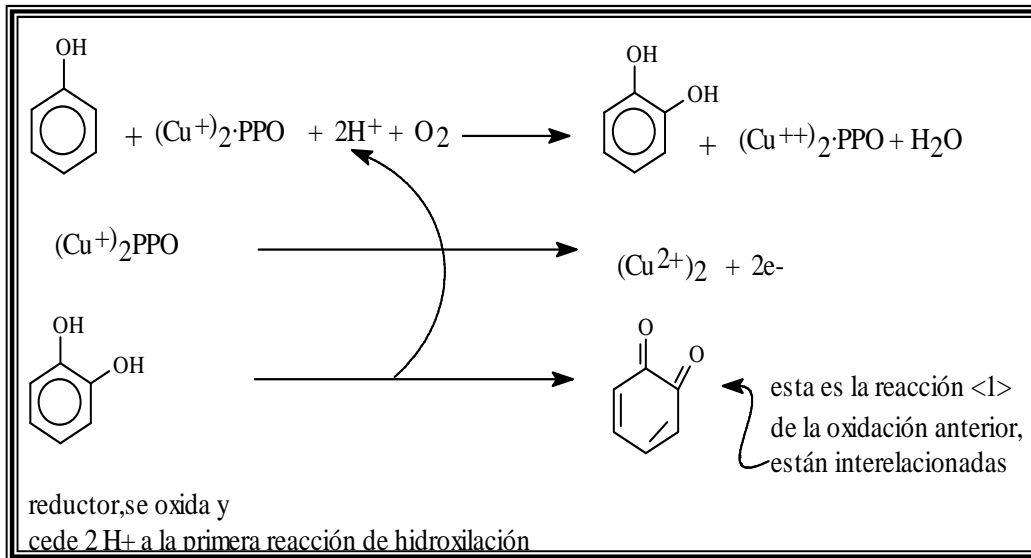
La característica estructural más importante de estas enzimas, es la presencia en su centro activo de dos átomos de cobre, unidos cada uno de ellos a tres histidinas, que se han conservado a lo largo de la evolución en todas las enzimas de este tipo, desde las bacterias al hombre. En su entorno se sitúan una serie de aminoácidos hidrofóbicos, con anillos aromáticos, que también son importantes en su actividad para la unión de los sustratos (Guadarrama y Rivas, 1995).

La enzima cataliza dos reacciones porque en el estado nativo se encuentra en dos formas distintas, la llamada met-tirosinasa, que se activa solamente sobre monofenoles, y la oxi-tirosinasa; estas formas se interconvierten entre ellas, de forma acoplada al desarrollo de la reacciones que catalizan (Guadarrama y Rivas, 1995).

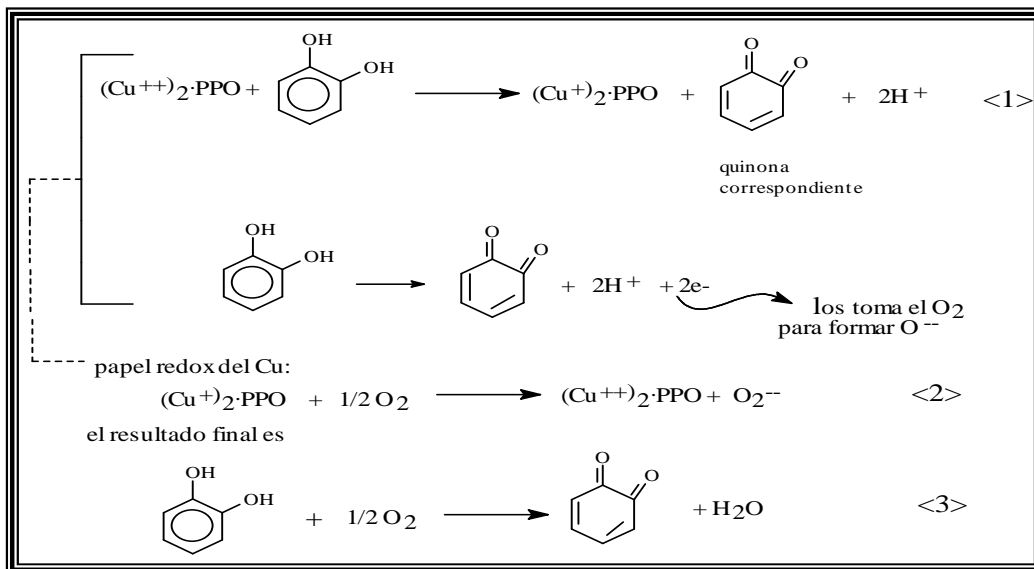
#### 2.2.1.1 Mecanismo de reacción.

El pardeamiento enzimático es un conjunto complejo de reacciones, que se inicia por las reacciones catalizadas de forma enzimática. En la primera de ellas, cuando el sustrato presente es un monofenol, es transformado en difenol. En la segunda, la transformación del difenol en o-quinona (Vámos –Vigyázó, 1981).

A partir de la formación de la quinona, la reacción progresa de forma espontánea. Las quinonas se pueden convertir en trifenoles por reacción con el agua, y posteriormente oxidarse a hidroxiquinonas. Todas estas sustancias son muy reactivas, dando lugar a polímeros y reaccionando con otras sustancias presentes en el alimento, especialmente proteínas (Fig. 3 y 4). Los productos finales, llamados melaninas, son de color muy oscuro, o negro, e insolubles en agua (Vámos –Vigyázó, 1981).



**Figura 3.** Mecanismo de hidroxilación de monofenoles a *o*-difenoles por la polifenol oxidasa. Fuente: Marshall *et al.* (2000).

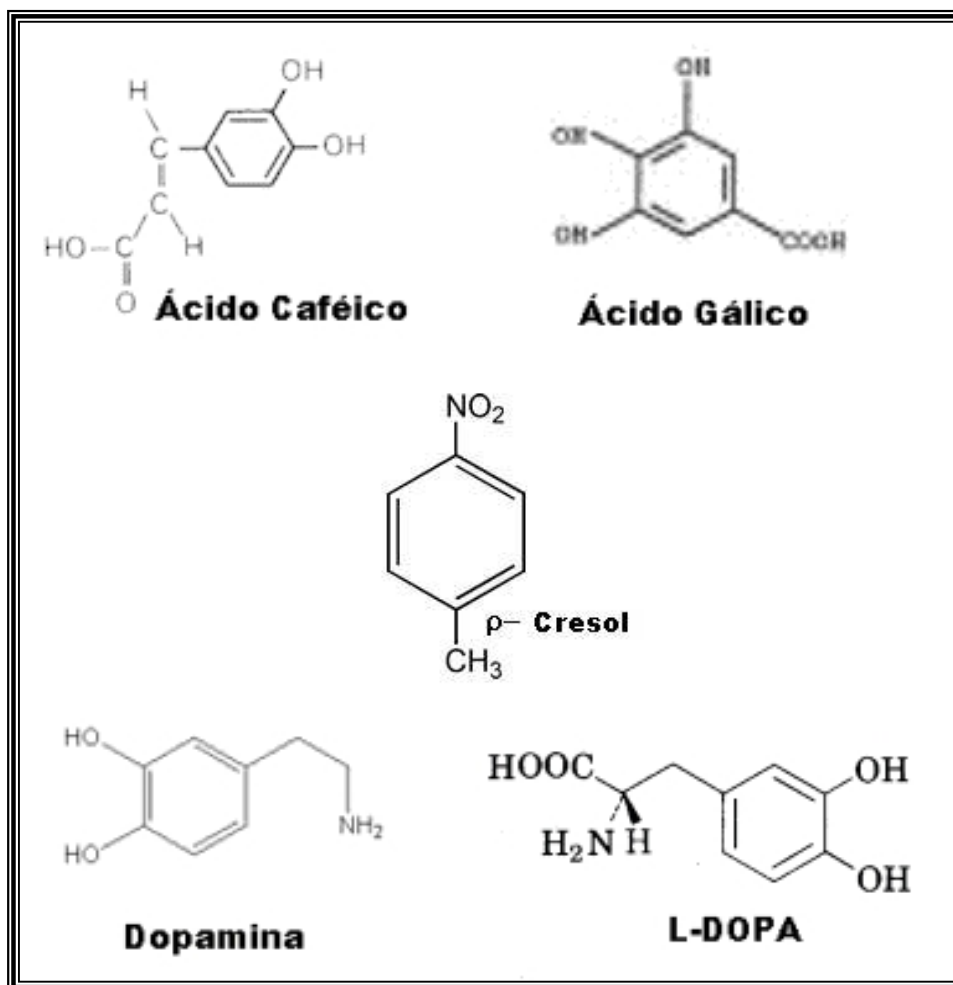


**Figura 4.** Mecanismo de oxidación de *o*-difenoles a *o*-quinonas por la polifenol oxidasa. Fuente: Marshall *et al.* (2000).



### 2.2.1.2 Sustratos.

En los vegetales, el sustrato más extendido es probablemente el ácido clorogénico, en el que el grupo fenólico se encuentra unido a un resto de azúcar, que se encuentra en manzanas, peras, melocotones, ciruelas, uvas, aguacates, patatas, entre otros. En algunos vegetales se encuentran además: DOPA, dopamina, *p*-cresol, ácido cafeico y otros fenoles, en la figura 5 se muestran algunos sustratos utilizados. Las polifenol oxidasas son también en muchos casos, capaces de oxidar aminas aromáticas para formar *o*-aminofenoles (Marshall *et al.*, 2000).



**Figura 5.** Sustratos más utilizados por la Polifenol oxidasas para llevar a cabo la reacción de pardeamiento enzimático. Fuente: Macheix *et al.* (1990).





Los mecanismos más importantes del control del metabolismo de fenoles incluyen la cantidad y distribución de enzimas, regulación de la actividad enzimática y disponibilidad de precursores (Gómez-Lim, 2000).

Numerosas investigaciones han confirmado que las concentraciones de compuestos fenólicos son generalmente más altas en frutas y tejidos jóvenes. En frutas, el contenido total de fenoles disminuye durante el crecimiento, pero se han observado dos fenómenos distintos. Uno explica que el nivel de fenoles continúa decreciendo constantemente, como en el caso de las especies y variedades blanco-coloreadas (variedades de uvas blancas, el mango y el plátano), o puede aumentar con la maduración, esto ocurre en las frutas rojas (manzanas) en las cuales las antocianinas o los flavonoides se acumulan (Wang, 2000).

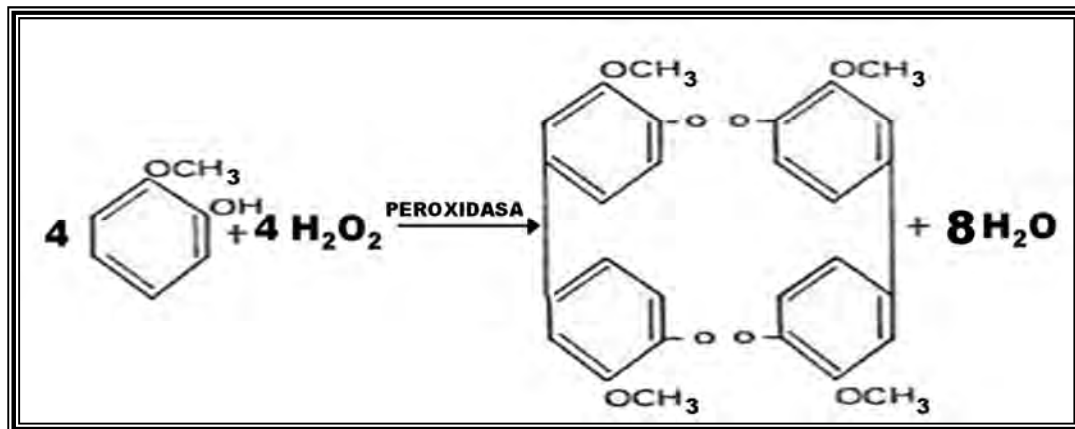
### **2.2.2 Estructura de la peroxidasa.**

La peroxidasa (EC 1.11.1.7), es una de las enzimas que controla el crecimiento fisiológico de las plantas, su diferenciación y desarrollo. Esta enzima participa en la lignificación y construcción de la pared celular, la biosíntesis de etileno a partir del ácido 1-aminociclopropano carboxílico y peróxido de hidrogeno, la regulación de niveles de auxinas, la protección contra el deterioro de tejidos e infección por microorganismos La peroxidasa puede encontrarse de manera soluble en el citoplasma o en el límite de la pared celular; es una proteína conjugada que contiene hierro en su grupo prostético (Vámos-Vigyázó, 1981).

#### **2.2.2.1 Mecanismo de reacción.**

La peroxidasa puede catalizar cuatro tipos de reacciones diferentes. En general cataliza la oxidación de un electrón de una amplia variedad de compuestos fenólicos en presencia de peróxido de hidrógeno (Ver Figura 6). El mecanismo de la reacción se basa en la formación de complejos enzima-donador de hidrógeno y dos pasos de oxidación univalente (Vámos-Vigyázó, 1981).

También puede catalizar un cierto número de oxidaciones directas, en ausencia de peróxido de hidrógeno, para esto requiere de cofactores como el  $Mn^{2+}$  y el sustrato donador de electrones (Vámos-Vigyázó, 1981).



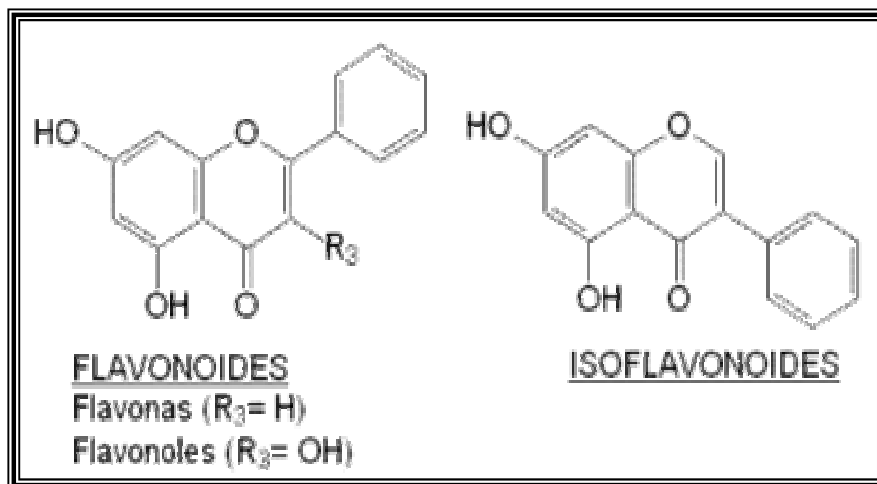
**Figura 6.** Mecanismo de reacción de la peroxidasa para llevar a cabo el pardeamiento enzimático, utilizando como sustrato guayacol.  
Fuente: Marshall *et al.* (2000).

#### 2.2.2.2 Sustratos.

El número de compuestos que pueden ser aceptores de electrones, para algunas peroxidases es pequeño, ya que esta enzima, es altamente específica para utilizar el peróxido de hidrógeno como sustrato aceptor de electrones.

Los compuestos donadores de electrones pueden ser fenoles, aminas, flavonas, tirosina u otros compuestos orgánicos, debido a que se requiere de grupos libres de HOO para poder reaccionar con los peróxidos (Vámos -Vigyázó, 1981). En la Figura 7 se muestran algunos sustratos de la peroxidasa.

La peroxidasa se encuentra ampliamente distribuida en las plantas, sin embargo, su papel dentro del pardeamiento enzimático de frutos y vegetales, todavía se encuentra en duda, debido a la poca disponibilidad de peróxido de hidrógeno dentro de la célula (Tomás-Barberán y Espín, 2001).



**Figura 7.** Sustratos utilizados durante los mecanismos de reacción de la peroxidasa. Fuente: Macheix *et al.* (1990)

### 2.3 PÉRDIDAS POSTCOSECHA.

Las frutas y las hortalizas son productos altamente perecederos. Comúnmente, hasta un 23% de las frutas y las hortalizas más perecederos, se pierden debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, pérdida de agua, daño mecánico durante la cosecha, envasado y transporte o inadecuadas condiciones de traslado. Estas pérdidas ascienden a más del 40-50% en las regiones tropicales y subtropicales (FAO, 2005).

Los desórdenes fisiológicos, plagas y enfermedades postcosecha, pueden ocasionar serias pérdidas, tanto en términos de cantidad, como de calidad. El mango es afectado por desórdenes, enfermedades y plagas que reducen la cantidad y la calidad de la producción ocasionando cuantiosas pérdidas. La susceptibilidad del mango se incrementa en la postcosecha, debido al almacenamiento prolongado y a los cambios fisiológicos que tiene el fruto, ya que hacen más fácil el desarrollo de patógenos (Ploetz, 2003).



### 2.3.1 Plagas.

El mango es una especie afectada por numerosas plagas y enfermedades, entre los que existen unos 90 patógenos, más de 3,501 especies de insectos, una decena de ácaros y otras tantas especies de nemátodos, susceptibles de causar daño al mango (Galán-Sauco, 1999).

Las plagas más importantes incluyen, sin duda, diversas moscas de la fruta, el taladrador de la semilla, así como diversas cochinillas, trips y varios ácaros (Ploetz, 2003). Las principales plagas que atacan al mango se muestran en la Tabla 3.

### 2.3.2 Enfermedades.




Como enfermedades de mayor importancia y difusión mundial destacan: la antracnosis, tanto en pre como en postcosecha, la pudrición negra por *alternaria*, la enfermedad rosada, la malformación, el oidio, la mancha negra bacteriana, la seca del mango y las pudriciones del pedúnculo (Ver Tabla 4).

### 2.3.3 Desórdenes fisiológicos.

Los desórdenes fisiológicos, simplemente se refieren al colapso del tejido del fruto que no es causado ni por la invasión de patógenos, ni por daños mecánicos. Estos se desarrollan en gran medida como respuesta a un ambiente adverso, especialmente la temperatura, o la deficiencia nutricional durante el crecimiento y desarrollo. La mayoría de los desórdenes fisiológicos afectan áreas discriminadas del tejido. Algunos desórdenes pueden afectar la piel del fruto, pero dejar la pulpa intacta; otros afectan sólo ciertas áreas de la pulpa o la región cortical (Wills *et al.*, 1987).








**Tabla 3.** Principales plagas del mango.

PLAGAS	EFECTO	FOTO
❖ Coccidios	<p>Los insectos de esta familia que atacan al mango son numerosos, como la cochinilla blanca, la cochinilla de la tizne, el piojo rojo, etc. Sus daños se producen tanto en el tronco como en hojas y frutos; además originan una melaza sobre las partes afectadas que favorece el ataque de diversos hongos.</p> <p>Los frutos pueden sufrir decoloraciones que impiden su exportación.</p>	
❖ Mosca de la fruta	<p>La mosca Mexicana de la fruta perteneciente a la especie del género <i>Anastrepha</i>; es la principal plaga en mango. Las hembras depositan los huevos en la pulpa del fruto dando lugar la maduración prematura del fruto originando su pudrición.</p>	
❖ Polillas de las flores	<p>Se trata de dos pequeños lepidópteros, el <i>Prays citri</i>, de la familia Tineoideos, y el <i>Cryptoblabes gnidiella</i>, de la familia Pyraloideos; la primera muy específica de los agrios, y la segunda sumamente polífaga.</p> <p>La <i>Prays</i>, en su fase adulta, es una mariposa de 12 mm de longitud, de color gris ceniza con manchas oscuras diseminadas en las alas anteriores. La segunda es una mariposa con alas anteriores de color gris, cruzadas por dos franjas negras transversales, y las posteriores de color blancuzco uniformes.</p> <p>Ambas polillas tienen unas tres generaciones anuales; sus orugas atacan a las flores, pétalos y estambres, y roen los ovarios con la consiguiente destrucción de los frutos.</p>	

Fuente: Datos recopilados a partir de información de: INFOAGRO (2002); Ploetz (2003)  
Galán-Sauco (1999); Wills *et al.* (1987).

**Tabla 4.** Principales enfermedades del mango.

ENFERMEDADES DEL MANGO	CAUSA	FOTO
<b>ANTRACNOSIS</b>	Producido por el hongo <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , aparece en forma de manchas oscuras. Los frutos jóvenes también pueden ser atacados, quedando destruidos antes de llegar a la madurez.	
<b>OIDIO DEL MANGO</b>	Las flores quedan cubiertas de un polvillo blanquecino grisáceo con olor a moho, éstas no se abren y la inflorescencia cae. Puede producirse el cuarteado de la piel de los frutos, y la caída de los más pequeños.	
<b>MALFORMACIÓN</b>	Causada por el hongo <i>Fusarium subglutinans</i> . Los síntomas vegetativos se manifiestan con entrenudos cortos y hojas enanas, la formación de acallasen el fruto. La malformación floral se inicia con la reducción de la inflorescencia dando lugar al incremento de flores estériles	
<b>MANCHAS NEGRAS</b>	Causado por el hongo <i>Alternaria alternata</i> . Los síntomas en los frutos se desarrollan tras la cosecha, al comienzo de la maduración, con la aparición de pequeñas manchas circulares. A continuación estas manchas se agrandan y dan lugar a una mancha única que llega a cubrir la mitad del fruto. La enfermedad avanza y las manchas penetran en la pulpa que se oscurece y ablanda.	
<b>MANCHAS NEGRAS CAUSADAS POR BACTERIAS</b>	Está causada por la bacteria <i>Xanthomonas campestris</i> . El síntoma típico de esta enfermedad se manifiesta en el tronco del mango por la aparición de chancros negros longitudinales con exudados de resina, aunque también aparecen síntomas en hojas viejas y frutos.	

Fuente: Datos recopilados a partir de información de: INFOAGRO, (2002); Galán-Sauco, (1999); Ploetz, (2003); Wills *et al.*



### 2.3.3.1 Daños por frío.

El daño por frío es un desorden fisiológico que ocurre en la mayoría de los frutos tropicales y subtropicales, cuando se someten a temperaturas por debajo de la temperatura crítica, pero por encima del punto de congelación (Couey, 1982).

El daño por frío afecta a varias especies de importancia comercial, incluyendo al mango. La intensidad de los síntomas está en función de la temperatura por debajo del umbral crítico de la especie y del tiempo de exposición. La tolerancia al frío, dependiendo de la variedad del fruto. Lo más frecuente, es que los síntomas de este desorden no aparecen hasta que el fruto haya sido colocado de nuevo a una temperatura más elevada; cuando ya es demasiado tarde para corregir el defecto. Inicialmente los daños son reversibles, y una vuelta a la temperatura ambiente permitiría reparar los tejidos antes de desarrollarse los síntomas.

Por tanto es importante establecer los umbrales de sensibilidad y de tolerancia de los frutos para prevenir este desorden fisiológico (Wang, 1982).

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

La aplicación de frío a los vegetales, superior al punto de congelación, reduce la velocidad de las reacciones metabólicas al modificar la energía de activación, la velocidad máxima y la constante de Michaelis de las reacciones enzimáticas y las concentraciones de substratos y de los productos de la reacción (Artés, 2001).

Las disfunciones celulares y las alteraciones fisiológicas y bioquímicas que induce al frío no congelante; generalmente estimulan la tasa respiratoria y la emisión de etileno, se reduce la fotosíntesis, retrasa la fluidez del protoplasma, aumenta la permeabilidad de la membrana, inactiva algunas enzimas, desorganiza la membrana y altera la estructura celular (Wang, 1982).

La temperatura crítica a la que aparecen los síntomas del daño por frío, varía de un órgano a otro, de una especie a otra, y puede ser de -0.5 a 4°C para los poco sensibles, de 4 a 7°C para algunas especies de clima templado y de 8 a 20°C para las tropicales y subtropicales más sensibles (Artés, 2001).



El efecto de las bajas temperaturas no congelantes, se manifiesta de inmediato sobre la estructura y composición de la membrana, aumentando la microviscosidad de la matriz lipídica y la rigidez de la membrana, que adquieren una estructura gel-cristalina, y se redistribuyen las proteínas integradas, que son expulsadas de la zona lipídica rígida.

Los cambios en las temperaturas del medio, afectan también el funcionamiento de las enzimas y de los transportadores incluidos en la matriz lipídica de la membrana y con esto a los intercambios a través de ella, lo que altera la permeabilidad y perturba las funciones celulares (Artés *et al.*, 2000).

Aunque no se conoce exactamente el desarrollo de los síntomas de daño por frío, se sabe que tienen lugar en dos fases sucesivas. La primera se prolonga desde algunas horas hasta 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, superando el umbral de inducción aparecen los síntomas; su establecimiento es ya irreversible, y la aplicación de una elevación moderada de la temperatura sólo contribuye a acelerar su desarrollo (Artés, 2001).

### **2.3.3.2 Factores determinantes en el daño por frío.**

Los factores que determinan, si los efectos del almacenamiento a bajas temperaturas causan en los frutos daños por frío son:

- Temperatura de almacenamiento.
- Duración de la exposición del fruto a las bajas temperaturas.
- Humedad relativa, composición de la atmósfera de almacenamiento y tratamiento postcosecha.
- Edad, fisiología y madurez del fruto.
- Sensibilidad relativa del fruto al frío.
- Condiciones de cultivo y crecimiento.





### 2.3.3.3. Síntomas de los daños por frío.

Debido a las temperaturas que los ocasionan, los síntomas de los daños por frío, no son evidentes inmediatamente, más bien, se vuelven evidentes de modo creciente después de transferir los frutos a temperaturas normales.

Las manifestaciones internas y externas difieren entre los frutos. Sin embargo, las cavidades y manchas aparecen en el 60% de los frutos que padecen de este desorden fisiológico. A pesar de ello, no es fácil medir los cambios fisiológicos o visuales, ya que son únicos para cada tejido. Varios de los síntomas que se presentan se usan a menudo como indicadores de la severidad del daño (Ramírez-Villatoro, 2005).

Algunos de los síntomas de daños por frío en mango son: (Ramírez-Villatoro, 2005; Espinosa y Hernández, 2006).

- Picado, áreas hundidas y decoloración de la piel, debido a la muerte de pequeños grupos de células epidérmicas.
- Tejido con apariencia acuosa.
- Pérdida de la capacidad de maduración.
- Aceleración de la senescencia, debido a la pérdida de la integridad celular.
- Incremento de la susceptibilidad al decaimiento, debido a que los microorganismos atacan los tejidos cuando se encuentran débiles.
- Cambios en la composición, principalmente en los componentes del sabor y olor e incremento de productos de la respiración anaeróbica y otros metabolitos.

En el caso de que los frutos que han presentado síntomas de daño por frío, no maduren normalmente se observa lo siguiente:

- En frutos cosechados y maduros fisiológicamente, la piel en tonalidades verdes se torna descolorida y gris.
- El almidón ya no se convierte en azúcar.



- Si el daño no es tan severo, la piel del fruto se torna de un amarillo descolorido hasta un grisáceo al madurar.

En el caso de que los frutos que han presentado síntomas de daño por frío, maduren normalmente se observa lo siguiente:

- La pulpa no se afecta, sin embargo la piel se torna gris
- Cuando el daño es severo se desarrolla un ennegrecimiento subepidérmico extenso.
- Se presenta una pérdida del sabor y aroma característicos del fruto.

### **2.3.3.4 Control de los daños por frío.**

Debido a su importancia, la prevención del desarrollo de los síntomas del daño por frío o la reducción de sus efectos debe ser una prioridad. Los daños por frío pueden reducirse, aumentando la tolerancia de los productos, o bien retasando el desarrollo de los síntomas. En si no existen medios de lucha totalmente eficaces para evitarlos, excepto quizás los que limitan el estrés hídrico, estimulado secundariamente por las bajas temperaturas (Artés *et al.*, 2002).

En los últimos años se han utilizado una serie de tratamientos postcosecha para alargar la vida útil de diversos productos vegetales. El almacenamiento en atmósferas controladas o modificadas, la aplicación de tratamientos térmicos superficiales, choques con microondas, luz UV, o tratamientos con fitohormonas, entre otros, regulan el grado de metabolismo y retrasan la senescencia de los productos vegetales (Artés *et al.*, 2002). En la Tabla 5 se muestran algunos de los tratamientos aplicados a mango y otros frutos.

#### **2.3.3.4.1 Tratamiento con irradiación.**

La irradiación de los alimentos no es una tecnología nueva, es mucho más antigua y mucho más estudiada que otros procesos de conservación. Ha sido ampliamente estudiado de la última mitad del siglo pasado y más recientemente en distintas frutas y hortalizas como son: fresas, lechuga, cebolla, zanahorias, cilantro y apio (Casp y Abril, 2003).



## ANTECEDENTES

**Tabla 5.** Tratamientos aplicados para largar la vida útil en mango.

TRATAMIENTO		CONDICIONES	EFFECTO	FRUTO	REFERENCIA
QUÍMICO	Antioxidantes y Fungicidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etoxiquina, la difenilamina, y benzoato de sodio.</li> <li>Benomilo, tiabendazol, imazalil.</li> </ul>	Reducen la respiración y la emisión de etileno.	Manzana, pera, aguacate y mango 'Keitt'.	Wang (2000)
	Reguladores del crecimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etileno, ácido abscísico y ácido giberélico.</li> </ul>	Efectos sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos en el mango aumentando su tolerancia al frío.	Mango 'Keitt'	Artés-Hernández (2003) Wang (2000)
TÉRMICO	Calentamientos intermitentes	Durante 2 semanas a 13°C cada 2 semanas a 2°C, durante 2 meses de almacenamiento.	Capacidad para restaurar la membrana celular, favorece la síntesis de algunos metabolitos, restablece en frutos con DF la respiración normal y la emisión de etileno.	Tomate, melocotones y mango de la variedad 'Alphonso'.	Artés <i>et al.</i> (2000)
	Vapor	43°C-47°C por rango de tiempo desde 10 min hasta 6 h.	Genera cambios en la composición de la membrana. Disminuye la sensibilidad del fruto al frío.	Mango de la variedad 'Keitt'	Artés <i>et al.</i> (2000)
	Inmersión en agua caliente	El curado en agua caliente a 53°C durante 2 min.	Disminuye los daños por frío.	Naranja y mango de la variedad 'Keitt'	Artés-Hernández (2003)
EMERGENTES	Atmósferas modificadas y controladas	<p>Aire enriquecido en un 10%, 20% ó más de CO<sub>2</sub>.</p> <p>A 7°C en AM concentraciones superiores de CO<sub>2</sub> al 11%.</p>	Reduce daños por frío, además de podredumbre. Disminuye la velocidad de respiración y la producción de etileno. Retrasa la senescencia mango de diferentes variedades	Mangos de la variedad 'Tommy Atkins' 'Keitt' y 'Kensington'.	Willemont (2002) Wang (2000) Artés (2001)
	Irradiaciones UV-C	198-280 nm por 10 a 20 min.	Induce la acumulación de poliaminas, que actúan como antioxidantes en mango causando una reducción de los síntomas de daño por frío.	Mangos de la variedad 'Tommy Atkins'	González-Aguilar <i>et al.</i> (2005a)
	Irradiaciones gamma	Dosis de 0.12-0.75kGy	Retrasa la maduración.	Mango, papaya y plátano	Wiley (1997)



La eficacia de las radiaciones ionizantes como método de control de microorganismos patógenos en frutas y hortalizas, ha sido de manifiesto en muchos estudios, la información obtenida sugiere que la irradiación puede ser una buena alternativa para la desinfección de estos productos. Se ha observado que en general la reducción bacteriana obtenida con distintos agentes químicos desinfectantes, tiende a desaparecer rápidamente durante la conservación, mientras que los bajos recuentos obtenidos mediante radiaciones persisten durante toda la vida útil del producto (González-Aguilar *et al.*, 2005b).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (AEIO), demostraron la inocuidad del uso de radiaciones ionizantes, en cualquier producto alimentario y en cualquier dosis (González-Aguilar *et al.*, 2005b).

La irradiación de alimentos presenta ventajas y limitaciones, como cualquier otro método de conservación.

Algunas ventajas de la irradiación son las siguientes:

- Capacidad para sustituir los tratamientos químicos.
- Desinfección de granos y cereales.
- Reducción del contacto de muchos alimentos con productos químicos.
- La posibilidad de aplicarse después del envasado, impidiendo así la recontaminación.

Dentro de las desventajas de la irradiación, se mencionan las siguientes:

- Afecta a los diferentes alimentos de distintas formas, rompen las moléculas largas, tales como celulosa, a hidratos de carbono cortos.
- La irradiación de las grasas, crean radicales libres que oxidan las grasas y llevan a su rancidez.
- Destruye una parte de las vitaminas, particularmente la A, B, C y E.

Sin embargo, los niveles bajos de irradiación recomendados en los alimentos aseguran que estos procesos de deterioro, no alcanzan un nivel mayor que con otros métodos de conservación de alimentos (Casp y Abril, 2003).

**2.3.3.4.1.1 Tratamiento con irradiación gamma.**

La radiación ionizante es un tratamiento que elimina de forma efectiva los microorganismos presentes en productos alimentarios, sin recurrir a un aumento de la temperatura. Generalmente, los alimentos son irradiados con rayos gamma de una fuente radio isotópica, con electrones o rayos X generados utilizando un acelerador de electrones.

La dosis de radiación gamma, necesaria para inactivar las células vegetativas de microorganismos alterantes o patógenos, son en general muy bajas, alrededor de 1 kGy, sin embargo, dosis mayores a 1 kGy, son necesarias para destruir esporas, virus, levaduras y hongos, lo cual puede provocar ablandamiento y desarrollo de sabores extraños en los productos vegetales (González Aguilar *et al.*, 2005 b).

**2.3.3.4.1.2 Tratamientos con irradiaciones ultravioleta.**

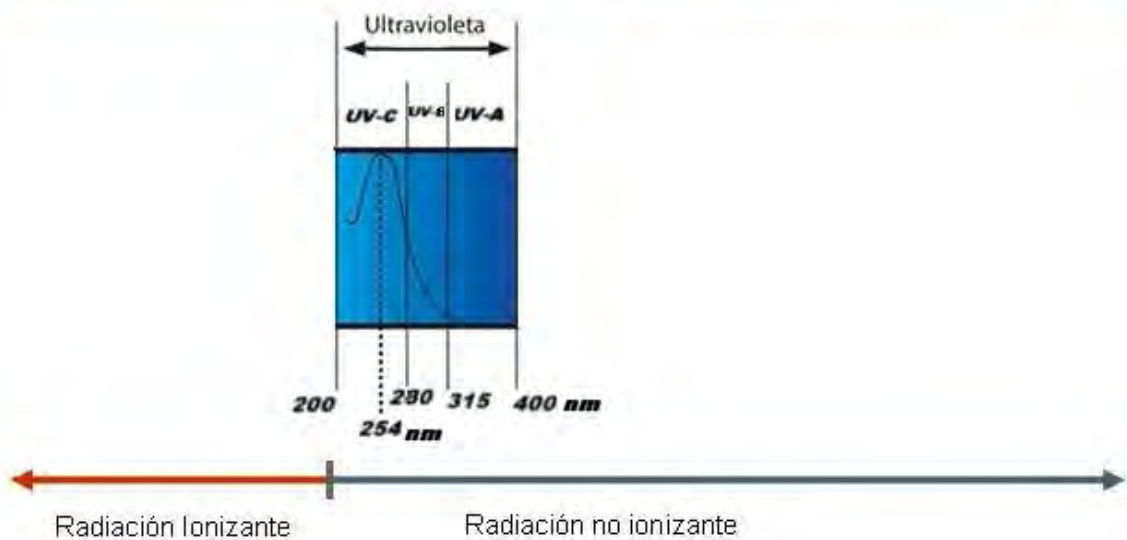
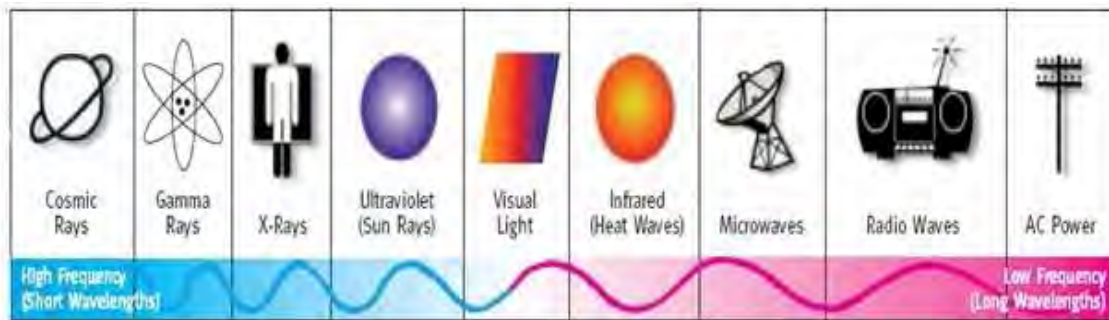
La irradiación de alimentos es un método físico de conservación, comparable a otros que utilizan el calor o el frío. Consiste, en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba.

La irradiación ultravioleta (UV) es un tipo de radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400 nm que se clasifica en 3 tipos como lo describe la Tabla 6, y se encuentra distribuida en el espectro electromagnético, como se muestra en la Tabla 6 y Figura 8.

**Tabla 6.** Tipo de irradiaciones ultravioleta.

<b>TIPO DE IRRADIACIÓN</b>	<b>LONGITUD DE ONDA</b>
UV-A	315-400 nm
UV-B	280-315 nm
UV-C	100-280 nm

Fuente: González- Aguilar *et al.* (2005b)



**Figura 8.** Espectro electromagnético.

Fuente: Marquenine *et al.* (2003)

La irradiación UV-C tiene su pico de emisión a 254 nm, siendo esta condición, la que mayor acción germicida posee; muchos han sido los estudios sobre el efecto beneficioso de la aplicación de pequeñas dosis de irradiación para la conservación de distintas frutas. El trabajo realizado por González-Aguilar *et al.* (2005a), confirmó que la intensidad de los tratamientos de UV-C debían ser minimizados al máximo con el fin de prevenir la pérdida de calidad del producto. Por este motivo, el uso de irradiaciones en combinación con otro método de conservación como las AM o el uso de calentamiento intermitente puede ser una buena alternativa para prolongar la vida útil de los vegetales.



La irradiación ultravioleta (UV-C) se utiliza ampliamente como una alternativa a la esterilización química, reduciendo el crecimiento de organismos vegetativos en productos alimenticios (González- Aguilar *et al.*, 2005a).

Sin embargo la luz UV también induce estrés biológico en plantas, así como mecanismos de defensa de los tejidos vegetales con la consecuente producción de fitoalexinas; esta puede estar acompañada por otros mecanismos de defensa tales como modificaciones de la pared celular, enzimas de defensa y aumento en la actividad antioxidante (Mercier, 1997).

Se ha observado que el tratamiento con UV-C, induce la acumulación de poliaminas, las cuales pueden actuar como antioxidantes en mango y durazno, causando una reducción de los síntomas de daño por frío y el deterioro de los frutos, retardando la maduración de frutos tropicales como plátano, papaya y mango, demorando la senescencia de champiñones y espárragos, en general, tanto en el caso del mango 'Ataulfo' como en los antes mencionados, la vida útil se duplica o triplica (González- Aguilar *et al.*, 2005b).

Recientemente, la irradiación UV-C ha sido considerada como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de frutas y hortalizas, ya que esta técnica ofrece varias ventajas pues no deja residuos sobre el fruto y es letal para la mayoría de los microorganismos al provocar un daño directo sobre el DNA de estos, el equipamiento necesario no resulta caro, y no esta sujeto a restricciones legales (González- Aguilar *et al.*, 2005b).



### 3. OBJETIVOS.

- OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los tratamientos por irradiación ultravioleta (UV-C) en el control de los daños por frío y en las enzimas relacionadas con el pardeamiento enzimático (polifenol oxidasa y peroxidasa) en mango variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas.

- OBJETIVO PARTICULAR 1

Establecer las condiciones de los tratamientos por irradiación UV-C que preserven la calidad del mango 'Ataulfo'.

- OBJETIVO PARTICULAR 2

Establecer el efecto de las irradiaciones UV-C en los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza y color) y fisiológicos (producción de CO<sub>2</sub>) del mango 'Ataulfo' a lo largo de su proceso de maduración.

- OBJETIVO PARTICULAR 3

Determinar el efecto de la irradiación UV-C en el control de los síntomas de daños por frío de mango 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas (5°C).

- OBJETIVO PARTICULAR 4

Relacionar los cambios en la actividad enzimática de la peroxidasa (PDO) y la polifenol oxidasa (PPO) y el contenido de fenoles con los síntomas de daño por frío en mango 'Ataulfo' almacenado a bajas temperaturas.





#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS.

##### 4.1 Secuencia metodológica

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se llevó a cabo la secuencia metodológica que se muestra en la figura 9.

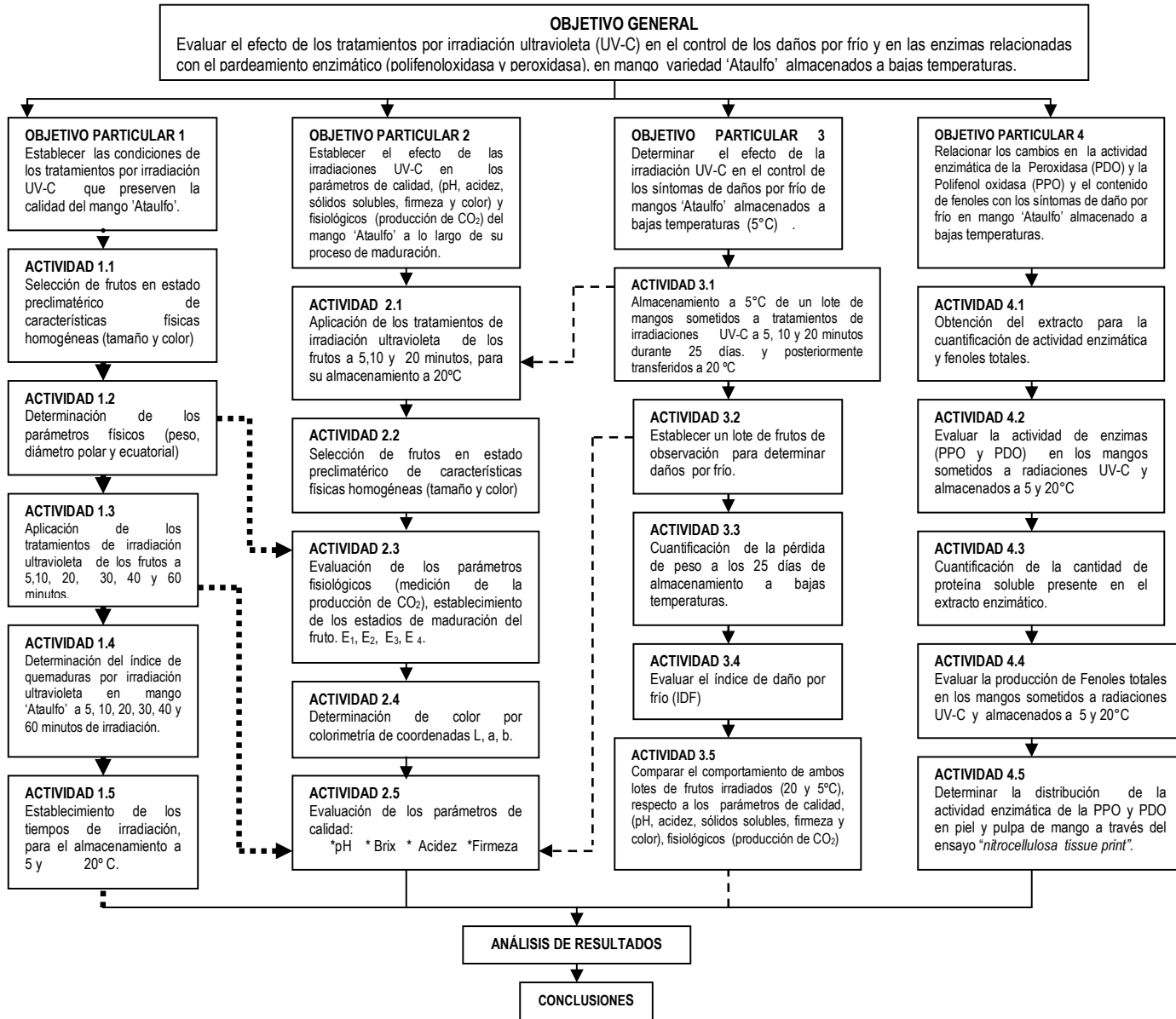


Figura 9 Cuadro metodológico.



### 4.2 Material biológico.

Se utilizaron mangos de la variedad 'Ataulfo' procedentes de los estados de Guerrero y Nayarit cosechados en el periodo de marzo a septiembre del 2006, y adquiridos en la Central de abastos de la Ciudad de México en su etapa pre-climatérica (Fig. 10). Los frutos fueron trasladados al laboratorio Postcosecha de Frutos y Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM.



**Figura 10.** Mango variedad 'Ataulfo'.

### 4.3 Tratamiento de las muestras.

Para contar con lotes de frutos con características homogéneas los mangos se seleccionaron por tamaño, color, peso, diámetro polar y ecuatorial. Se eliminaron los frutos que presentaron daños físicos, posteriormente se lavaron con agua para eliminar la suciedad y secados con corriente de aire (Fig.11).



**Figura 11.** Selección de Mango Ataulfo.



### **4.4 Caracterización física, química y fisiológica del mango conservado a temperatura ambiente.**

Para evaluar las características físicas, químicas y los parámetros de calidad se utilizaron mangos en estado de madurez comercial. Tomando al azar tres frutos al término del almacenamiento a temperatura ambiente. Se determinaron, los parámetros de calidad: contenido de sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, firmeza, color y pH. Las características químicas evaluadas fueron, humedad, proteína, fibra bruta, cenizas totales y grasa; para el aspecto fisiológico se determinó la respiración del fruto. Las evaluaciones de los distintos parámetros se realizaron de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.

### **4.5 Descripción del sistema de irradiación UV-C.**

Los tratamientos por irradiación UV-C se llevaron a cabo en un gabinete de lámina galvanizada con superficies interiores de formaica cerrado (Figura 12), a 24 cm de distancia de una lámpara de luz Ultravioleta (marca Sankyo Denki, Modelo G15T8).

Los mangos fueron irradiados a diferentes tiempos de acuerdo al diseño de cada experimento. El tratamiento fue realizado de la siguiente forma: el tiempo de exposición a radiaciones UV-C fue dividido en dos periodos, el primero para una cara del fruto y la segunda mitad para la otra cara. Una vez terminado el tratamiento los mangos se colocaron en una campana de extracción, para eliminar el ozono (O<sub>3</sub>) producido por la irradiación.



**Figura 12.** Cámara de irradiación UV-C.

**4.6 Selección de las condiciones de los tratamientos UV-C.**

Se separaron siete lotes de 37 mangos con características homogéneas de peso, diámetro polar y ecuatorial, los cuales fueron expuestos al tratamiento por irradiación UV-C de la siguiente manera a)5, b)10, c)20, d)30, e)40, f)60 minutos de irradiación y g) control sin tratamiento. Posteriormente fueron incubados a 20°C con una humedad relativa del 85%.

Se tomaron las muestras correspondientes a los diferentes estadios de maduración: E<sub>1</sub>= preclimaterio, E<sub>2</sub>= inicio del climaterio, E<sub>3</sub>= máximo climaterio, E<sub>4</sub>= postclimaterio, de acuerdo con los cambios en la respiración de los frutos.

Se evaluaron los efectos del tiempo de exposición a la irradiación UV-C en los parámetros de calidad (pH, acidez, firmeza, color) de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.2; también se evaluó el índice de quemadura para seleccionar las condiciones que no afectaron la calidad del mango. Para establecer el efecto de los diferentes tiempos de irradiación en las actividades enzimáticas, se cuantificó la actividad de la PPO y PDO en piel y pulpa de mangos irradiados en las seis condiciones de irradiación y el control, para lo cual se utilizó la técnica de Cano *et al.* (1997) como se describe en el apartado 4.8.3.3 de esta metodología. También se cuantificaron los fenoles totales por el método sugerido por Slinkard y Singleton (1977) como se describe en 4.8.3.4.

**4.7 Efecto de los tratamientos por UV-C en mangos almacenados a bajas temperaturas.**

Una vez seleccionadas las condiciones del tratamiento, los mangos se distribuyeron en 8 lotes de 22 frutos de la siguiente manera:

**Tabla 7.** Diseño experimental

TRATAMIENTO UV-C	CONDICIÓN DE ALMACENAMIENTO	
	20° C	5° C por 25 días
5 MINUTOS	22 frutos	22 frutos*
10 MINUTOS	22 frutos	22 frutos*
20 MINUTOS	22 frutos	22 frutos*
SIN TRATAMIENTO	22 frutos	22 frutos*

\* Transcurridos los 25 días de almacenamiento a 5°C, los frutos fueron transferidos a 20°C para su maduración.



Los mangos con tratamiento UV-C y el grupo control sin tratamiento, fueron almacenados a 5°C en un cámara de refrigeración (marca Ojeda modelo CDP-10128) a una HR 85% por 25 días, una vez transcurrido el almacenamiento fueron transferidos a 20°C para continuar con su maduración. Simultáneamente un lote de frutos tratados con UV-C fue almacenado a 20°C y 85% de humedad relativa en incubadora (marca Precision, mod. 815) de temperatura controlada hasta su total maduración (Tabla 7).

Para las dos condiciones de almacenamiento se tomaron muestras de frutos en cada uno de los cuatro estadios de maduración (E1=preclimaterio, E2=inicio del climaterio, E3=máximo climaterio, E4=postclimaterio). Tomando como parámetro indicativo los cambios en la respiración del fruto, que se determinó a partir del CO<sub>2</sub> liberado por el fruto durante el almacenamiento a 20°C, como lo describe el apartado 4.8.3.1 de este capítulo. A los cuales se les retiró la piel y la pulpa almacenadas por separado y en congelación (-20 °C) para su posterior análisis.

Para determinar la efectividad de los tratamientos por irradiación UV-C en el control de los síntomas de daño por frío en los frutos. Se evaluaron subjetivamente de acuerdo al método utilizado por Pérez-Tello *et al.* (2001), descrito en el apartado 4.8.3.2.

Los frutos tratados fueron evaluados de forma subjetiva diariamente, una vez fuera de la cámara de refrigeración y durante el proceso de maduración a 20 °C.

Posteriormente se relacionó el efecto de las bajas temperaturas con los diferentes parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, color, firmeza), fisiológicos (respiración) y bioquímicos (actividad de PPO y PDO) de los frutos irradiados de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.8.2



### **4.7.1 Efecto de los tratamientos por irradiación UV-C en las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO), contenido de Fenoles y su relación con los daños por frío.**

Para conocer la relación que existe entre la actividad de estas enzimas responsables del pardeamiento enzimático y de los síntomas del daño por frío, se evaluaron una vez que los frutos irradiados fueron retirados de la cámara de refrigeración y separados en los diferentes estadios de maduración de acuerdo a la respiración del fruto. La actividad de PPO y PDO se determinaron de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997), con ligeras modificaciones como está descrito en el apartado 4.8.3.3 de este capítulo.

Como una forma de corroborar, la activación de las enzimas que participan en el pardeamiento enzimático (PPO Y PDO), se realizó el ensayo *nitrocellulosa tissue print* (ver Anexo 1) , para observar la distribución de la actividad de las enzimas en piel y pulpa de mango 'Ataulfo', irradiado y almacenado a 20 y 5 °C.

Los fenoles son importantes sustratos de diferentes procesos fisiológicos que ocurren en el qproceso de maduración del mango, por lo tanto se evaluó el contenido de fenoles totales en los diferentes estadios de maduración de acuerdo a la respiración del fruto.

Los fenoles totales se determinaron por el método sugerido por Slinkard y Singleton (1977), con ligeras modificaciones como está descrito en el apartado 4.8.3.4 de este capítulo.

Para establecer la relación existente entre los parámetros evaluados se determinó estadísticamente el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) que permite establecer la distribución de dos variables relacionadas y el grado de disociación entre ellas (Bowker y Lieberman, 1985) por medio del análisis de las siguientes variables:

- Contenido de fenoles totales vs actividad de PPO y PDO a 20 y 5°C.
- Contenido de fenoles totales vs índice de daño por frío.
- Actividad de PPO y PDO vs índice de daño por frío.



### 4.8 Métodos analíticos.

#### 4.8.1 Parámetros químicos.

##### 4.8.1.1 Determinación de Humedad.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en una estufa (marca Quince Lab, modelo 40 Lab. Oven), en el cual el agua se elimina por el efecto del calor aplicado a la muestra (Pearson, 1998). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

##### 4.8.1.2 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 (marca SIGMA). Utilizando una solución de sacarosa hidrolizada 0.1% (marca BAKER) 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.

##### 4.8.1.3 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 (pH 10.0 - 10.5) y mediante reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu (marca SIGMA), a heteropolibdeno azul debido a la oxidación de aminoácidos aromáticos; reacción catalizada por cobre. Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón de albúmina sérica bovina (marca SIGMA) 0.1% obtenida a una longitud de onda a 720 nm. Los resultados se expresaron en mg de proteína/ml de extracto.

##### 4.8.1.4 Determinación de Fibra Cruda.

El contenido de fibra cruda se determinó de acuerdo al método de Kennedy-Wendy, basado en la determinación de fibra cruda sobre una muestra desengrasada, mediante hidrólisis ácida y alcalina. 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 (Pearson, 1998).



### 4.8.1.5 Determinación de Grasa.

La cantidad de grasa en las muestras se llevó a cabo por el método de Soxhlet, en el cual la grasa se extrae de la muestra, por arrastre con éter de petróleo grado reactivo (marca BAKER) a partir del residuo desecado. Los resultados fueron expresados en g / 100g de muestra (Pearson, 1998).

### 4.8.1.6 Determinación de Cenizas Totales.

Para la determinación de cenizas totales se utilizó el método de Klemm, el cual se fundamenta en la obtención del residuo inorgánico resultante después de la incineración de la materia orgánica a 550°C en una mufla (marca LINDBERG SB, modelo 51848). Los resultados se expresaron en g / 100g de muestra (Pearson, 1998)

## 4.8.2 Determinación de los parámetros de calidad.

### 4.8.2.1 Determinación de Sólidos Solubles.

Se determinó por medición directa del jugo del fruto con un refractómetro manual (marca ATAGO, mod. 2111) previamente calibrado a temperatura ambiente con una gota de agua destilada que se colocó en la superficie del prisma ajustando la lectura a 0%. Se colocó una gota de jugo en el prisma del refractómetro y se leyó el porcentaje, expresando los resultados como Brix (Fig. 13).



**Figura 13.** Refractómetro manual.





### 4.8.2.2 Determinación de pH

Se tomaron 10 g de muestra homogenizada con 90 ml de agua destilada, la cual se filtró y se le determinó el pH de la lectura directa de un potenciómetro manual digital (marca HANNA instruments mod. pHep1) al sumergir el electrodo en la solución a temperatura ambiente (Fig. 14).



**Figura 14.** Potenciómetro manual.

### 4.8.2.3 Determinación de acidez

La acidez se determinó de acuerdo al método de titulación directa con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, colocando como indicador a la fenolftaleína al 1%, observando un vire ligeramente rosa a pH 8.3. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico (AOAC 1990) (Fig. 15).



**Figura 15.** Titulación directa.



#### 4.8.2.4 Determinación de firmeza.

La firmeza del mango fue determinada sobre una de las caras laterales del fruto, utilizando un penetrómetro manual (marca Tr, mod. FT327) con una sonda cilíndrica de 8 mm de diámetro, los resultados fueron expresados como la fuerza necesaria para penetrar el fruto en Kg/cm<sup>2</sup> (Fig. 16).



**Figura 16.** Penetrómetro manual.

#### 4.8.2.5 Determinación de Pérdida de Peso.

Se comparó el peso inicial el día de su llegada al centro de estudio y el peso obtenido en cada estadio de maduración. La pérdida de peso se determinó entre la diferencia del peso inicial y final de los frutos y fue determinada utilizando una balanza semianalítica (marca OHAUS, modelo Adventurer Pro AV812). Se expresó como el porcentaje del peso perdido del fruto.

#### 4.8.2.6 Determinación del Color.

Los cambios de color en la piel del mango se registraron en un colorímetro MINOLTA (mod. CR-300) por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares donde **L\*** indica la luminosidad o reflectancia, el color negro presenta un valor de L=0 mientras que el blanco L=100; los valores de **a\*** representan la gama del color desde el verde hasta el rojo, los valores de **b\*** representan la gama del color desde el azul hasta el amarillo. Los valores de a y b se utilizaron para evaluar la saturación (Croma) que nos define la pureza del color y el tono (<sup>0</sup>Hue) que define el color (Fig. 17).

Estos valores se calcularon de la siguiente manera (McGuire, 1992):

$$\text{Hue} = \tan^{-1}b/a$$
$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$



Figura 17. Colorímetro MINOLTA

#### 4.8.3 Determinación de los parámetros fisiológicos.

##### 4.8.3.1 Determinación de la Respiración.

La respiración de los frutos se determinó tomando en cuenta la producción de  $\text{CO}_2$  generado por los frutos; los cuales se colocaron en contenedores de vidrio de 3.1L de capacidad, mismos que fueron sellados herméticamente para medir la acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera del contenedor (ver Figura 18), en un tiempo específico no mayor a una 1 hora para evitar dañar al fruto por agotamiento de  $\text{O}_2$  y acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera que le rodea. El registro de la producción de  $\text{CO}_2$  se realizó al conectar a la salida de ventilación del contenedor un analizador de gas (marca ANALYZER Nitec, LLC). Los resultados de la producción de  $\text{CO}_2$  se expresan en  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .



Figura 18. Determinación de la respiración con analizador de gas.

**4.8.3.2 Índice de daño por frío (IDF).**

Los síntomas de daño por frío en los frutos se evaluaron subjetivamente con la aparición de manchas grisáceas, decoloración del fruto y hundimiento de la superficie, de acuerdo al método utilizado por Pérez-Tello *et al.* (2001), basándose en la intensidad del oscurecimiento. En la Tabla 8. Se muestra la escala utilizada para esta evaluación.

**Tabla 8.** Escala del grado de avance de los síntomas de daños por frío

ESCALA	CARACTERÍSTICAS DE DAÑO
1	Fruto no dañado
2	Fruto con daño ligero (hasta un 25% de oscurecimiento en la superficie del fruto).
3	Fruto con daño moderado (hasta un 50% de oscurecimiento en la superficie del fruto).
4	Fruto con daño severo (más de un 75% de oscurecimiento en la superficie del fruto).
5	Fruto con daño extremadamente severo (más de un 100% de oscurecimiento en la superficie del fruto).

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

**4.8.3.3 Determinación de las actividades enzimáticas de Polifenol oxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO).****4.8.3.3.1 Preparación del extracto crudo.**

El extracto crudo fue preparado a una temperatura de 4°C, de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997), con algunas modificaciones. Se tomaron 200 mg de piel o pulpa del fruto los cuales fueron macerados en un mortero utilizando nitrógeno líquido, colocándose después la muestra homogenizada en microtubos a los que se les adicionó 1ml de buffer fosfato frío 0.2 M y pH 7, después fueron colocados en la microcentrífuga digital (marca DAIGGER mod.4350) a 12,000 rpm durante 20 minutos, extrayendo el sobrenadante y descartando el precipitado, obteniendo de esta forma el extracto utilizado en las actividades enzimáticas para la PPO, PDO y el contenido de proteína de las muestras (Fig. 19)

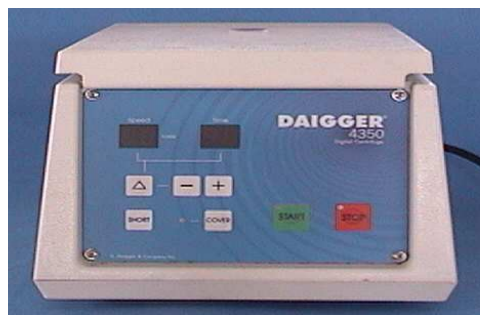


Figura 19. Microcentrífuga digital.

#### 4.8.3.3.2 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) modificado, utilizando como sustrato para las determinaciones dopamina hidroclicorada. Se hizo una disolución con buffer fosfato 10 mM (pH 7.5) y 0.07 M de dopamina hidroclicorada (marca SIGMA), la cual fue incubada a 40°C por 2 minutos, posteriormente se agregaron a una celda 1.45 ml de la disolución y se añadió rápidamente 100  $\mu$ L del extracto enzimático mezclando ligeramente. Se colocó la celda en el espectrofotómetro y se leyeron los cambios de absorbancia a una longitud de onda de 420 nm durante 6 minutos en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, mod. GÉNESIS 10 UV) (Fig. 20).

La actividad de PPO se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 420 nm en función del tiempo. La actividad de PPO se expresó como ( $\Delta 420 \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ ), tomando en cuenta el contenido de proteína presente en la muestra previamente determinado, descrito en el apartado 4.8.1.3. Se utilizó como blanco la disolución sin el extracto enzimático en lugar de este se le agregó 100 $\mu$ L de agua destilada.



Figura 20. Espectrofotómetro marca TERMO SPECTRONIC.



### 4.8.3.3.3 Determinación de la Actividad de Peroxidasa.

La actividad enzimática de la peroxidasa (PDO) se determinó de acuerdo al método descrito por Cano *et al.* (1997) modificado, utilizando como sustrato de las determinaciones *p*-fenilendiamina y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Se hizo una disolución con 1.35 ml de buffer fosfato 0.04 M (pH 5.0), 50 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 100 µL de *p*-fenilendiamina 1% (marca SIGMA), la cual fue incubada a 60 °C por 2 minutos para piel y a 30°C para pulpa. Se colocó en una celda y se le agregaron 100 µL de extracto enzimático. Los cambios de absorbancia debidos a la oxidación de la *p*-fenilendiamina por la acción de la PDO se registraron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 485 nm durante 6 minutos. La actividad de PDO se calculó con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 485 nm en función del tiempo. La actividad de PDO se expresó como  $\Delta A_{485} \text{ min}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ , tomando en cuenta el contenido de proteína presente en la muestra previamente determinado, descrito en el apartado 4.8.1.3.

### 4.8.3.3.4 Ensayo de distribución de PPO y PDO (“nitrocellulosa tissue print”).

La localización de las enzimas PPO y PDO se realizó de acuerdo al método de Murata *et al.* (1995) en los diferentes estadios de maduración y para los diferentes tiempos de irradiación planteados en la cinética enzimática (Ver Anexo 1).

### 4.8.3.4 Determinación de Fenoles Totales.

#### 4.8.3.4.1 Preparación del Extracto.

Se determinó el contenido de fenoles totales utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu por el método sugerido por Slinkard y Singleton (1977) modificado. Se tomaron 200 mg de piel y 500 mg de pulpa, fueron maceradas en un mortero utilizando nitrógeno líquido, la muestra homogeneizada se colocó en tubos eppendorf a los cuales se les agregó 1 ml de metanol al 80%, agitando por 1 minuto y centrifugando a 3000 rpm por 15 minutos en una microcentrífuga (marca DAIGGER, modelo 4550); se recuperó el sobrenadante y al precipitado se le agregó 0.5 ml de metanol al 100% agitando por 1 minuto y centrifugando por segunda vez a 3000 rpm por 15 minutos.



Se recuperó el sobrenadante y se juntó con el primero, concentrándose hasta sequedad en un baño con recirculación a 70°C.

La materia seca obtenida fue resuspendida con 1ml de metanol agitando y centrifugada a 3,000 rpm durante 10 min, se recuperó el sobrenadante y se ajustó el volumen a 1.5 ml.

#### **4.8.3.4. 2 Cuantificación de Fenoles Totales.**

De los extractos se tomó una alícuota de 200  $\mu\text{L}$ , se colocó en tubo de ensaye, se agregaron 1500  $\mu\text{L}$  de agua destilada, 100  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-Ciocalteu (marca SIGMA) y 200  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (marca BAKER) agitándose y dejando reposar por 30 minutos a temperatura ambiente. Para la cuantificación del contenido de fenoles fue necesario hacer diluciones de los extractos antes de la determinación de acuerdo al contenido de estos compuestos en cada tejido estudiado: piel (1:70) y pulpa (1:20).

El contenido de fenoles totales se calculó con base en la interpolación de una gráfica en una curva patrón de ácido gálico (marca SIGMA) 0.1% obtenida a una longitud de onda a 765 nm, expresándose como mg de ácido Gálico / g de peso fresco.

#### **4.9 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 llevó 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 y de calidad del mango 'Ataulfo' en estado preclimático y climatérico almacenado a temperatura ambiente.

La calidad de un fruto se define como una combinación de características, atributos y propiedades que le darán un valor como alimento. La calidad se asocia con una buena apariencia, firmeza, sabor y valor nutritivo (Flores, 2000).

La madurez fisiológica debe corresponder a un determinado estado de desarrollo, el cual asegure que el fruto complete los procesos biológicos de maduración para obtener una calidad mínima aceptable asegurando un almacenamiento prolongado y libre de desórdenes fisiológicos (Luchsinger *et al.*, 2001).

Se llevó a cabo la evaluación de las características físicas, químicas, fisicoquímicas y bioquímicas, del mango 'Ataulfo' en estado preclimaterico y climatérico. (Tabla 9)

Tabla 9. Características físicas de mango 'Ataulfo' .

CARACTERÍSTICA		MADUREZ FISIOLÓGICA	MADUREZ COMERCIAL
Peso*(g)		220.12	206.53
Longitud ecuatorial*(cm)		21.20	21.20
Longitud polar* (cm)		13.90	13.90
Color*	L	48.75	96.54
	a	-12.9	0.16
	b	32.49	5.31

\*Cada valor representa la media de tres repeticiones (n= 3)

El peso, las longitudes ecuatorial y polar proporcionan una idea del estado fisiológico de los frutos, siendo el tamaño y la forma una de las características más importantes que se alcanzan durante el desarrollo del fruto (Flores, 2000).





El color en la piel es un parámetro importante para que el fruto sea o no aceptado por el consumidor. Durante la maduración se desarrollan o degradan diferentes pigmentos que proporcionan las características finales del color.

Los frutos inmaduros son verdes debido a la abundancia de clorofila; la piel del mango maduro muestra desde verde hasta verde-amarillo, violeta y amarillo, siendo los principales pigmentos que se encuentran: la clorofila, carotenos, xantofilas y antocianinas (Gómez-Lim, 2000).

De acuerdo a las características físicas de peso, los mangos utilizados fueron de primera calidad, calibre 18 según la norma NMX-FF-058-2006.

En la tabla 10 se muestra la composición química del mango en madurez comercial y fisiológica.

**Tabla 10.** Composición química del mango variedad 'Ataulfo'.

COMPONENTE	MADUREZ FISIOLÓGICA (%)	MADUREZ COMERCIAL (%)
Agua	86.46	82.5
Carbohidratos	9.40	13.2
Proteína	0.57	0.68
Cenizas	0.84	1.18
Grasa	0.20	0.20
Fibra	0.30	0.70

\* Los valores presentados son el promedio de tres repeticiones. n=3

El mango contiene carbohidratos, ácidos grasos, minerales, ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos, polifenoles y vitaminas. El fruto inicialmente es ácido, astringente y rico en ácido ascórbico (vitamina C), en mangos maduros el contenido de vitamina C es bajo, pero son ricos en pro vitamina A y vitaminas B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> (Mukherjee, 2000).

El mango como la mayoría de los frutos tiene un elevado contenido de agua aproximadamente del 80%, para ambos estados de madurez.



El sabor es característico de cada fruto y está relacionado con el dulzor que presenta el mango en el momento que es aceptado por el consumidor. Los mangos sin madurar contiene cantidades almacenadas de almidón, el cual es hidrolizado durante la maduración, este fenómeno es más evidente en los cloroplastos donde los gránulos de almidón se hacen más pequeños conforme avanza la maduración. La primera consecuencia de la hidrólisis del almidón es el incremento en los azúcares totales. En general el contenido de azúcares y el sabor azucarado aumentan en el transcurso de la maduración (Gómez-Lim, 2000).

En la tabla 9 se puede observar que el fruto en madurez fisiológica presentó una menor cantidad de carbohidratos, sin embargo el fruto en madurez comercial presentó un aumento de 28.78% de estos azúcares. Además, el mango no es una buena fuente de proteína y grasa, ya que su contenido fue menor al 1% para ambos estadios de maduración.

El mango es rico en fibra, por lo que es considerado una fruta altamente saludable, razones que lo convierten en una fruta imprescindible en una dieta bien balanceada.

En la Tabla 11 se muestran los parámetros fisicoquímicos del mango. El ablandamiento de los tejidos es otro de los parámetros de calidad que el consumidor evalúa en un fruto, y es uno de los principales cambios que se dan durante la maduración, este cambio se determina por medio de la textura del fruto que generalmente esta relacionada con las cantidades de polisacáridos estructurales, almidón y sustancias pécticas encontradas en la piel de mango (Luchsinger *et al.*, 2001).



**Tabla 11.** Parámetros fisicoquímicos del mango variedad 'Ataulfo'.

PARÁMETRO	MADUREZ FISIOLÓGICA	MADUREZ COMERCIAL
pH*	2.93	5.41
Acidez *(% de ácido cítrico)	0.68	0.063
Sólidos solubles *(°Brix)	10.33	15.63
Firmeza *(Kg/cm <sup>2</sup> )	12.40	3.60

\* Los valores presentados son el promedio de tres repeticiones. n=3

Los cambios en el grosor de la pared celular son resultado de la disolución de la lamina media y la modificación simultánea de la permeabilidad de la membrana haciéndola menos selectiva y aumentando con ello, los espacios intracelulares llenos de agua y gases que contribuyen al ablandamiento de los tejidos (González-Aguilar *et al.*, 2001). Por esta razón, los frutos en estado post-climatérico presentaron una disminución de la firmeza de hasta el 75-80% aproximadamente.

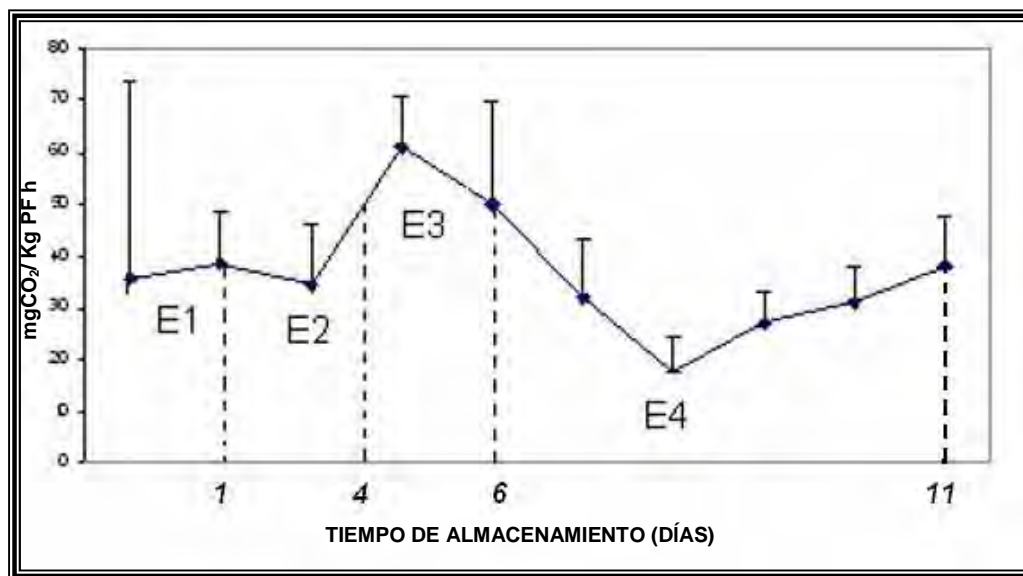
Por otro lado conocemos que el sabor es resultado de la producción de una mezcla compleja de compuestos volátiles que interactúan con la producción de otros constituyentes mayoritarios especialmente los carbohidratos, los compuestos fenólicos y los ácidos orgánicos.

La disminución en la acidez total del fruto puede deberse también a una disolución de los ácidos en el contenido celular como consecuencia del incremento en el contenido de jugo (González-Aguilar *et al.*, 2001). Los ácidos alifáticos, sobre todo el málico y el cítrico, van disminuyendo con la maduración, así como también los ácidos fenólicos y otras sustancias tanoides, que se metabolizan a partir de un cierto grado de madurez. Esto produce la desaparición del sabor ácido y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 21, se muestra el patrón respiratorio del mango durante 11 días de almacenamiento a 20°C, que corresponde al comportamiento de un fruto climatérico (Gómez-Lim, 2000).



**Figura 21.** Producción de CO<sub>2</sub> del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.

El mango presenta un comportamiento climatérico que se caracteriza por llevarse a cabo en cuatro etapas: la primera corresponde al pre-climaterio, en el que el fruto presentó un color verde intenso y su respiración fue mínima (30 mg CO<sub>2</sub> /h Kg PF); la segunda denominada inicio del climaterio (día 4), en el que se presentó un aumento del 8.6% en el contenido de CO<sub>2</sub>, y llega al máximo climatérico que se presentó en el día 5º, que corresponde a la madurez comercial del fruto, en donde el mango desarrolla sus características lo hacen apto para el consumo y presentó el máximo nivel de CO<sub>2</sub> y posteriormente para entrar al postclimaterio que comienza con la disminución en la producción de CO<sub>2</sub> característico de la senescencia (Baquero-Duarte *et al.*, 2005).



### 5.2 EFECTO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN A LOS TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN UV-C.

Se evaluaron diferentes tiempos de exposición de los tratamientos UV-C, para establecer el efecto en los diferentes parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, color, firmeza) fisiológicos y bioquímicos. Además de establecer los tiempos de exposición más adecuados para su aplicación en mango variedad 'Ataulfo'.

#### 5.2.1 Índice de quemaduras en mangos expuestos a diferentes tratamientos de UV-C.

Las quemaduras provocadas en la piel de los frutos por los tratamientos UV-C fueron evaluadas subjetivamente con el índice de quemaduras. Las quemaduras se manifestaron por la aparición de manchas café rojizas en la piel de los frutos, sometidos a las diferentes condiciones de irradiación UV-C. Estas se manifestaron conforme transcurrió la maduración, siendo más evidentes durante el postclimaterio, que correspondió al onceavo día de almacenamiento.

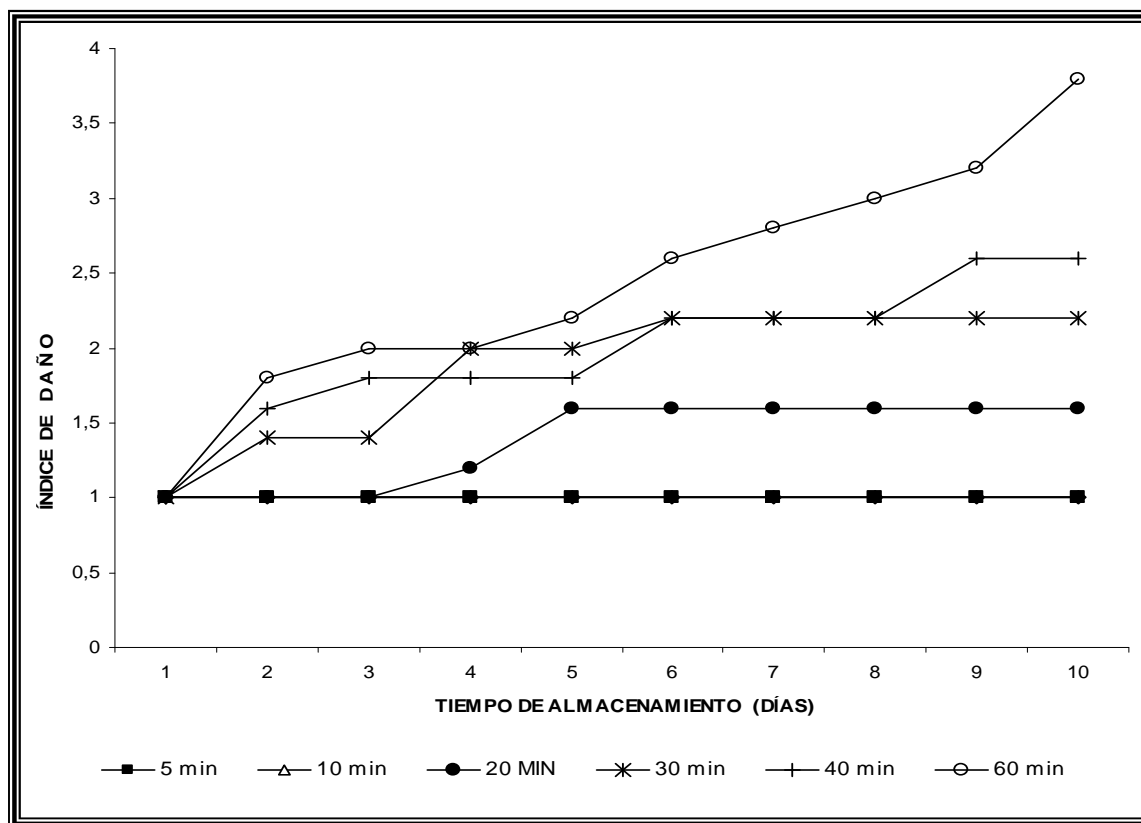
En la Figura 22 se muestra el índice de quemaduras en mangos para los diferentes tiempos de exposición del tratamiento de UV-C. Se observó que los frutos expuestos a tiempos de 5 y 10 minutos de irradiación no presentaron quemaduras durante el proceso de maduración a 20 °C; de forma contraria, los frutos tratados por 20, 30, 40 y 60 minutos mostraron quemaduras conforme transcurrió la maduración del fruto.

Es evidente que el índice de quemaduras, presentó valores mayores para frutos que fueron sometidos a mayores tiempos de exposición al tratamiento. Este parámetro fue importante por su efecto en la apariencia del producto, lo cual permitió establecer las mejores condiciones del tratamiento.

En el estado preclimatérico, los frutos tratados por 60 minutos, presentaron los mayores daños por quemaduras, cuatro veces más, que los presentados a 5 y 10 minutos de tratamiento. En el postclimaterio se encontró que los frutos tratados por 40 minutos presentaron 31% menos quemaduras que los de 60 minutos.

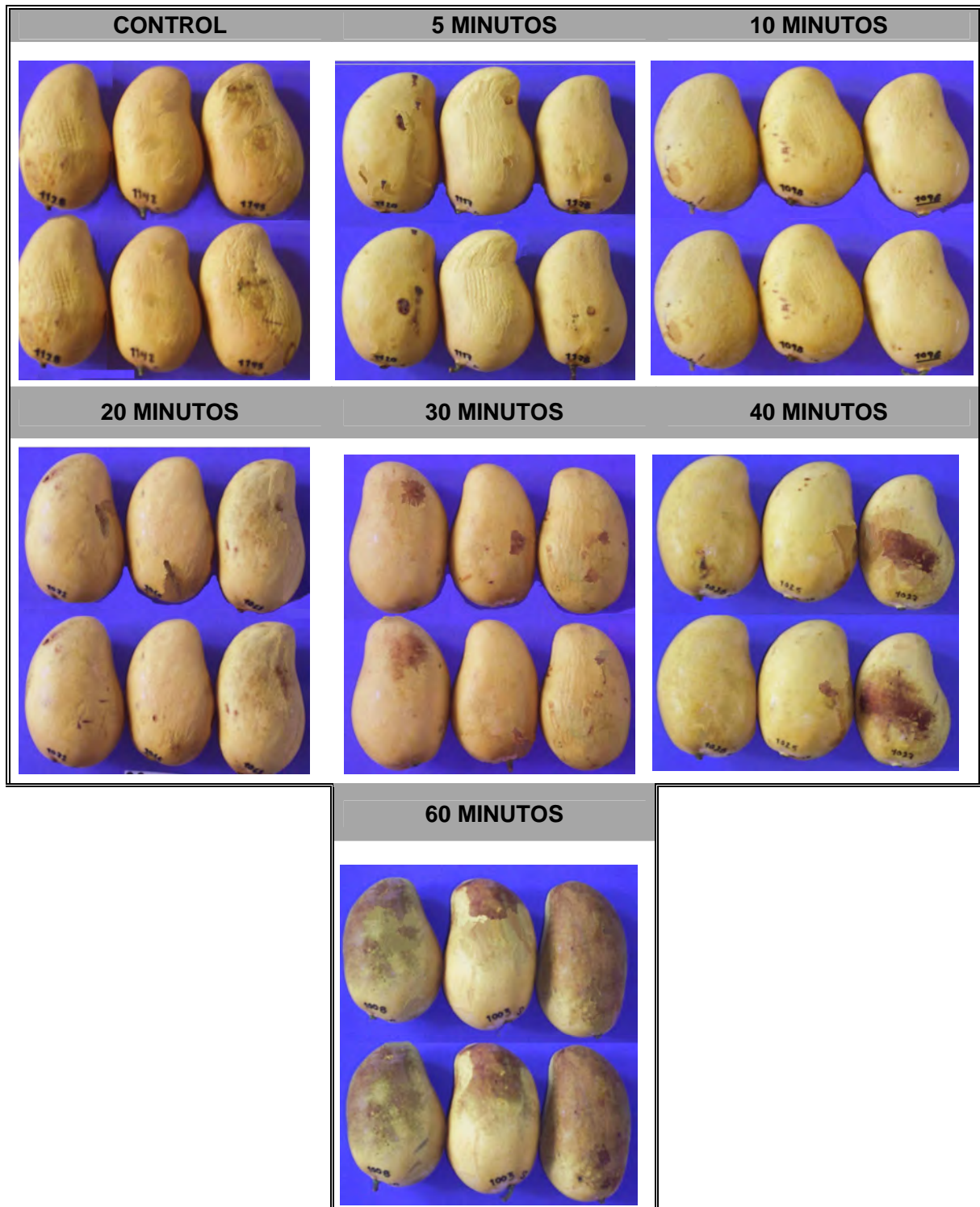


Los frutos expuestos por 30 minutos presentaron un daño por quemaduras 42% menor que los de 60 minutos mientras que los irradiados por 20 minutos presentaron un daño significativo al quinto día, alcanzando su valor máximo (1.6), siendo 58% menor que el tratamiento por 60 minutos de irradiación.



**Figura 22.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamientos UV-C sobre el índice de quemaduras de mango 'Ataulfo' almacenado a 20° C

La Figura 23 se muestran los frutos control y los irradiados por 5, 10, 20, 30, 40 y 60 minutos, en el postclimaterio. A partir de los resultados obtenidos en el índice de quemaduras, se establecieron las condiciones más adecuadas de experimentación. Este índice permitió determinar el tiempo de exposición del tratamiento UV-C, encontrándose que tratamientos menores a 30 minutos no presentaron efectos de quemaduras.



**Figura 23.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamientos UV-C sobre el índice de quemaduras de mango 'Ataulfo' almacenado a 20° C.

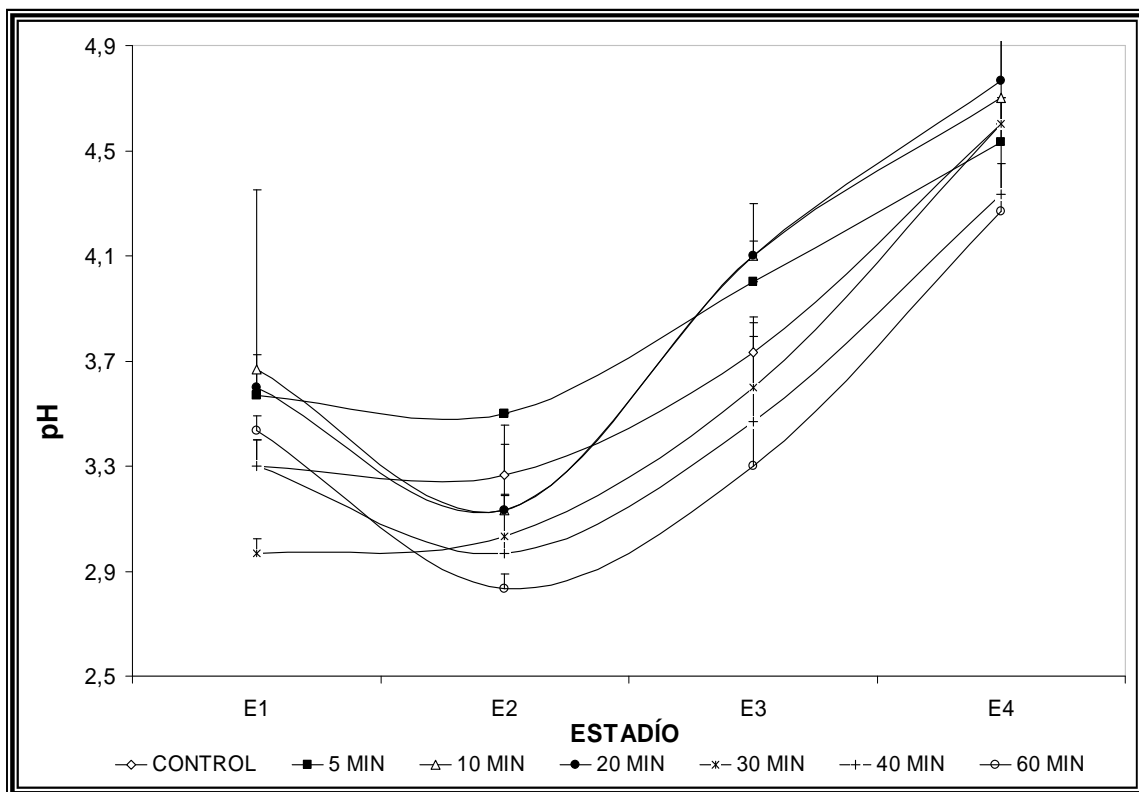


### 5.2.2 Efecto en los parámetros de calidad.

Los parámetros de calidad son características que permiten reconocer si un fruto es capaz o no de cumplir con las expectativas del consumidor, para adjudicarle un valor como alimento. Para el caso de alimentos que han sido expuestos a algún tipo de tratamiento, como es el caso, contribuyen a determinar si dicho tratamiento, alteró los procesos fisiológicos y/o la calidad del fruto impidiendo su proceso de maduración normal.

- pH

Los valores de pH indican la medida de la acidez o alcalinidad de un producto. En la Figura 24 se muestra el efecto de los diferentes tiempos de irradiación sobre el pH de los frutos.



**Figura 24.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre el pH de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.





Al inicio del almacenamiento, que corresponde al preclimaterio ( $E_1$ ) se presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.5$ ) entre el control y los diferentes tiempos de tratamiento. Los frutos control presentaron un pH de 3.3, mientras que los tratamientos por 30 minutos presentaron un valor de pH 10% menor que el control. Los frutos tratados por 5 minutos tuvieron un valor 8 % mayor que el control. Los mangos tratados por 10, 40 y 60 minutos mostraron una disminución al cuarto día de almacenamiento, mientras que el control y tratamientos por 5, 20 y 30 minutos, se mantuvieron casi constantes presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), con respecto a los demás tratamientos.

En el máximo climaterio ( $E_3$ ), tanto los frutos control como los tratados presentaron un aumento. Los frutos tratados por 5, 10 y 20 minutos presentaron un valor de pH 7% mayor que el control; para los tratados por 30, 40 y 60 minutos el pH fue menor en comparación a los demás tratamientos e incluso al control. Siendo más significativo para los tratados por 60 minutos ya que presentaron un valor 11% menor al control. En el postclimaterio ( $E_4$ ) el valor del pH continuó aumentando para todos los casos, presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), entre los frutos tratados por 20 y 40 minutos. Los mangos tratados por 20 minutos mostraron el valor más alto de pH 4.7, mientras que los tratados por 40 y 60 minutos el valor más bajo fue 4.3, el cual representó un 8% menor que los frutos tratados por 40 minutos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, puede decirse que las condiciones de mayores tiempos de exposición a UV-C, como los tiempos superiores a los 20 minutos (30, 40 y 60 minutos) presentaron valores de pH menores que los frutos control y los tratados por 5, 10 y 20 minutos.

A diferencia del estudio realizado por Erkan *et al.* (2001) donde los niveles de ácido ascórbico, se incrementaron por el tratamiento en diferentes vegetales; en el presente trabajo se observó que, el tratamiento por tiempos de exposición mayores a 30 minutos, mostraron un efecto significativo en los valores de pH ( $P \leq 0.05$ ), con respecto a los frutos control.



Esto puede deberse a que una de las respuestas bioquímicas del fruto a la irradiación UV-C es la producción de compuestos antioxidantes además de la síntesis de importantes ácidos, precursores del metabolismo de los fenoles como lo es el ácido cinámico.

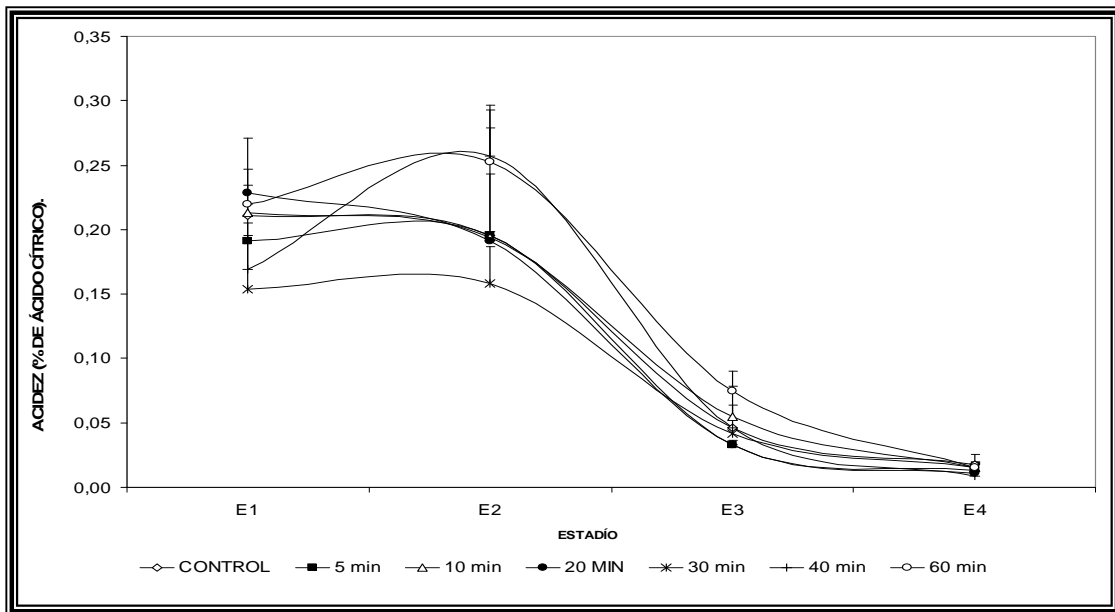
- **Acidez**

La acidez titulable brinda una medida de la cantidad de ácidos orgánicos presente en un producto; estos compuestos contribuyen a la calidad postcosecha de los frutos, ya que su sabor está fundamentado en el balance que existe entre azúcares y los ácidos orgánicos. La naturaleza de los ácidos orgánicos señalan que, los principales ácidos que contribuyen a la acidez son el ácido cítrico y málico, por lo tanto hay una gran influencia de este parámetro en el sabor y aroma de los frutos (Guadarrama *et al.*, 1995).

En la figura 25, se muestra el cambio en la acidez a lo largo de la maduración. Los frutos control presentaron durante el preclimaterio una acidez de 0.21%, para disminuir un 98%, transcurridos 11 días de almacenamiento que corresponden a la senescencia del mango.

Los frutos tratados por 5 y 20 minutos presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto a los tratados por 30 minutos. Los tratados por 20 minutos mostraron un valor 37.5% mayor que el control.

Para el estadio E<sub>2</sub>, los mangos tratados por 40 minutos fueron los que presentaron un valor de acidez de 0.25% de ácido cítrico, el cual fue mayor que el control y los demás tratamientos; sin embargo los frutos tratados por 10 minutos presentaron un valor igual al grupo control de 0.19% de ácido cítrico. Los tratados por 30 minutos presentaron un valor 5 veces menor al del control.



**Figura 25.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la acidez de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

Para el máximo climaterio (E<sub>3</sub>) la acidez disminuyó drásticamente para todos los casos, presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los frutos tratados por 60 minutos con respecto al control y los tratados por 5, 10, 20, 30 y 40 minutos.

Para el postclimaterio, que corresponde a la senescencia del fruto, no se encontró diferencia significativa entre el control y los demás tratamientos presentando el mismo valor de 0.01% de ácido cítrico,

Un estudio con duraznos irradiados por UV-C mostró que el mayor contenido de ácido ascórbico lo presentaron los frutos sometidos a mayores tiempos de exposición (González-Aguilar *et al.*, 2004), esto a diferencia de los resultados obtenidos en el presente trabajo, en donde sólo se presentaron efectos significativos en el porcentaje de acidez titulable, sólo para los frutos tratados por 60 minutos.



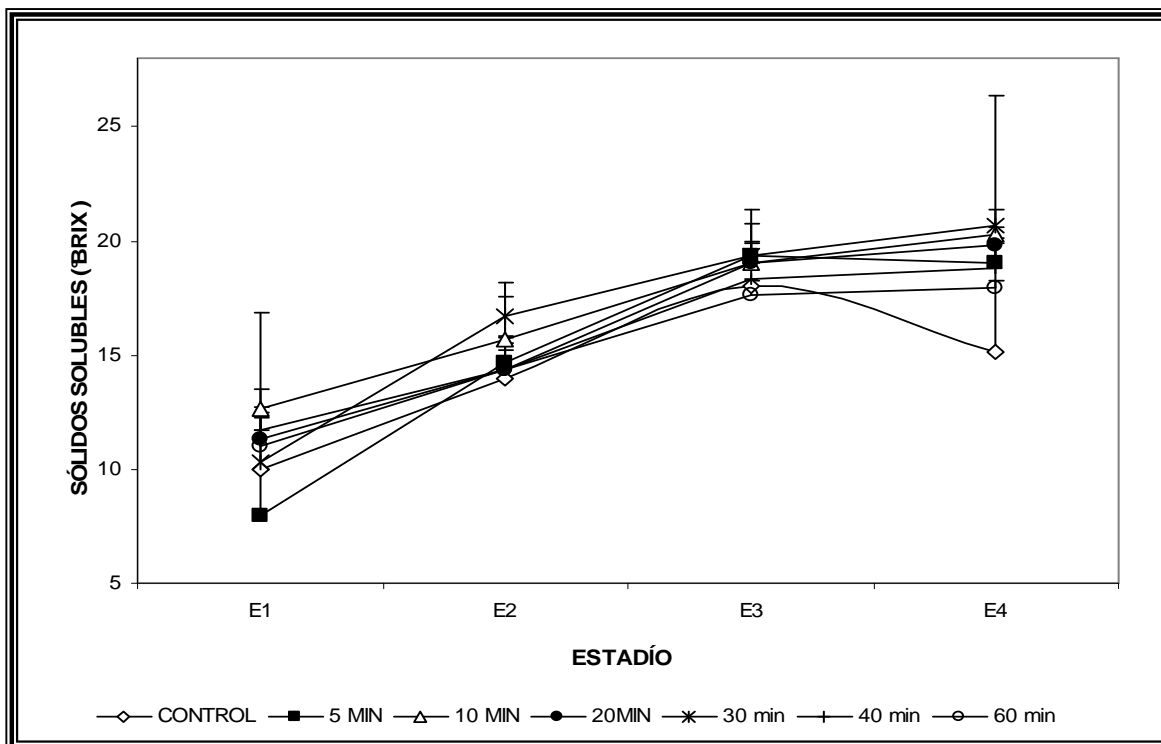
- **Sólidos solubles.**

Los mangos contienen muchos compuestos solubles en agua, como los azúcares, ácidos, vitamina C, aminoácidos y algunas pectinas. Estos compuestos forman el contenido de sólidos solubles del fruto. Los azúcares representan una alta proporción de estos compuestos en los mangos maduros. Una vez cosechado el fruto, el contenido de azúcares se incrementa a expensas del almidón presente incrementándose los sólidos solubles (Milagros-Guadarrama, 1992).

En la Figura 26 se muestra el cambio en los sólidos solubles, en mangos irradiados a diferentes tiempos de exposición. En el preclimaterio, se observó que el lote control, tuvo un valor de 10 °Brix, mismo que aumentó un 80% en el máximo climaterio, y para el postclimaterio este valor disminuyó un 30%.

En el preclimaterio los frutos tratados por 10 minutos tuvieron un valor 26% mayor que el control, mientras que los tratados por 5 minutos mostraron un valor inicial 22% menor que el control. Al cuarto día se mostró un ligero incremento de sólidos solubles para todos los casos; los mangos tratados por 30 minutos presentaron valores 16 % mayores que el control, y los demás tratamientos no presentaron diferencia significativa entre ellos. Para el sexto día los sólidos solubles, se incrementaron 23% en todas las condiciones de tratamientos.

Durante la senescencia el aumento en los sólidos solubles fue muy poco para los frutos tratados; sin embargo el grupo control presentó una ligera disminución del 18%, con respecto a los frutos sin tratamiento.



**Figura 26.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre los sólidos solubles de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

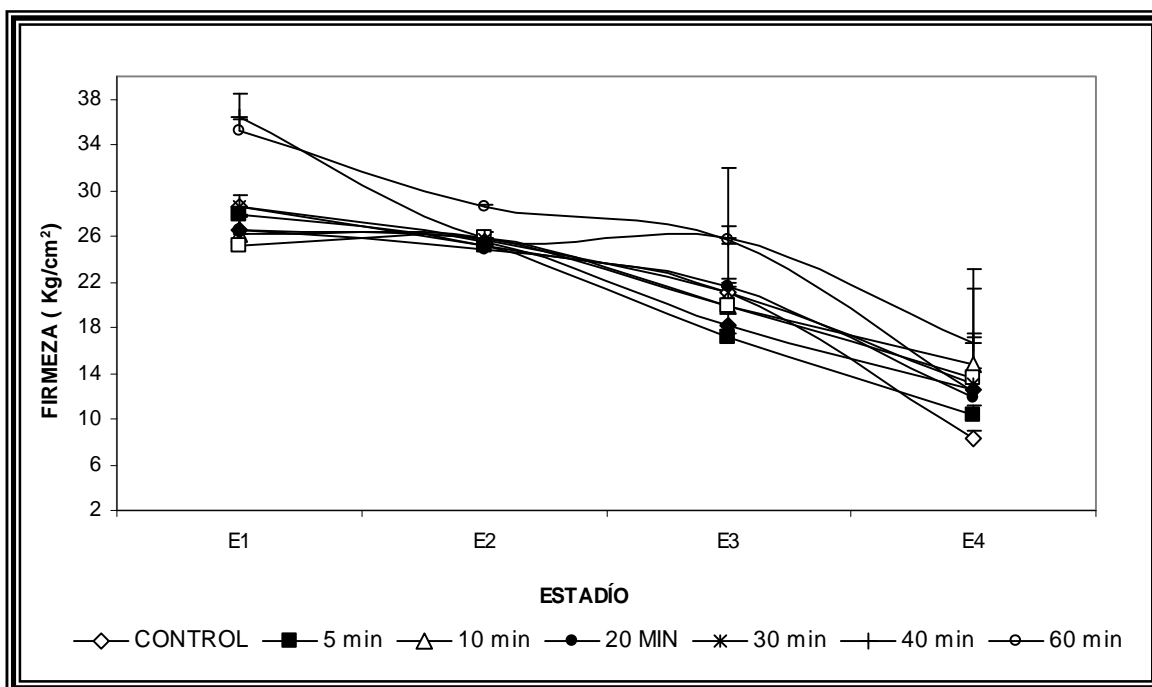
Como lo mencionan Botaina *et al.* (2002), los frutos que son sometidos a condiciones extremas en el ambiente, pueden generar respuestas bioquímicas y fisiológicas y una de ellas es la generación de azúcares reductores y otros carbohidratos, que proceden de las reservas de almidón del fruto. Sin embargo, en el presente trabajo no se observó un efecto por las diferentes condiciones de tratamiento.

- **Firmeza.**

La firmeza es una característica que resulta de una combinación de varios factores, como: la turgencia hídrica y los componentes estructurales de los tejidos y células. Es un importante parámetro de calidad postcosecha, que puede ser utilizado como índice de cosecha y maduración. También es importante en la evaluación de la susceptibilidad de los frutos a daños físicos, mecánicos o manejo postcosecha, ya que esta varía de acuerdo a la madurez y variedad de los frutos (Ketsa *et al.*, 1999).



La figura 27 muestra el efecto del tratamiento de irradiación UV-C sobre la firmeza de los frutos expuestos a diferentes tiempos de irradiación. Los mangos control disminuyeron su firmeza conforme avanzó el proceso de maduración del inicio del almacenamiento hasta el postclimaterio disminuyendo en un 72% mientras que los mangos tratados por 5 minutos presentaron una disminución del 62%, los tratados por 10 minutos 46%, los tratados por 20 minutos 57%, los tratados por 30 minutos 53%, los tratados por 40 minutos 55% y los tratados por 60 minutos 65% desde el inicio preclimaterio hasta el postclimaterio.



**Figura 27.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la firmeza de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

La exposición más prolongada de los frutos al tratamiento, reducen en gran medida la pérdida de firmeza, provocando una disminución importante en los procesos metabólicos relacionados con este parámetro (González Aguilar *et al.*, 2004).



La irradiación UV-C, induce un incremento en la actividad de la Fenilalanina amonioliasa, que es una enzima encargada de la síntesis de fenoles y en consecuencia de ello, se presenta un aumento en la lignina, compuesto de la pared celular, de naturaleza fenólica, provocando en el fruto un disminución en la pérdida de firmeza. Este fenómeno podría estar relacionado con la pérdida de firmeza de los frutos irradiados (Erkan *et al.*, 2001).

- **Pérdida de peso.**

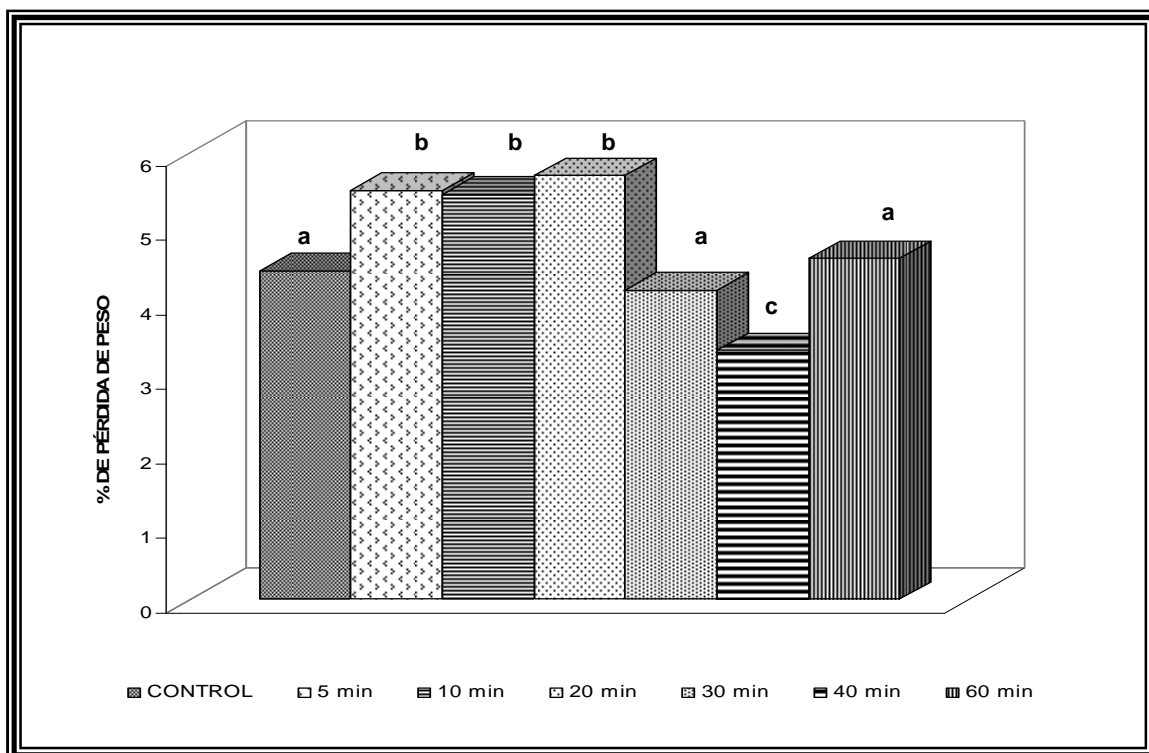
La pérdida de peso es una característica que afecta la calidad de los frutos, debido a que se asocia con la deshidratación del fruto, causando importantes pérdidas económicas, además de modificar la apariencia de los frutos y contribuir a la pérdida de firmeza (Lamúa ,2000).

La evaluación del porcentaje de pérdida de peso es esencial debido a que la alta tasa de respiración, va acompañada por una pérdida de agua que ocurre durante la maduración y particularmente durante la fase climatérica, causa una reducción neta en el peso de los frutos (Doreyappa y Huddar, 2001).

El porcentaje de pérdida de peso (Figura 28) de los frutos tratados por 5, 10 ,20 y 60 minutos fue 23% mayor que el control, sin embargo para los mangos tratados por 30 y 40 minutos se obtuvo 24% menor pérdida de peso que el grupo control.

Aún cuando en todos los casos el porcentaje de pérdida de peso fue muy bajo, es bien sabido que la irradiación, genera ruptura en enlaces presentes en la membrana de las células de la pared celular, además de que es capaz de cambiar la conformación de enzimas presentes en dicha membrana, provocando la salida de agua y otras soluciones.

Sin embargo, en el presente estudio los frutos más afectados fueron los de menor tiempo de tratamiento UV-C.



**Figura 28.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la pérdida de peso de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C, durante once días.

### 5.2.3 Efecto en los parámetros fisiológicos y bioquímicos.

- **Efecto en la respiración.**

La tendencia del fruto durante el tiempo de almacenamiento a 20°C corresponde al comportamiento típico de un fruto climatérico, en el se perciben dos fases:

En la primera fase, los ácidos orgánicos, lípidos, carbohidratos y proteínas son metabolizados por el fruto produciendo en gran cantidad CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y energía, observándose un aumento abrupto en la intensidad respiratoria del fruto; etapa comprendida entre los días 0 (madurez fisiológica) y 6 (madurez comercial) que conducen al desarrollo de las características sensoriales óptimas de color, textura, sabor y aroma.



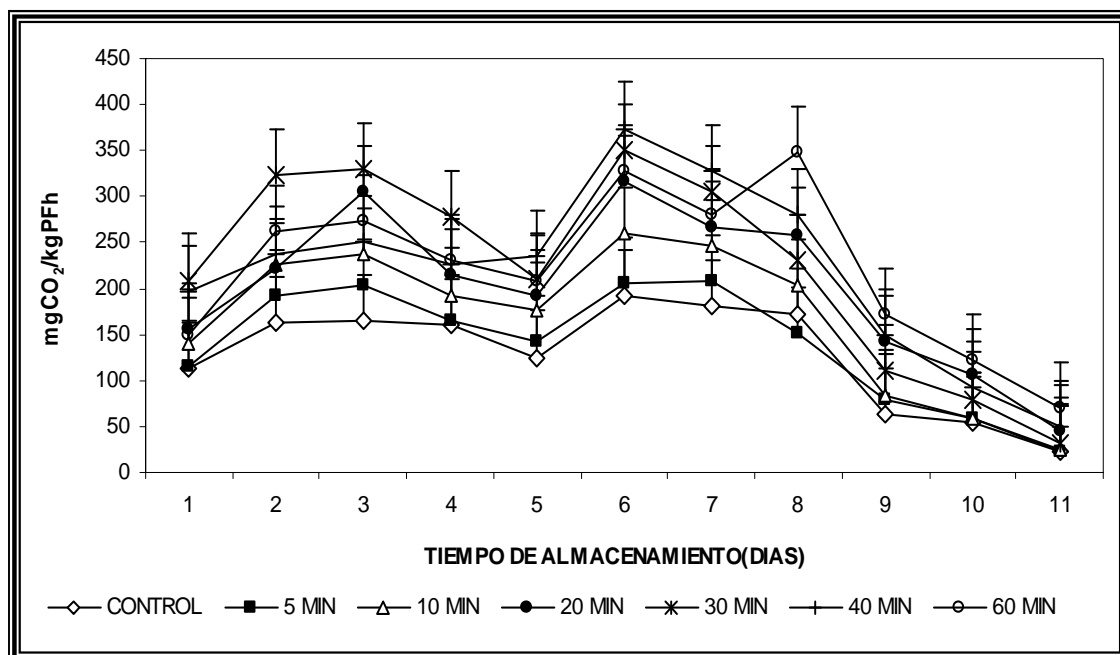


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la segunda fase se producen un conjunto de reacciones enzimáticas, que conducen a la pérdida de la integridad celular, dentro de las que pueden destacarse las reacciones de pardeamiento, en las que actúan enzimas como PPO y PDO, sobre los fenoles, ocasionando condensaciones y polimerizaciones que generan los colores pardos en el fruto (Baquero-Duarte *et al.*, 2005).

El efecto de los tratamientos con irradiación UV-C sobre la respiración de los mangos almacenados a 20°C, se muestra en la figura 29.

En el primer día el lote control presentó una producción 45% menor de CO<sub>2</sub> en comparación a los frutos tratados, misma que se incrementó un 31% al primer día, para posteriormente mantenerse constante hasta el cuarto día y presentar su pico más alto (191 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h) al sexto día de almacenamiento aumentando un 67% con respecto al estado inicial de almacenamiento, posteriormente disminuyó drásticamente hasta presentar valores de 24.35 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h, es decir 87% menores que el pico más alto de respiración en el día 11 donde se identifica la senescencia del fruto.



**Figura 29.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la Respiración de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.



Los frutos tratados por 5 minutos presentaron el mismo comportamiento que el control pero mostrando el pico más alto (208 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h) al sexto día y disminuyendo drásticamente al día 11 con valores iguales al control.

Los frutos tratados por 10 minutos presentaron una producción de CO<sub>2</sub> intermedia, en el primer día mostraron una producción de CO<sub>2</sub> 23% mayor al control, al sexto día presentó su pico más alto al mostrar un producción de 259.69 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h, 26% mayor al grupo control, y disminuir drásticamente al día 11, con valores iguales al lote control.

Los frutos tratados por 30 minutos presentaron la mayor producción de 209 mg CO<sub>2</sub> /Kg PF h en comparación al control y los otros tratamientos. La mayor producción de CO<sub>2</sub> la presentaron, los frutos tratados por 40 minutos. En el primer día presentaron un valor de 197 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h, 73% mayor al control, esta aumentó al tercer día 250 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h, para después disminuir ligeramente al cuarto día 230 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h y al sexto día de almacenamiento presentaron su pico más alto con una producción de 374 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h, 96% mayor al lote control, y posteriormente disminuir drásticamente al onceavo día para llegar a una producción de 49 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h 54% mayor a los frutos control.

Los mangos tratados por 60 minutos presentaron su mayor producción de CO<sub>2</sub> hasta el octavo día 348 mg CO<sub>2</sub>/Kg PF h y posteriormente al día 11 disminuyeron ubicándose en un valor 76% mayor al control.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron similares a lo planteado por González-Aguilar *et al.* (2004) que establecen que el tratamiento UV-C, incrementa la respiración y la producción de etileno de un 18 hasta un 50 %.

Se muestra un efecto significativo con respecto a los tratamientos de irradiación sobre este parámetro, principalmente en los tiempos largos de exposición, como son 40 y 60 minutos, ya que los frutos tratados a estos tiempos presentaron la mayor producción de CO<sub>2</sub> en comparación al control y los tratados por corto tiempo como son los de 5 y 10 minutos.



### 5.2.3.1 Efecto en la actividad de la enzima Polifenol Oxidasa (PPO) y la Peroxidasa (PDO).

- **Efecto en la actividad enzimática de la Polifenol oxidasa (PPO)**

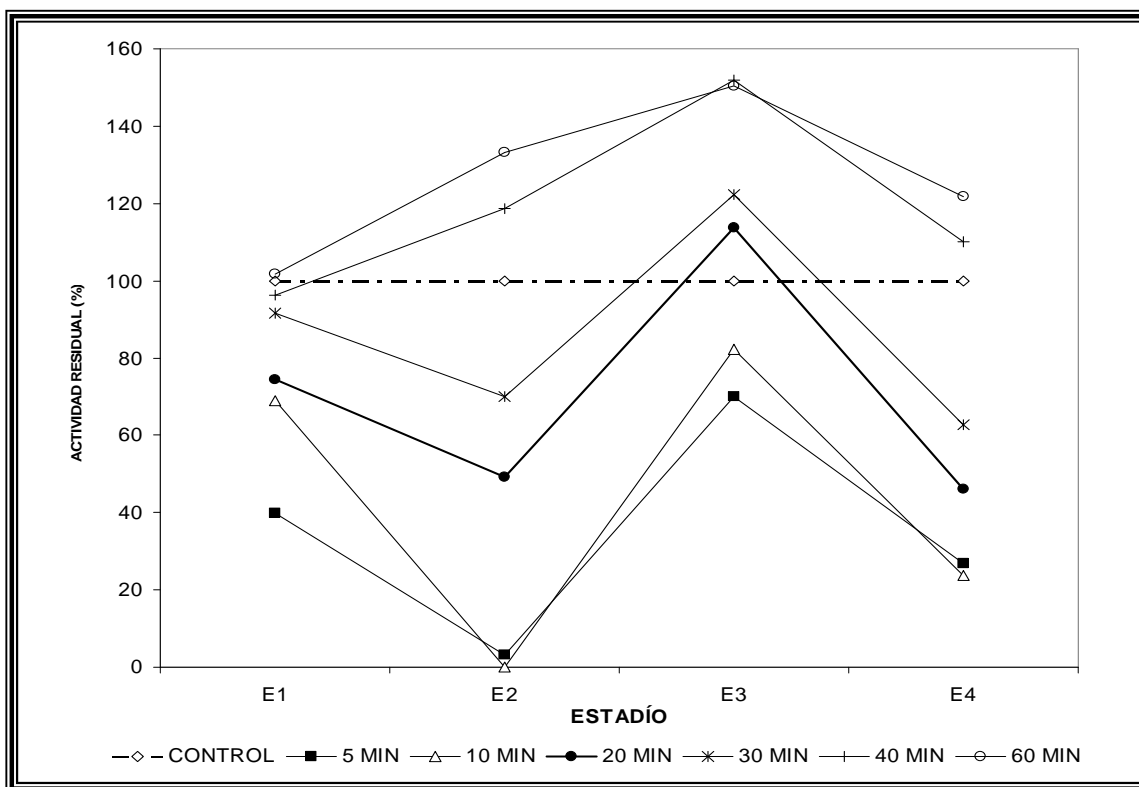
Se sabe que la Polifenol Oxidasa (PPO) y Peroxidasa (PDO) catalizan la oxidación de fenoles propios de las células a quinonas, las cuales son altamente reactivas con proteínas, ácidos nucleicos, flavonoides y otras quinonas; estas reacciones además de generar colores pardos, reducen las propiedades sensoriales de textura, color y sabor, disminuyen la calidad nutricional del alimento y desembocan finalmente en la muerte del fruto (Baquero-Duarte et al., 2005).

Como se observa en la Figura 30, la actividad de PPO se evaluó de forma residual, es decir, la relación de la actividad de dicha enzima en los frutos tratados por irradiación con respecto a los frutos control a lo largo de los diferentes estadios de maduración.

Para el caso de la actividad residual de la PPO en piel de mango 'Ataulfo' sometido a diferentes tiempos de irradiación UV-C, la figura mostró que los porcentajes de actividad, se mantuvieron en aumento hasta llegar a su máxima actividad en el estadio E<sub>3</sub> para posteriormente disminuir y llegar a su actividad mínima en el postclimaterio.

En el preclimaterio se observó, que en los tiempos de irradiación menores a 60 minutos la actividad de PPO fue menor a la del grupo control; para el caso de 5 minutos la actividad fue 60 % menor al control 30% para frutos con 10 minutos, 20% para frutos con 20 minutos , 11% para frutos con 30 minutos y 4 % para el caso de 40 minutos de tratamiento, mientras que los mangos irradiados con 60 minutos se presentaron un 2% por arriba de la actividad del control.

En el inicio del climaterio de almacenamiento, la actividad enzimática se presentó en dos grupos con tendencias estadísticamente semejantes, el primero integrado por los frutos con 5, 10, 20 y 30 minutos de tratamiento que mostraron actividades disminuidas entre un 25 y 30% con respecto a la actividad residual registrada para el día 2, remarcando que estas condiciones presentaron actividades residuales menores a la que se registró para el control.



**Figura 30.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PPO en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C. durante los 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.

El segundo grupo integrado por los frutos de 40 y 60 minutos, presentaron un aumento en la actividad de aproximadamente 25% con respecto a la actividad del primer día de almacenamiento, las dos condiciones mostraron actividades 18 y 33 % mayores a la del control, respectivamente.

En el máximo climaterio de los frutos, la enzima presentó una activación para todas las condiciones, destacando los frutos con 60 y 40 minutos de exposición a UV-C en las que la actividad de la enzima se encontró aproximadamente 50% más activa que el control, seguida por las condiciones de 20 y 30 minutos de irradiación que aumentaron su actividad en un 13 y 22% respectivamente, con respecto al control.



Para los demás tiempos de exposición (5 y 10 minutos) las actividades residuales se encontraron por debajo de la actividad del lote control desde un 20% (5 minutos) hasta un 30% (10 minutos).

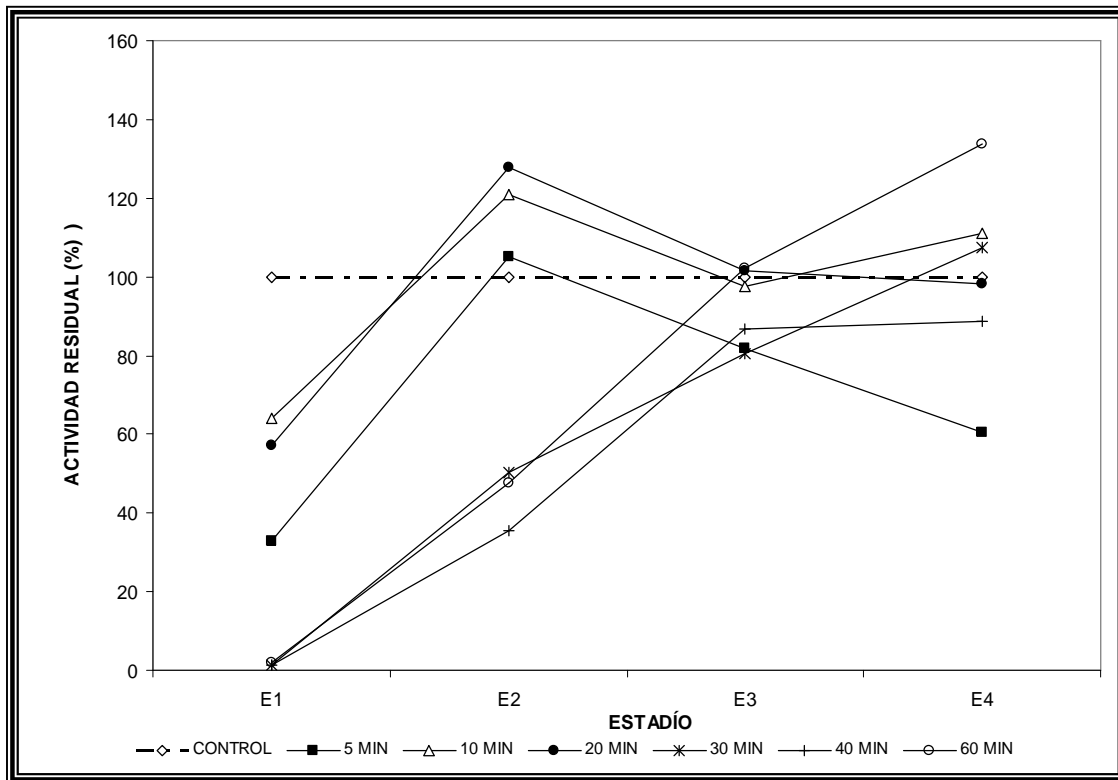
Es importante mencionar que a partir de este estadio, la enzima disminuyó su actividad y nuevamente alcanzó porcentajes de actividad residual muy semejantes a las que se registraron para el inicio del almacenamiento.

En el postclimaterio, las condiciones de 5, 10, 20 y 30 minutos de exposición, presentaron actividades por debajo de las del lote control. Los frutos tratados por 5, 10, 20 y 30 minutos de irradiación, disminuyeron en un 50% su actividad con respecto al sexto día de almacenamiento, mientras que los frutos tratados con 40 y 60 minutos disminuyeron su actividad un 30 y 40% respectivamente, en referencia al estadio E<sub>3</sub>.

De manera similar a lo encontrado en el presente trabajo diversos autores reportaron altos valores de actividad enzimática de PPO en tiempos prolongados de exposición, plantean que la irradiación causa un gran daño en la membrana, dando como resultado la solubilización de la PPO y esto, se manifiesta en una elevación de la actividad en el postclimaterio (Frylinck *et al.*, 1987).

Se sabe que la actividad de las enzimas presentes en la piel de mango, son más altas que en la pulpa (Bothania *et al.*, 2002). La PPO ha sido investigada en varios tejidos de los frutos, entre ellos se encuentra la pulpa del mango (Wang *et al.*, 2006).

Para el caso de la pulpa (Figura 31), la PPO presentó su actividad mínima inmediato al tratamiento, los frutos tratados por 5 minutos presentaron una actividad residual del 68%; para los frutos tratados por 10 y 20 minutos la actividad de la enzima se presentó alrededor de 45 % por debajo de la actividad de los mangos control, mientras que los tratados por 30, 40 y 60 minutos presentaron una actividad residual 97% menor que el control.



**Figura 31.** Efecto de la esición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PPO en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C, durante los 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.

Durante el preclimaterio, los frutos con menores dosis de irradiación presentaron mayores activaciones enzimáticas, caso contrario, los frutos con tiempos de irradiación superiores a los 30 minutos no mostraron activación importante de la enzima, en comparación con los frutos control. En este estadio no se permitió establecer una relación entre el tiempo de exposición a UV-C y la activación enzimática de PPO.

Al inicio del climaterio E<sub>2</sub>, la enzima se activó para todas las condiciones de irradiación y los tratamientos por 5, 10 y 20 minutos registraron un aumento en su actividad del 5, 21 y 30%, respectivamente.



Tanto en E<sub>3</sub>, como en E<sub>4</sub>, considerado el inicio de la senescencia; los frutos tratados bajo estas condiciones (5,10 y 20 minutos ) disminuyeron su actividad siendo más significativo para 5 minutos, condición en la que la actividad disminuyó 60% respecto a su máxima actividad, seguido de los frutos tratados por 20 minutos que disminuyeron su actividad un 25%, en cambio los tratados por 10 minutos, disminuyeron su actividad al sexto día un 19%, sin embargo la enzima vuelve a activarse ligeramente aumentando aproximadamente 12% su valor con respecto al sexto día.

De forma opuesta, los frutos tratados por 30, 40 y 60 minutos, mantuvieron un incremento en su actividad a partir del estadio dos y hasta, E<sub>4</sub>; los mangos con tratamientos por 30 minutos se activaron 36 veces más hasta el onceavo día de almacenamiento, con respecto a la actividad registrada inmediata al tratamiento. De la misma manera, los mangos tratados por 40 minutos aumentaron 30 veces su actividad con respecto a la registrada en el primer día de almacenamiento y los tratados por 60 minutos aumentaron 44 veces su valor de actividad con respecto al estado inmediato al tratamiento.

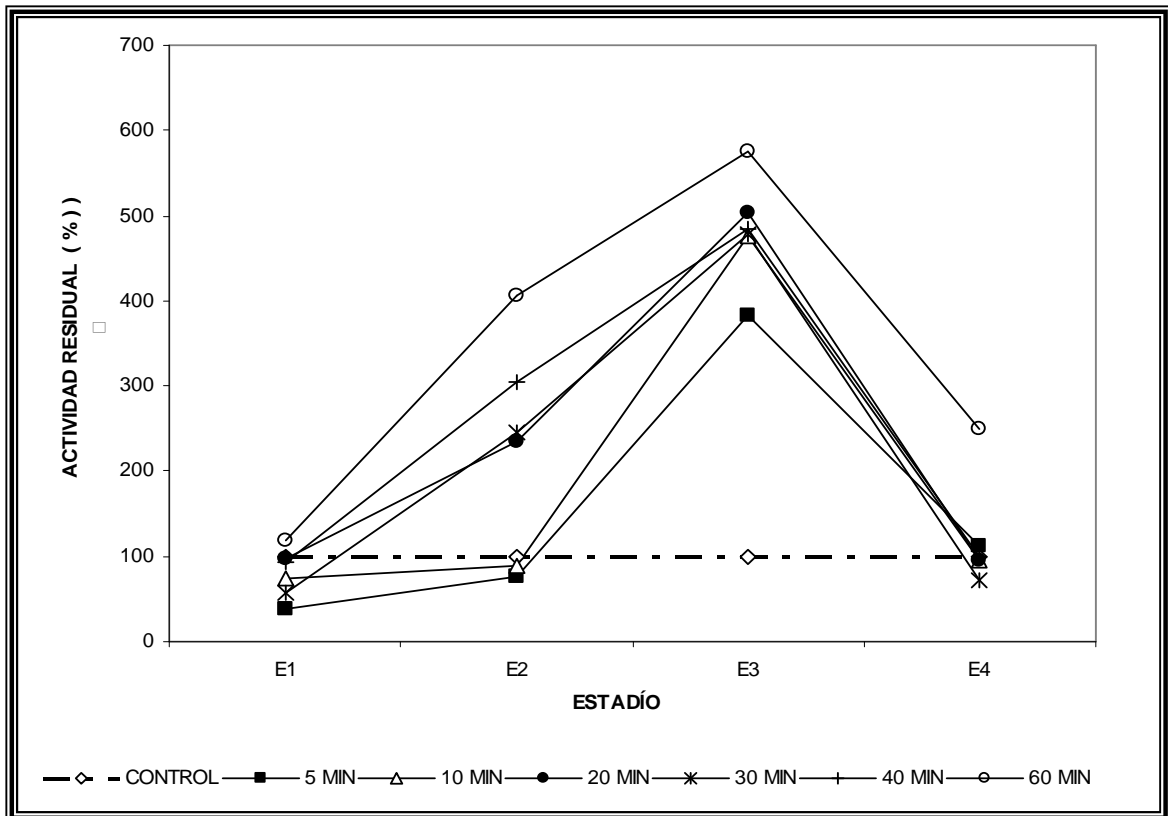
A diferencia del comportamiento de esta enzima en la piel, en la pulpa se presentó una desactivación parcial de la enzima inmediato al tratamiento, esto puede deberse a que el nivel de penetración de este tipo de irradiación es muy bajo como para generar un efecto inmediato sobre la pulpa, por lo que la mayoría de los efectos sobre la actividad enzimática se presentaron durante el proceso de maduración. Sin embargo, la enzima sufre una reactivación a lo largo del proceso de maduración encontrándose que las únicas condiciones que permanecieron debajo del control fueron 5, 20 y 40 minutos.

- **Efecto en la Peroxidasa (PDO)**

La Peroxidasa (Oxidoreductasa), es identificada como una enzima distribuida en el reino vegetal, además de estar presente en tejido animal y microorganismos. La actividad de PDO puede incrementarse debido a la acción del etileno (Leja *et al.*, 2003).



Según el comportamiento general de la PDO, esta progresa conforme al envejecimiento de las células y aumenta conforme la maduración normal de frutos de mango (Frylinck *et al.*, 1987). Se cree que la peroxidasa esta asociada con el deterioro de sabor, color, textura y cualidades nutricionales en algunos alimentos (Khan y Robinson, 1993).



**Figura 32.** Efecto de la exposición a diferentes tiempos de tratamiento UV-C sobre la actividad de la PDO en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C, durante los 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.

La actividad de la POD en la piel de mango 'Ataulfo' sometido diferentes tiempos de irradiación UV-C, se muestra en la Figura 32, describe como los frutos guardan una relación directa entre el tiempo de exposición y la activación de la POD, inmediata al tratamiento. Es decir al aumento en el tiempo de exposición a UV-C, la enzima muestra una activación. Desde el inicio, hasta el máximo climaterio para todas las condiciones los frutos presentaron una activación importante en la POD que en general se incrementaron entre 4 y 6 veces con respecto a la actividad inmediata al tratamiento.





En el postclimatérico que corresponde a la senescencia del fruto, la actividad de la POD tendió a disminuir, todos los tratamientos presentaron una disminución de la peroxidasa siendo significativo para 30 minutos que disminuyó su actividad en un 85% con respecto a E<sub>3</sub>.

Durante los primeros días de almacenamiento los frutos con mayores dosis de irradiación presentaron mayores activaciones enzimáticas, caso contrario, los frutos con tiempos de irradiación menores a 40 minutos, no mostraron activación importante de la enzima, en comparación con los frutos control.

En el cuarto día, la enzima se activa para todas las condiciones de irradiación, los tratamientos por 5, 10 y 20 minutos registraron en este día su actividad máxima, siendo para 5 minutos 85%, para 10 minutos siete veces mayor su valor y para 20 minutos un aumento de dos y media veces su valor, todos con respecto a su actividad inicial. Tanto en E<sub>3</sub>, como en E<sub>4</sub>, los frutos continuaron incrementando su actividad; de esta forma los frutos tratados por 5 minutos aumentaron su actividad un 26 % respecto a su máxima actividad, seguido de los frutos tratados por 20 minutos que incrementaron su actividad un 59%, en cambio los tratados por 10 minutos, disminuyeron su actividad un 6% al final del almacenamiento.

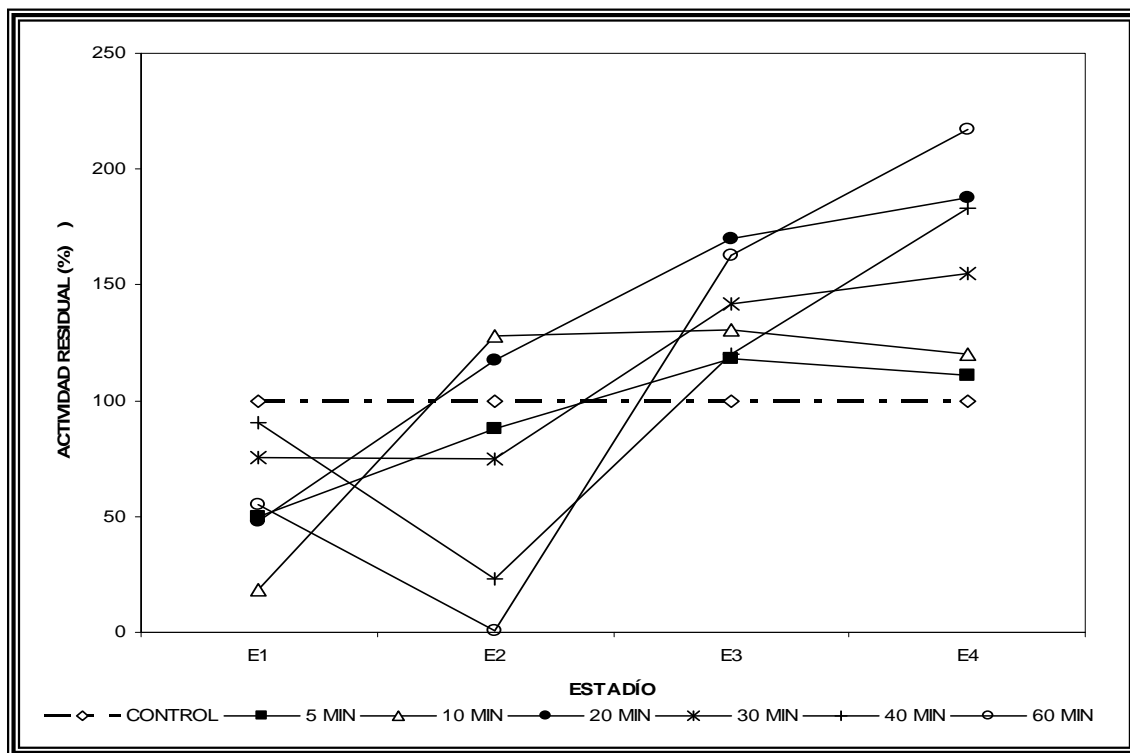
De forma opuesta, los frutos tratados por 30, 40 y 60 minutos, mantuvieron un incremento en su actividad a partir del inicio del climaterio hasta el máximo climaterio; los mangos con tratamientos por 30 minutos aumentaron dos veces su actividad hasta el postclimaterio, esto con respecto al valor de actividad registrado en el inicio del climaterio, de la misma manera, los mangos tratados por 40 minutos aumentaron ocho veces su actividad con respecto a la registrada en el inicio del climaterio mientras que los tratados por 60 minutos aumentaron doscientas veces su valor de actividad inmediata al tratamiento.

Al final del almacenamiento todos los frutos sometidos a condiciones de 5, 10, 20, 30 y 40 minutos presentaron actividades muy cercanas al control.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la pulpa (Figura 33) se presentó una desactivación de la enzima inmediata al tratamiento además de que al inicio del almacenamiento no se cumple la activación de la enzima con respecto a los mayores tiempos de exposición al tratamiento.



**Figura 33.** Efecto del tratamiento UV-C sobre la actividad de la PDO en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

Durante E<sub>2</sub> de almacenamiento, los frutos sometidos a mayores tiempos de irradiación, mostraron una disminución en la actividad, siendo más drástico para las condiciones de 40 y 60 minutos (88%).

Para las condiciones de 20,30, 40 y 60 minutos, se observó un aumento en la actividad a partir del máximo climaterio hasta el postclimaterio, estableciendo una clara relación entre el tiempo de exposición al tratamiento y la activación de la PDO en pulpa.



Por otro lado las condiciones de 5 y 10 minutos de irradiación aumentaron su actividad en el inicio del climaterio para mostrar una ligera disminución para el final del almacenamiento (7%).

### **4.2.3.2 Efecto en el contenido de fenoles totales.**

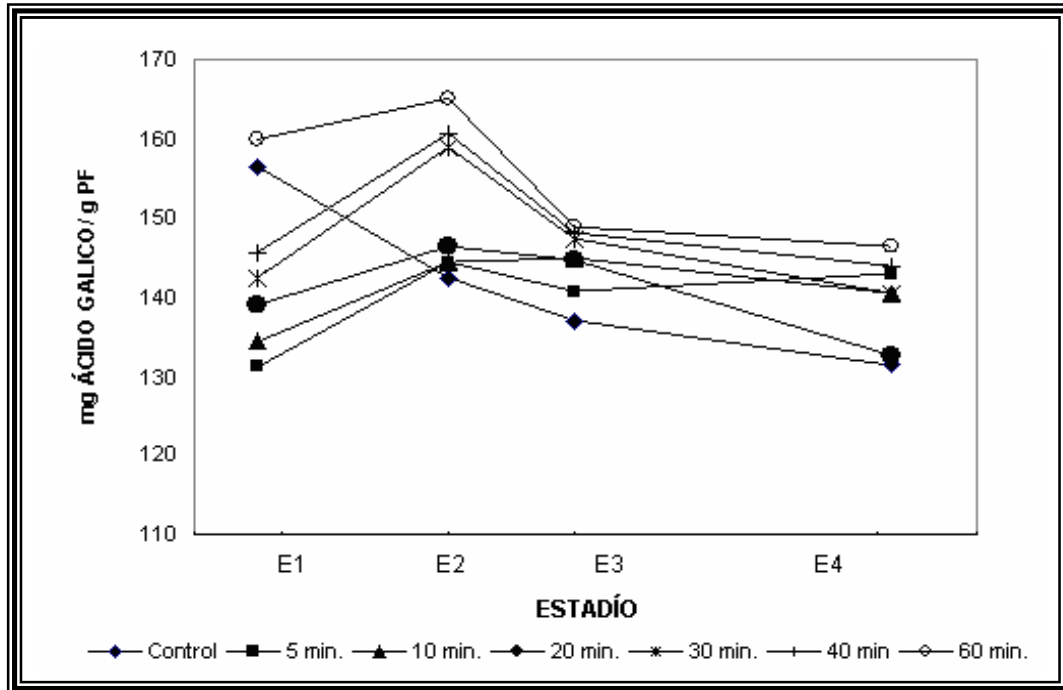
En la Figura 34 se muestra el efecto de los tiempos de exposición al tratamiento de irradiación UV-C sobre el contenido de fenoles totales en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C.

En E<sub>1</sub> los frutos tratados por 5, 10, 20, 30 y 40 minutos presentaron niveles inferiores de fenoles totales, con respecto a los frutos control. Sin embargo, los niveles de estos compuestos, aumentaron conforme aumento el tiempo de tratamiento. Para los frutos tratados por 60 minutos los niveles de fenoles fueron mayores a los frutos sin tratamiento.

En E<sub>2</sub> el grupo control presentó una disminución en el contenido de fenoles (9 %), a diferencia de los frutos tratados, los cuales presentaron un ligero aumento en el contenido de estos compuestos. Además, se mantuvo la tendencia de mayor contenido de fenoles para frutos sometidos a mayor tiempo de exposición de tratamiento por irradiación UV-C.

Para E<sub>3</sub>, que representó la madurez comercial, se encontró una disminución en los frutos control y los tratados por 30, 40 y 60 minutos. Mientras que, los frutos tratados por 5, 10, 20 minutos, permanecieron casi constantes con respecto a E<sub>2</sub>.

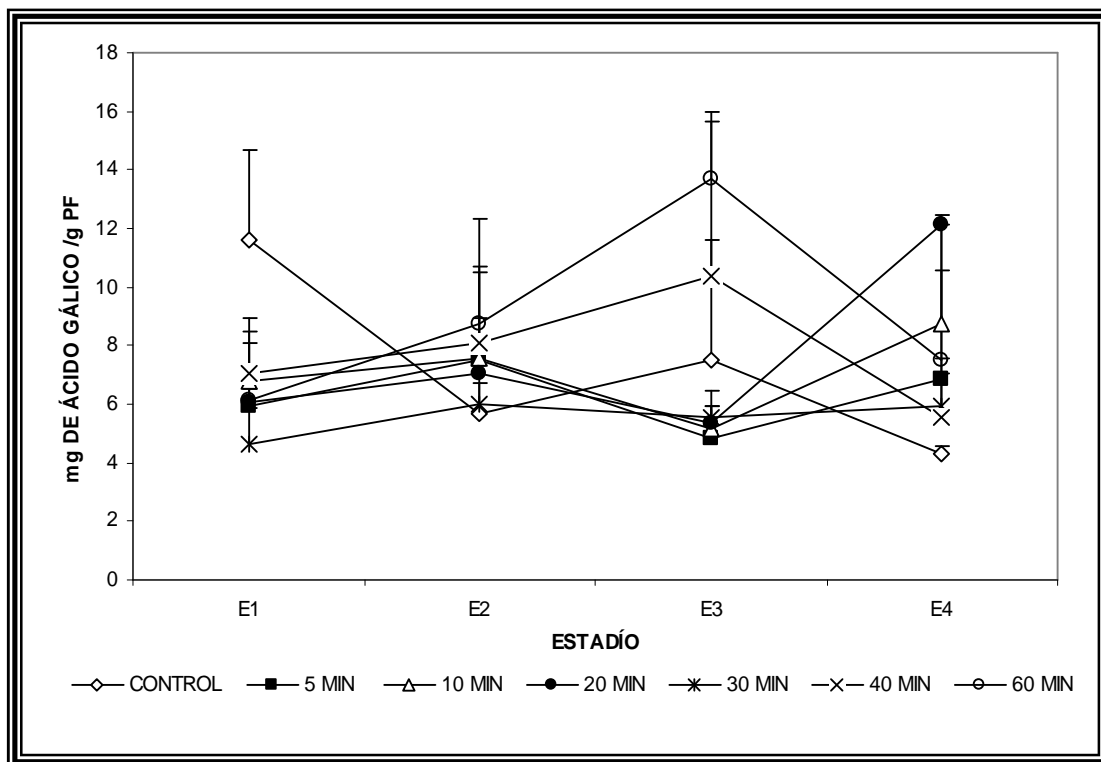
Para el postclimaterio, los tratados por 20 minutos y el control no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ), mientras que los frutos tratados por 5, 10, 30, 40 y 60 minutos mantuvieron niveles de fenoles superiores al control.



**Figura 34.** Efecto del tratamiento UV-C sobre el contenido de fenoles totales en piel de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

El comportamiento indica, que a pesar de que inmediato al tratamiento no se observó un aumento en el contenido de fenoles en los frutos sometidos a irradiación UV-C, al final del almacenamiento estos compuestos se mantuvieron por encima del contenido de los frutos control. Este comportamiento podría deberse a que la irradiación UV-C favorece la activación de enzimas relacionadas con la biosíntesis de fenoles y que a lo largo del proceso de maduración, esto se refleja en un contenido mayor de estos compuestos.

La pulpa de mango 'Ataulfo' presentó, un menor contenido de fenoles totales con respecto a la piel, tanto los frutos del grupo control como los que fueron tratados con irradiación UV-C, de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 35.



**Figura 35.** Efecto del tratamiento UV-C sobre el contenido de fenoles totales en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C durante los 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.

Para E<sub>1</sub>, existe diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre el grupo control y los frutos tratados con irradiación UV-C. Durante este estadio, el control presentó un mayor contenido de fenoles totales con respecto a los tratados, principalmente con los de 30 minutos ya que se ubicaron 60% por debajo del control, mientras que los tratados por 5, 10, 20, 30 y 60 minutos aproximadamente 49% debajo del control.

En E<sub>2</sub>, los frutos tratados aumentaron ligeramente el contenido de fenoles totales, siendo más significativo para los de 60 minutos, con un contenido 56% mayor al grupo control, ya que el control, disminuyó drásticamente, presentando el contenido fenólico más bajo.



Para E<sub>3</sub>, los tratados por 60 minutos presentaron diferencia significativa con respecto a los tratados por 5, 10, 20 y 30 minutos, debido a que estos últimos se encuentran 29% por debajo del control, mientras que los tratados por 60 minutos tuvieron el mayor contenido de fenoles totales 83% con respecto al control.

Para el cuarto estadio, los que presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), fueron los frutos del grupo control y los tratados por 40 minutos con respecto a los tratados por 20 minutos. Mismos que incrementaron su valor con respecto al sexto día, mostrando el contenido más alto de fenoles 92% mayor que el control al final del almacenamiento. Los tratados por 40 minutos presentaron un valor 29 % mayor al del control. Por otro lado los frutos control obtuvieron el menor contenido de fenoles totales para este estadio (430 mg de ácido gálico/gPF). Además de que en este estadio los frutos tratados por 5, 10 y 20 minutos mostraron un incremento con respecto a E<sub>3</sub>, sin embargo tanto el control como los tratados por 30 y 60 minutos disminuyeron drásticamente.

La radiación UV-C aumenta el contenido de fenoles y flavonoides, así como la capacidad antioxidante; en fresa irradiada se observó un incremento considerable en la actividad de la enzima Fenilalanina amonioliasa, lo cual podría justificar el incremento del contenido en los compuestos fenólicos de los frutos que han sido tratados con radiación UV (González -Aguilar *et al.*, 2007; Frylinck *et al.*, 1987).

Es importante destacar que la presencia de estos compuestos, resulta para las plantas y en este caso para los frutos, un efecto a la alteración de las condiciones de desarrollo, actuando dichos compuestos como un respuesta para la defensa además de que cumplen un papel con el desarrollo de olor y sabor en los frutos sin descartar su efecto como antioxidantes, principalmente en el hueso del mago por su alto contenido graso.



### 5.3 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C en los Parámetros de Calidad y Fisiológicos del mango variedad 'Ataulfo' almacenados a bajas temperaturas.

Para establecer el efecto de los tratamientos de irradiación UV-C, se evaluaron los parámetros de calidad y los fisiológicos en mangos almacenados a 20°C, simultáneamente se almacenó otros lotes de frutos a 5°C por 25 días mismos que fueron transferidos a 20°C para su maduración, con el objetivo de determinar como afectan estos tratamientos en la susceptibilidad al daño por frío en este fruto.

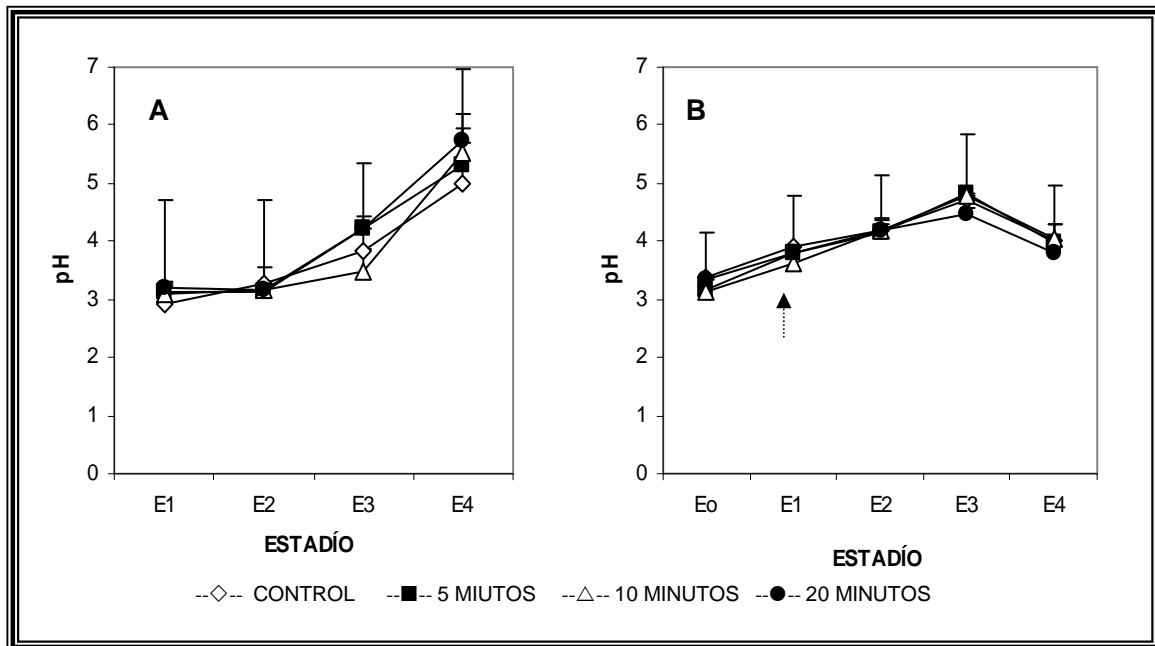
- **Efecto en pH.**

Los valores de pH se muestran en la Figura 36A para los frutos almacenados a 20°C, los mangos tratados iniciaron en un pH 3 para aumentar hasta pH 6 en el postclimaterio, además de mostrar un aumento conforme avanzó la madurez del mango para los diferentes tiempos de tratamiento, presentando el mayor valor aquellos mangos que fueron irradiados por 10 y 20 minutos, sin embargo todos conservaron la misma tendencia, por lo tanto el tratamiento no ejerció un efecto significativo en este parámetro ( $P \geq 0.05$ ).

El incremento en el pH de la pulpa del mango esta relacionado con la disminución de la acidez y se atribuye a la reducción en el contenido de ácidos orgánicos por la conversión de estos en azúcares para su utilización en procesos metabólicos, como se muestra en los trabajos de Teixeira *et al.* (2000).

El pH de los frutos almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración se muestra en la Figura 36B. Los frutos fueron evaluados en el preclimaterio previo al almacenamiento a 5°C ( $E_0$ ) y en los diferentes estadios de maduración:  $E_1$ , preclimaterio,  $E_2$  inicio del climaterio,  $E_3$  máximo climaterio y  $E_4$  postclimaterio,

La tendencia fue semejante para los diferentes estadios de maduración y los diferentes tratamientos; en todos los casos el pH mostró un aumento hasta alcanzar un valor superior a 4 en el máximo climaterio. Sin embargo, los frutos tratados por 20 minutos presentaron una disminución en  $E_3$  con valores del 9% con respecto al control.



**Figura 36.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el pH en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B) durante los diferentes estadios de maduración. La flecha indica la transferencia de 5°C a 20°C.

Aun cuando se presentó una disminución en los valores de pH para 20 minutos, la diferencia no fue significativa al igual que en trabajos de González-Aguilar *et al.*, (2001) en su estudio de mango variedad 'Kent', en el que pH no fue un parámetro afectado por las bajas temperaturas.

Al comparar a los frutos almacenados a 20°C y los conservados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C, estos últimos presentaron un aumento de pH de 4 hasta 5 en el máximo climaterio, para posteriormente disminuir ligeramente en el postclimaterio. A diferencia de los frutos almacenados a 20°C, los frutos almacenados a bajas temperaturas no lograron un aumento en el pH, lo que indicó un efecto causado más bien por las bajas temperaturas de almacenamiento, que el tratamiento UV-C.



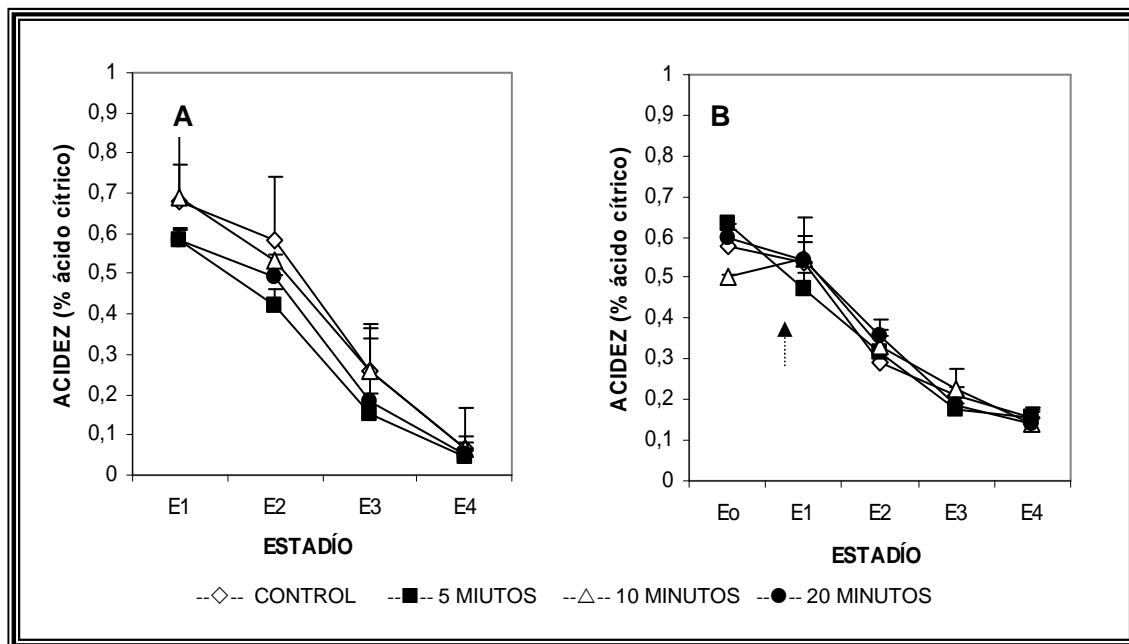


- **Efecto en Acidez Titulable.**

Los cambios en la acidez de los frutos almacenados a 20°C se muestran en la Figura 37A, los diferentes tiempos de tratamiento presentaron la tendencia esperada; es decir esta disminuyó conforme avanzó la madurez llegando todos a un mismo punto (0.05 % de ácido cítrico); esta disminución puede deberse a que los ácidos orgánicos son utilizados como sustrato para la respiración (Guadarrama *et al.*, 1995).

Tanto el grupo control como los tratados por 10 minutos mostraron al inicio del climaterio una acidez mayor que la presentada por 5 y 20 minutos (0.7% de ácido cítrico) ya que los frutos tratados a estos tiempos presentaron una acidez 16% menor al control.

Del estadio  $E_1$  al  $E_3$  los frutos irradiados presentaron una menor acidez que el grupo control, indicando que el tratamiento podría afectar en el sabor del fruto, sin embargo en el postclimaterio no se observó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre el control y los mangos tratados.



**Figura 37.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la acidez en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.



Los frutos almacenados a 5°C (Figura 37B) presentaron ligeros cambios en la acidez, que sigue la tendencia de disminuir conforme avanzó el proceso de maduración del fruto, existen reportes de pequeños cambios en la acidez de frutos almacenados a bajas temperaturas, pero no una afectación drástica en este importante parámetro (Ramírez-Villatoro, 2005).

La principal diferencia se presentó entre los frutos sometidos al tratamiento UV-C, pero que no han sido almacenados a bajas temperaturas (E<sub>0</sub>), los tratados por 10 minutos presentaron una acidez inicial de 0.5% hasta ubicarse en 0.13 % en el postclimatario como todas las condiciones de irradiación.

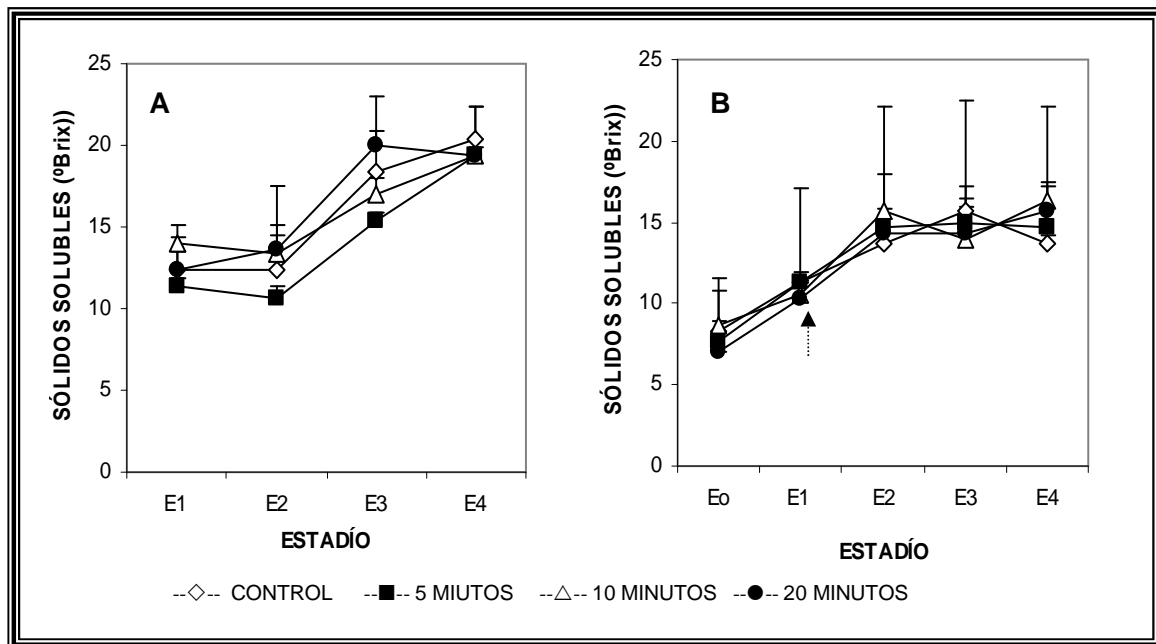
Esta disminución en la acidez, se reportó de la misma manera para mangos irradiados con rayos  $\gamma$  (gamma) y almacenados a bajas temperaturas, en donde ocurrió un incremento en la actividad de la enzima málica (degradadora del ácido málico) durante el proceso de maduración hasta alcanzar el máximo climaterio en el que disminuyó el contenido de ácido málico, pero no por efecto de la irradiación (Frylinck *et al.*, 1987).

Al comparar los cambios de acidez de los frutos almacenados a 20°C con los almacenados a 5°C, se observó un efecto por las bajas temperaturas ya que los mangos no alcanzaron los niveles de acidez que los frutos almacenados a 20°C, no encontrándose efecto por el tratamiento UV-C.

- **Efecto en Sólidos Solubles.**

Los sólidos solubles expresados como °Brix obtenidos para frutos almacenados a 20°C se muestran en la Figura 38A, estos aumentaron conforme avanzó la maduración del fruto para los diferentes tiempos de irradiación, hasta llegar a un valor máximo de 20 °Brix en E<sub>4</sub>. El grupo control en E<sub>1</sub> a E<sub>2</sub> se mantuvo constante con valores de 13 °Brix y aumentó paulatinamente hasta llegar a 21 °Brix en el postclimatario.

Durante E<sub>3</sub> se presentó un aumento del 23% en los sólidos solubles, para los frutos tratados por 20 minutos con respecto a los de 5 minutos, mientras que el lote de los tratados por 10 minutos y el lote control se presentaron sin diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ).



**Figura 38.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre los sólidos solubles en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

En la Figura 38B se muestran los cambios en los sólidos solubles de mangos almacenados a 5°C. De acuerdo con el análisis estadístico las diferencias significativas en los sólidos solubles se presentaron en las condiciones de control y 10 minutos en E<sub>4</sub> donde los frutos tratados por 10 minutos presentaron un contenido de sólidos solubles 14% superior al control. Sin embargo, los frutos tratados por 5 y 20 minutos no presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto al control en el postclimaterio.

En estudios bioquímicos en mangos almacenados a bajas temperaturas, se muestra una mayor degradación en la sacarosa para frutos que tienen daños por frío y una menor degradación del almidón (Chhatpar *et al.*, 1971).

Esto se manifiesta a través de la obtención de valores menores de sólidos solubles en frutos almacenados a bajas temperaturas con respecto a los valores obtenidos en frutos almacenados a 20°C en donde el máximo valor de sólidos solubles fue 20° Brix, mientras que para los almacenados a 5°C fue 19% menor.

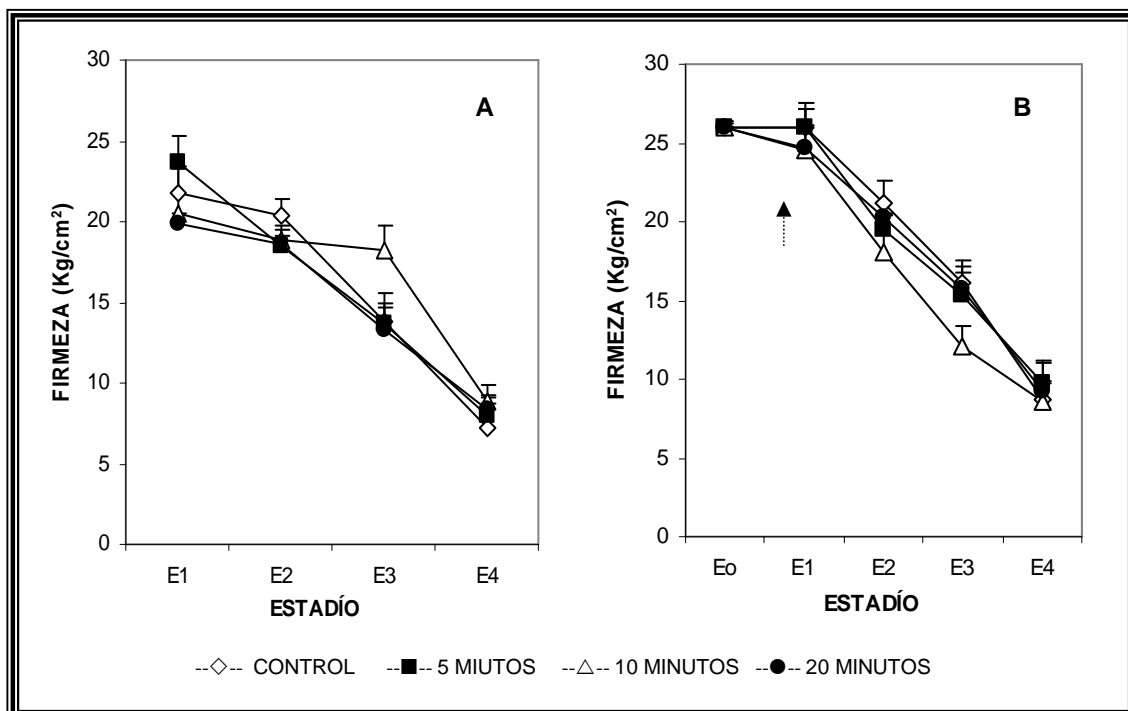


Es sabido que dentro de los principales síntomas de daño por frío se encuentra el aumento en la tasa de producción de etileno; fitohormona que tiene dentro de su mecanismo bioquímico el metabolismo de azúcares presentes en el fruto tales como lo es la sacarosa (Suresh *et al.*, 2003).

### • Efecto en la Firmeza.

Los cambios en la firmeza de mangos almacenados a 20°C se muestran en la Figura 39A. La pérdida de firmeza se presentó a lo largo de la maduración de los frutos. En el inicio del climaterio todos los frutos mostraron una estructura firme, descendiendo de manera gradual conforme avanzó la maduración, esta disminución se ubicó alrededor de un 60% al final del almacenamiento, no presentándose diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre los frutos sometidos a los diferentes tratamientos.

La degradación de productos de reserva (protopectinas) está directamente correlacionada con la tasa de ablandamiento del fruto, cuando la firmeza de los tejidos ha declinado sustancialmente las pectinas son solubilizadas (González-Aguilar *et al.*, 2001).



**Figura 39.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la firmeza en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.



La firmeza que presentaron los mangos almacenados a 5°C, se muestra en la Figura 39B, donde el grupo control y los tratados por 5 minutos presentaron la misma tendencia, al disminuir conforme avanzó el proceso de maduración del fruto. De igual forma, los frutos tratados por 10 y 20 minutos mantuvieron una tendencia semejante una y otra condición en los diferentes estadios.

Entre el control y el tratamiento por 5 minutos existen diferencias estadísticamente significativas, con respecto a los tratamientos por tiempos mayores. González-Aguilar (2004) reportó resultados semejantes, obtenidos en la pérdida de firmeza de duraznos irradiados y almacenados a bajas temperaturas. En dicho estudio los frutos control y los tratados por 3 y 5 minutos se comportaron de forma semejante, mientras que los duraznos tratados por 10,15 y 20 minutos formaron un grupo estadísticamente homogéneo.

Al someter frutos climatéricos a bajas temperaturas, se producen desórdenes como lo son, los cambios en la permeabilidad de la membrana, es decir, alteraciones en sus propiedades biofísicas relacionadas a su composición, que pueden alterar su funcionalidad, peroxidando los ácidos grasos que conforman la membrana para producir lípidos en fase gelatinosa que actuarían como soporte al frío, generando una lignificación en tejidos expuestos al frío (Balbontín, 2002).

- **Efecto en el Color.**

El color es uno de los factores más importantes para evaluar la calidad de los mangos. El color de la piel a menudo es el principal criterio de postcosecha utilizado por los productores y consumidores para determinar si la fruta es madura o no (González-Aguilar *et al.*, 2001).

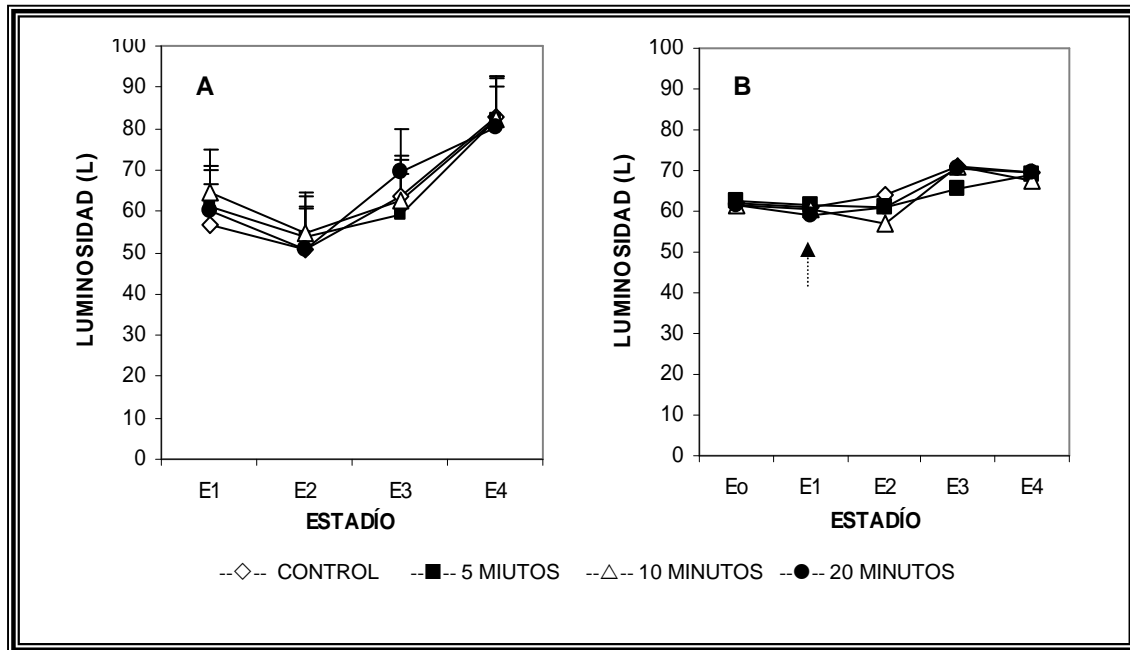
La luminosidad (L) esta asociada con la brillantez, que depende del flujo luminoso que es transmitido por la muestra; a escala de 0 (negro) a 100 (blanco) (McGuire, 1992).

Para los frutos almacenados a 20°C (Figura 40A) se observó una disminución del 18% en E<sub>2</sub>, tanto para el control como para los mangos tratados con UV-C.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes estadios se evidenció un aumento significativo para todos los tratamientos, esto representa que a medida que el fruto madura se observa una mayor claridad del color. En la luminosidad entre el control y los tratados, no presentó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) estableciendo que en este caso el tratamiento no afectó el color del fruto.



**Figura 40.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el color (Luminosidad) en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

Para los frutos almacenados a 5°C (Figura 40B) se muestra que el parámetro de luminosidad aumentó ligeramente conforme avanzó el proceso de maduración para todos los casos hasta E<sub>3</sub>. Los frutos control y los tratados no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ), si se compara con los frutos a 20 °C se muestra que los frutos almacenados a 5°C, presentaron una menor luminosidad en el postclimaterio debido al desarrollo de los síntomas de daño por frío, sin embargo este parámetro para los almacenados a 20°C en este estadio aumentó ligeramente.

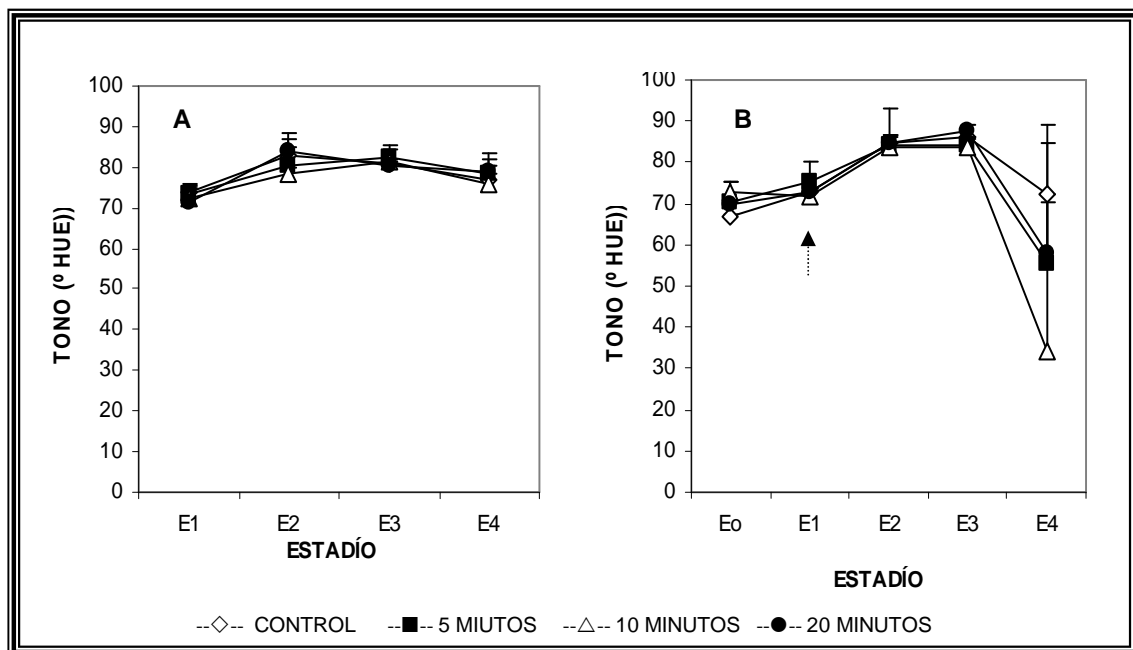


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de los síntomas de daño por frío los frutos tienden a oscurecerse y presentan una coloración más opaca, y la tendencia es más evidente en los últimos estadios como lo indican trabajos de Ramírez-Villatoro (2005).

El ángulo HUE indica la tonalidad del matiz, nos da una idea más clara del color, es decir la impresión visible del color del fruto. Los valores van desde 0° (rojo-púrpura); 90° (amarillo); 180° (azul-verde); y 270° (azul) (McGuire, 1992).

Los valores obtenidos para los mangos almacenados a 20°C (Figura 41A) tanto el grupo control como los frutos tratados, presentaron tonalidades entre rojo y amarillo (0°- 90°), no observándose diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en el tono, por lo que el tratamiento no afectó a este parámetro.



**Figura 41.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el color (Tono) en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y 5°C por 25 días y transferidos a 20°C (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.



Para los frutos almacenados a 5°C por 25 días (Figura 41B) este parámetro se incrementó ligeramente para todos los casos conforme avanzó el proceso de maduración hasta el máximo climaterio, para después disminuir en E<sub>4</sub>,

En los frutos tratados por 10 minutos el tono disminuyó 53% durante el postclimaterio con respecto al control, y para los mangos tratados por 5 y 20 minutos la disminución fue del 20% presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ).

Los valores del ángulo Hue indicaron que los frutos pasaron de un color verde-amarillo durante la maduración del mango y se presentó un aumento en los valores del °Hue que se identifica con tendencias graduales hacia tonalidades amarillas (Espinoza-Hernández, 2006).

Sin embargo, al comparar los frutos almacenados a 20°C y 5°C, se muestra un efecto de las bajas temperaturas sobre el tono, ya que en el postclimaterio este disminuyó drásticamente dando tonalidades rojo-púrpura, mientras que los de 20°C se mantuvieron en tonalidades amarillas.

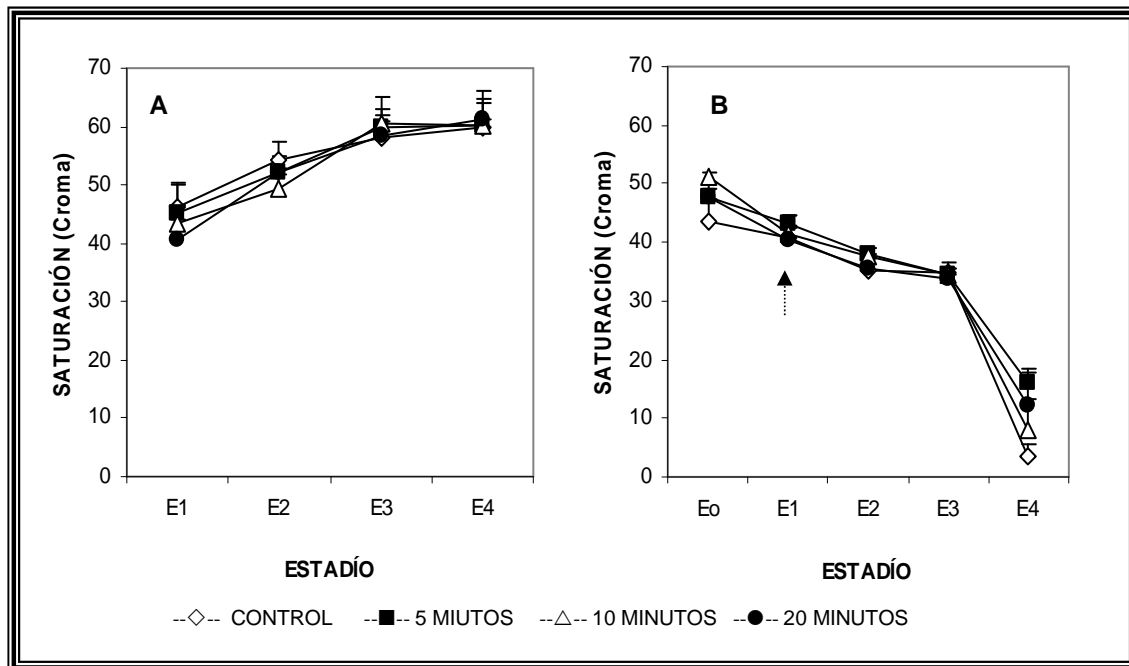
Croma indica el grado de saturación del tono o la intensidad de éste, también muestra que tanto un color difiere del gris (McGuire, 1992). Para los frutos almacenados a 20°C (Figura 42A), durante el preclimaterio se presentó un color menos intenso, tanto para los mangos tratados como para el control, siendo los frutos tratados por 5 minutos quienes presentaron una mayor intensidad de color. Sin embargo, conforme avanzó el proceso de maduración la intensidad del color aumentó 34% hasta el postclimaterio para todos los casos. Puede observarse que los frutos tratados con irradiación UV-C no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) con respecto al control.

Los cambios en color, se atribuyen a la degradación de la clorofila causada por los cambios de pH, como consecuencia de la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas (Kubo *et al.*, 1988).





La pérdida de la clorofila va asociada a la síntesis de pigmentos, la conversión de cloroplastos a cromoplastos se acompaña de la síntesis de una o varias clases de pigmentos, normalmente antocianos (azul o púrpura) o carotenoides (amarillo, anaranjado o rojo) (González-Aguilar *et al.*, 2001).



**Figura 42.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el color (Croma) en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

Los valores de croma para los frutos almacenados a 5°C (Figura 42B) disminuyeron desde el preclimaterio hasta el postclimaterio. Esta disminución fue mayor para el control presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) ya que los frutos tratados por 10 minutos en el postclimaterio presentaron un color más intenso con respecto al control.

Contrario a lo ocurrido con los frutos almacenados a 20°C, en los almacenados a 5°C, croma presentó valores menores, coincidiendo con la aparición de los síntomas de daño por frío. Al igual que en mango 'Tommy Atkins' almacenado a 5°C Mohammed *et al.* (2002) reportaron que los parámetros de luminosidad y cromaticidad decrecen entre el primer y tercer día tras ser transferidos a 20°C para evidenciar el desarrollo de los síntomas de daño por frío a través de la maduración del fruto.

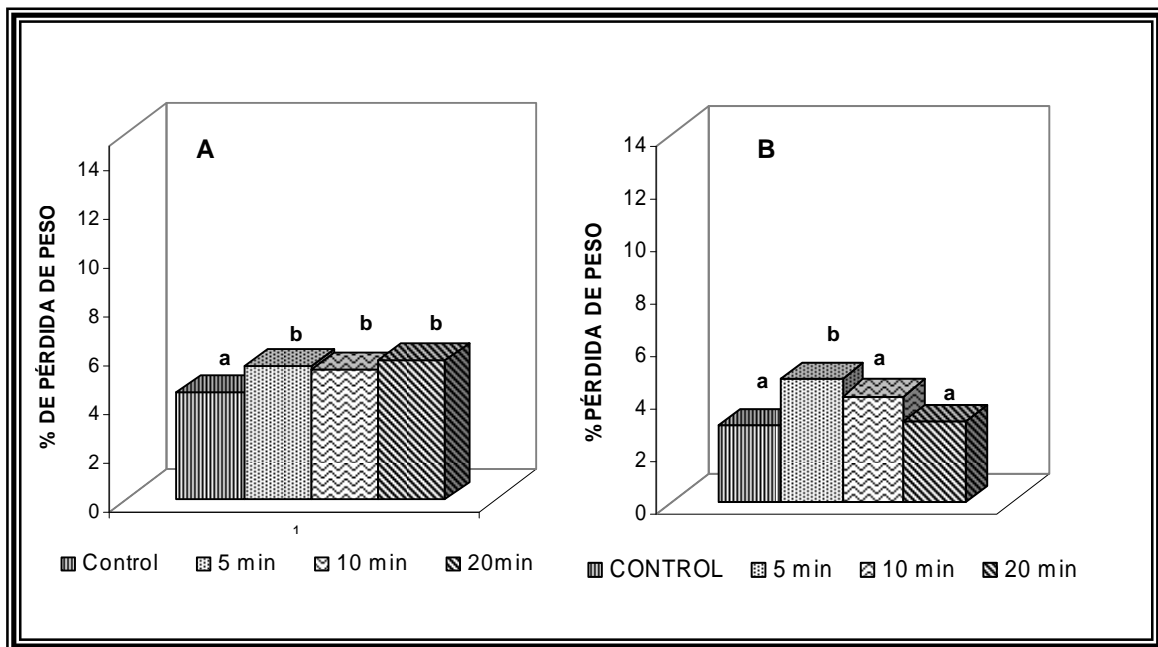


Del mismo modo (González- Aguilar, 2001) en estudios de mangos 'Kent' se observó un retraso en el desarrollo del color como consecuencia del almacenamiento a bajas temperaturas.

- **Efectos sobre la pérdida de peso**

En la Figura 43A se muestra la pérdida de peso de frutos almacenados a 20°C. Se observó que para el control la pérdida de peso fue de 4%, mientras que para los frutos tratados por 20 minutos fue 6%, sin embargo los datos entre frutos control y tratados no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ).

El porcentaje de pérdida de peso fue mínimo en todos los casos, se sabe que esta pérdida puede deberse a la maduración normal ya que Pantástico (1987) señalaron que una pérdida de peso superior al 15% produce arrugamiento, comprometiendo la calidad del fruto. Por lo tanto, se puede decir que el tratamiento con irradiación UV-C no afectó a este parámetro significativamente.



**Figura 43.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la pérdida de peso en mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C (B).



En la Figura 43B se muestra la pérdida de peso de los mangos almacenados a 5°C, tanto los frutos control como para los tratados por 20 minutos, la pérdida de peso fue del 3%, mientras que para los tratados por 5 y 10 minutos se presentó alrededor del 4-5% aun cuando se han reportados estudios con pérdidas de iones por alteraciones en la pared celular causadas por el daño por frío en este trabajo los datos no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre frutos control y tratados.

Las bajas temperaturas y los tratamientos de irradiación UV-C no afectaron significativamente este parámetro, debido a que la pérdida de peso puede ser atribuida a la transpiración de agua a través de la piel, que esta influenciada por el tamaño del fruto y temperatura de almacenamiento (Doreyappa y Huddar, 2001).

- **Efectos sobre la respiración.**

En el comportamiento del patrón respiratorio de los mangos almacenados a 20°C (Figura 44A) puede observarse que el control, incrementó 36% al tercer día su producción de CO<sub>2</sub> para después disminuir, al quinto día (20%), presentando su máxima producción de CO<sub>2</sub> (201 mg CO<sub>2</sub>/kg PF h) hasta el sexto día y posteriormente disminuyó drásticamente en la senescencia del fruto.

Los frutos tratados por 5 minutos presentaron al séptimo día su pico más alto correspondiente al máximo climaterio (208 mg CO<sub>2</sub>/kgPFh), retrasando así la entrada del climaterio del fruto un día en comparación con el control y los demás tratamientos.

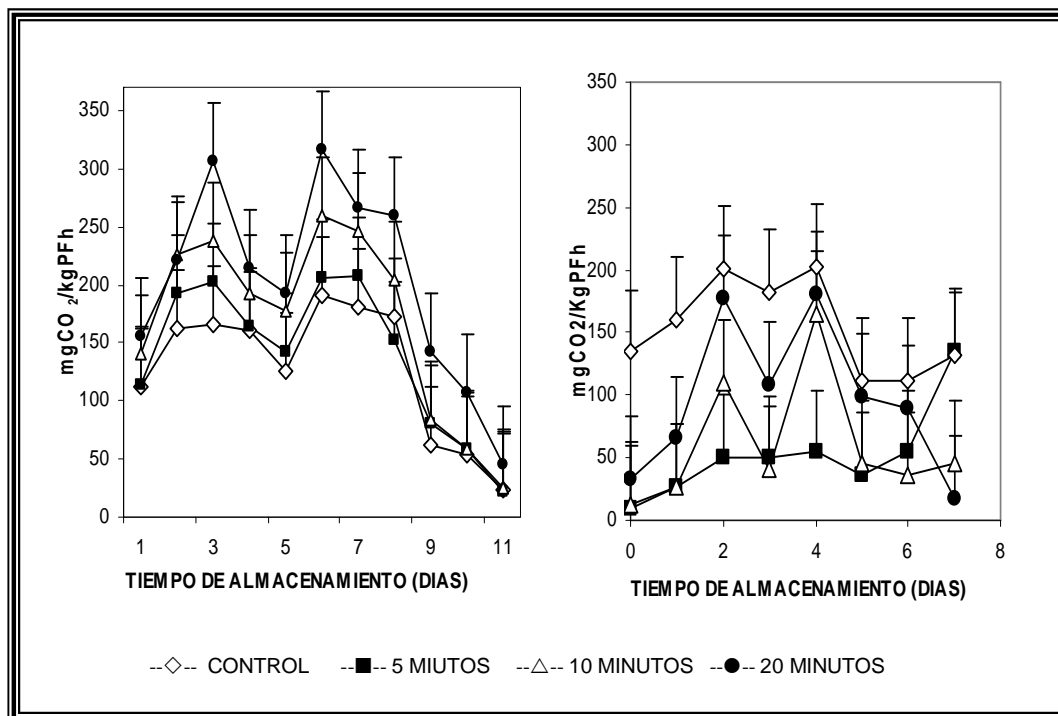
El tratamiento con UV-C aplicado por 20 minutos, afectó el patrón respiratorio al presentar el primer día su máxima producción de CO<sub>2</sub> (20%), mayor con respecto al control, después disminuyó drásticamente al tercer día para nuevamente aumentar al sexto presentando un segundo pico de mayor intensidad donde se presentó el máximo climaterio con una producción de 316 mgCO<sub>2</sub>/kgPFh. Este comportamiento puede deberse primeramente, a que el tiempo de exposición a la radiación fue muy largo provocando, un estrés mayor en el fruto.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los mangos irradiados a 10 minutos se observó una tendencia semejante a la de 20 minutos; pero con menor intensidad y presentándose la máxima producción de  $260 \text{ mgCO}_2/\text{kgPFh}$  al sexto día.

Aunque una tasa elevada de respiración va asociada con un acortamiento en la vida en almacenamiento, tanto los frutos control como los tratados duraron 11 días de almacenamiento a  $20^\circ\text{C}$ .



**Figura 44.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la respiración en mangos 'Ataulfo' almacenados a  $20^\circ\text{C}$  (A) y a  $5^\circ\text{C}$  por 25 días y transferidos a  $20^\circ\text{C}$  (B).

Los cambios en la tasa de respiración de frutos control y aquellos tratados con irradiación UV-C que fueron almacenados por 25 días a  $5^\circ\text{C}$  y transferidos a  $20^\circ\text{C}$  (Figura 44B) para su maduración fue determinada en función de la producción de  $\text{CO}_2$ .



En los mangos control se apreció un incremento en la respiración inicial, que comprendió desde el día en que fueron transferidos a 20°C (día cero), hasta presentar su pico más alto al cuarto día de almacenamiento, donde se reportó una producción de CO<sub>2</sub> de 203 mg CO<sub>2</sub>/Kg PFh, para disminuir al séptimo día en un 35% con respecto al cuarto día. Trabajos de Pantástico *et al.*, (1987) reportaron que se registraron tasas aceleradas de respiración al pasar de inmediato de una baja temperatura a otra elevada, comportamiento similar, al encontrado en el presente trabajo para los frutos sin tratamiento.

Para los frutos tratados, la producción de CO<sub>2</sub> fue menor que la del grupo control, los mangos tratados por 20 minutos, presentaron 75% menor producción inicial de CO<sub>2</sub> con respecto al control. La respiración aumentó para formar un primer pico al segundo día de almacenamiento, y al tercer día, posteriormente presentó su máxima producción de CO<sub>2</sub> al cuarto día, resultando 11% menor que el control, para después disminuir drásticamente hasta el séptimo día de almacenamiento.

Los frutos tratados por 10 minutos presentaron el mismo comportamiento que aquellos tratados por 20 minutos, pero con una menor producción de CO<sub>2</sub> durante el proceso de maduración.

Sin embargo, para el grupo de frutos tratados por 5 minutos, la respiración fue inhibida completamente, como lo reportó Wang (1982) en estudios a diversos frutos la respuesta respiratoria a las bajas temperaturas es diferente, debido a que la respiración es completamente inhibida y el pico climaterico es inexistente, consecuencia de ello, el fruto pierde la capacidad de madurar después de un prolongado enfriamiento.

En comparación con los frutos almacenados a 20°C, los mangos almacenados a 5°C, presentaron una menor producción de CO<sub>2</sub>, tanto el control como los tratados, sin embargo aunque la irradiación en los frutos almacenados a 20°C eleva la respiración, con respecto al lote control, los almacenados a bajas temperaturas presentaron un comportamiento inverso.



Los tratados presentaron valores menores al grupo control, esto puede ser atribuido a la respuesta que presentaron los frutos a la irradiación y al estrés que sufrieron durante el tiempo de almacenamiento a 5°C, es decir hay un efecto conjunto del tratamiento UV-C y las bajas temperaturas que para el caso de 5 minutos fue perjudicial pues la tasa respiratoria se inhibió.

Además, para los frutos almacenados a 20°C el tiempo de vida útil fue mayor ya que estos duraron 11 días, mientras que los almacenados 5°C sólo 8 días después de ser transferidos a 20°C, por lo que se aprecia un efecto importante de las bajas temperaturas sobre este parámetro al disminuir la vida de anaquel del mango.

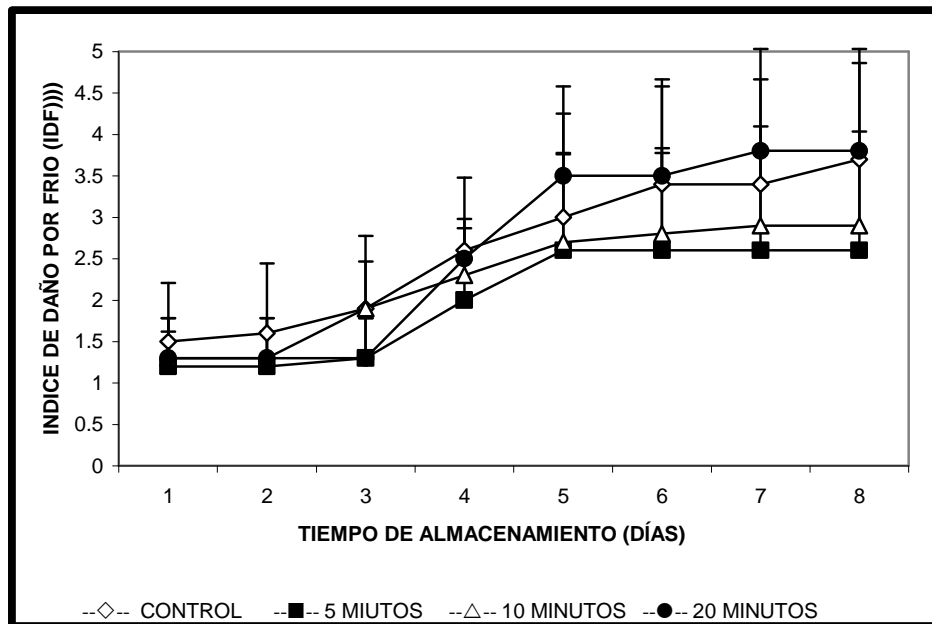
De forma semejante en trabajos de Mohammed *et al.* (2002) reportaron que en mangos 'Tommy Atkins' almacenados a 5°C los frutos al ser transferidos a 20°C presentaron una reducción en la respiración.

#### **5.4 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C sobre la actividad enzimática de la Polifenol oxidasa, Peroxidasa y su relación con el índice de daños por frío.**

- **Efectos de los tratamientos UV-C sobre los daños por frío.**

Como respuesta al estrés por frío los frutos sensibles presentan una serie de alteraciones a nivel bioquímico y fisiológico, la magnitud de estas y la habilidad del fruto para resistir las alteraciones determinan su susceptibilidad y tolerancia a las bajas temperaturas (Wang, 1982).

En la Figura 45 y 46 se observa el efecto del tratamiento de irradiación UV-C, sobre el control de los síntomas de daños por frío en mango 'Ataulfo' almacenado a 5°C por 25 días y posteriormente transferidos a 20°C para su maduración.



**Figura 45.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la el índice de daño por frío en mangos ‘Ataulfo’ almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C.

Los frutos tratados por 5 minutos presentaron un índice de daño de 2.6 dato que representa 32% menor que el control, quien presentó un índice de daño del 3.7, mientras que los frutos tratados por 10 minutos presentaron un índice de daño 24% menor que el control. Sin embargo, los tratados por 20 minutos mostraron un daño 3% mayor que el control, esto podría deberse a que el tiempo de exposición de los frutos al tratamiento fue muy largo, y sólo generó en los frutos un mayor estrés y desgaste haciéndolo más sensible al frío.

Por lo tanto, se considera a la irradiación UV-C como una alternativa para el control de daños por frío a 5 y 10 minutos de tratamiento, ya que como se observó en la Figura 46 los síntomas se controlaron en un 32% para estos tiempos. De manera semejante lo muestra el estudio realizado por González-Aguilar *et al.*, (2004), en duraznos almacenados a bajas temperaturas que han sido previamente irradiados con UV-C en el que se concluyó que las condiciones de irradiación recomendadas para este fruto fueron de 3 a 5 minutos.



		CONTROL	5 MINUTOS	10 MINUTOS	20 MINUTOS
PRECLIMATERIO (E <sub>1</sub> )	20 ° C				
	5 ° C				
		CONTROL	5 MINUTOS	10 MINUTOS	20 MINUTOS
POSTCLIMATERIO (E <sub>4</sub> )	20 ° C				
	5 ° C				

Figura 46. Mangos variedad 'Ataulfo' tratados con irradiación UV-C, almacenados a 20°C y a 5°C por 25 días y trasferidos a 20°C para su maduración.





- **Efecto sobre la Polifenol Oxidasa.**

Como se observa en la Figura 47A, la actividad de PPO en piel de mango 'Ataulfo', se evaluó de forma residual.

Durante el primer estadio de maduración, para todas las condiciones de irradiación, la actividad residual, permaneció por debajo de la actividad del lote control. Los frutos irradiados por 5 minutos presentaron una actividad 60% menor que el control, los frutos tratados por 10 minutos mostraron un 31% por debajo de la actividad control y los tratados por 20 minutos registraron una actividad residual 26% menor al control.

Para todas las condiciones de tiempos de exposición, la PPO en piel de mango almacenado a 20°C, no presentó una activación inmediata al tratamiento aún, cuando en las actividades residuales de mangos tratados por 5, 10 y 20 minutos de irradiación, si hay una relación entre el tiempo de exposición y la actividad en este estadio.

En todos los tratamientos la actividad comenzó a disminuir en E<sub>2</sub>; sin embargo la enzima vuelve a activarse para el máximo climatérico, siendo más significativo para los frutos tratados por 20 minutos que se ubicaron 14% por arriba del control, mientras que los tratados por 5 y 10 minutos se ubicaron 30 y 18% respectivamente por debajo del lote control.

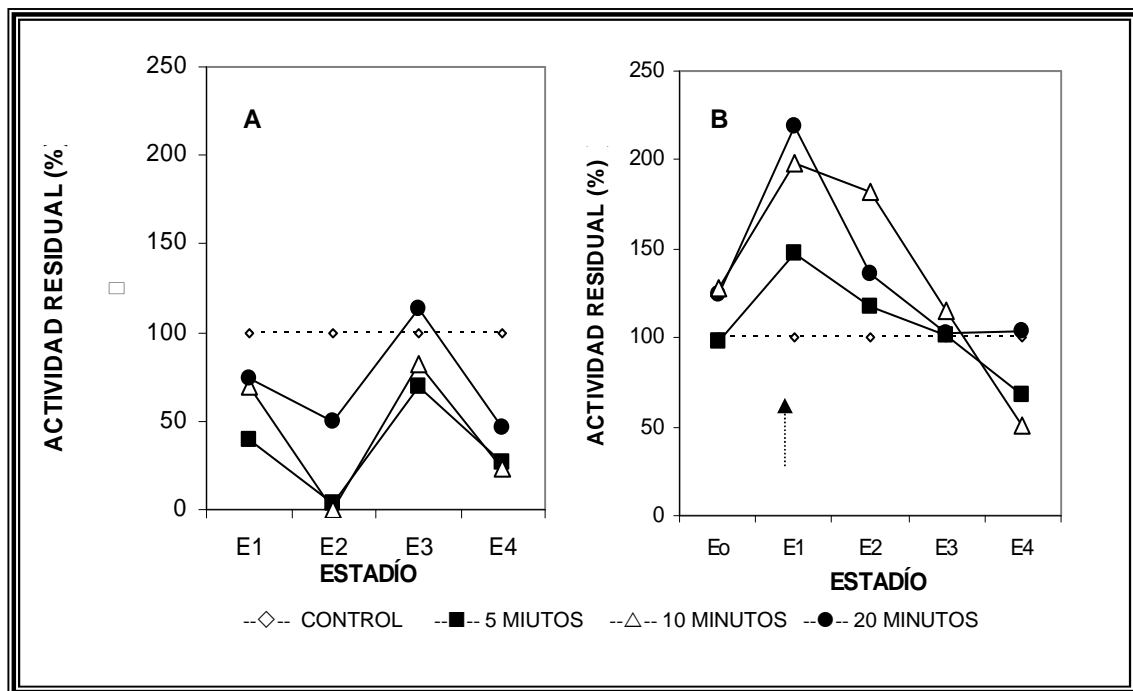
En el postclimaterio la actividad de los frutos tratados por 5 y 10 minutos disminuyeron aproximadamente en un 68%, mientras que, los frutos irradiados por 20 minutos disminuyeron su actividad en un 60 % todos con respecto a E<sub>3</sub>.

En la Figura 47B se observa la actividad enzimática de PPO en piel de mango almacenado a bajas temperaturas, en todos los casos la mayor actividad se presentó en E<sub>1</sub> y la menor en el postclimaterio.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La condición de irradiación que presentó mayor actividad de la PPO en piel, fue el tratamiento por 20 minutos, que resultó 2 veces mayor, a la que presentó el control en la misma condición, 2% mayor que la presentada por frutos a 10 minutos y 27 % mayor que la presentada por 5 minutos.



**Figura 47.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Polifenol Oxidasa en piel de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

La actividad de PPO está ampliamente relacionada con el daño por frío, ya que su activación es consecuencia de los cambios bioquímicos generados durante la aparición de los síntomas característicos del daño, como lo es el aumento en la tasa respiratoria y la producción de etileno (Martínez-Téllez y Lafuente, 1997).

El tratamiento UV-C generó un aumento en la actividad de la PPO, misma que puede darse por: la activación de formas latentes y por la solubilización de las enzimas unidas a la pared celular y a la membrana de algunos organelos (Baquero-Duarte, 2005).



Los frutos almacenados a bajas temperaturas y posteriormente transferidos a 20 °C presentaron una tasa respiratoria que se incrementó drásticamente en los primeros días; lo que sugiere un aumento en la producción de etileno y como consecuencia de ello, un aumento en la actividad de la PPO en piel de mango, durante el preclimaterio.

La actividad, para los frutos tratados por 5 y 10 minutos disminuyó desde E<sub>2</sub> hasta E<sub>4</sub>, siendo esta disminución más significativa a 10 minutos en donde disminuyó hasta un 55% con respecto al control.

Se puede decir que la actividad enzimática de PPO en la piel de mango, más que activarse por el tratamiento UV-C se activa por el efecto de las bajas temperaturas como consecuencia de la exposición del tejido a condiciones extremas.

La actividad residual de la PPO en pulpa de mangos almacenados a 20°C se muestra en la Figura 48A.

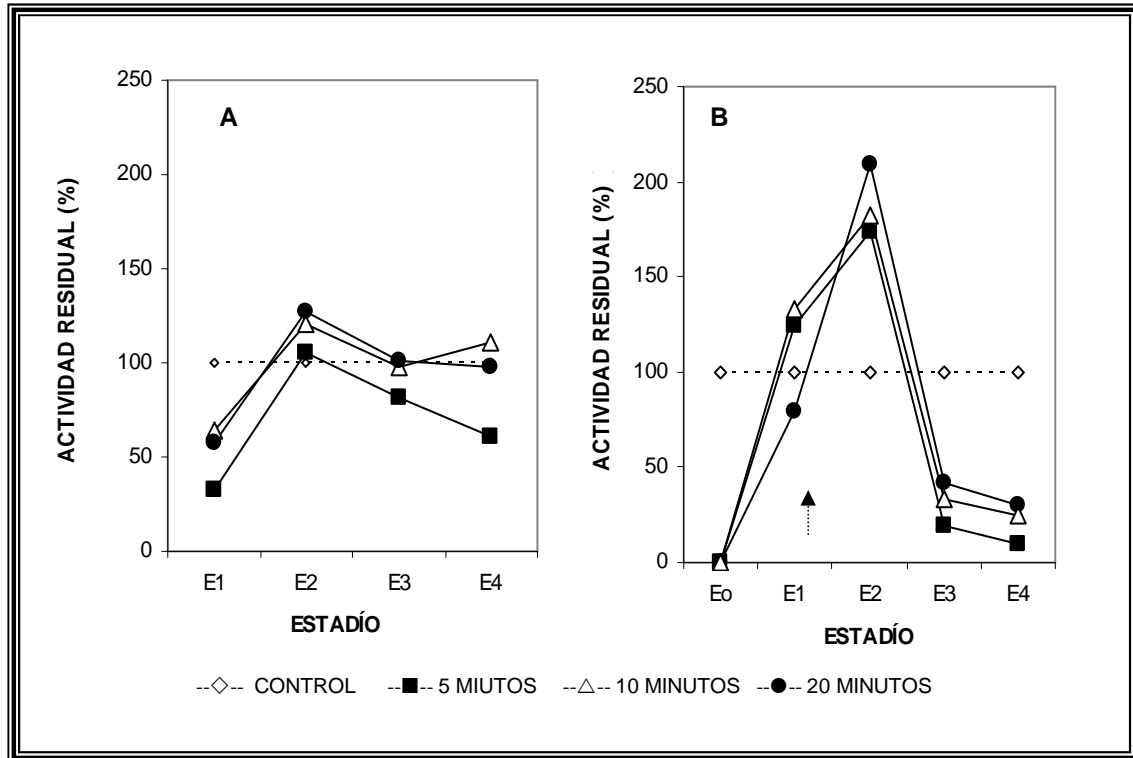
En todas las condiciones de tratamientos la menor actividad se presentó en E<sub>1</sub>, los frutos tratados por 5 minutos presentaron un actividad residual 68% menor que la del control al mismo estadio, mientras que los frutos tratados por 10 y 20 minutos se observó una actividad 43 y 48 % menor al control, respectivamente.

Durante E<sub>2</sub> en todas las condiciones se activaron las actividades enzimáticas, los frutos de 5 minutos aumentaron 64% su actividad respecto a E<sub>1</sub> para ubicarse 5% por arriba del control, los mangos tratados por 10 y 20 minutos incrementaron alrededor de un 60 % su actividad con respecto a E<sub>1</sub> para ubicarse 21 y 30 % por encima del control respectivamente.

Para E<sub>3</sub> y E<sub>4</sub>, los mangos tratados por 5 y 20 minutos presentaron una disminución en su actividad, para 5 minutos la disminución fue de 60% con respecto a su máxima actividad y para los tratados por 20 minutos fue de 25% con respecto a E<sub>2</sub>.



Caso contrario, los mangos tratados por 10 minutos, presentaron en  $E_3$  una disminución del 19% con respecto a su máxima actividad y en  $E_4$ , la enzima se reactivó un 13% con respecto a  $E_3$ .



**Figura 48.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Polifenol Oxidasa en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

La actividad residual de la PPO en pulpa de mangos almacenados a 5°C se muestra en la Figura 48B. En todas las condiciones de tratamientos no se presentó actividad en las pulpas de los frutos inmediatos al tratamiento sometidos a UV-C, pero que no fueron almacenados a bajas temperaturas. La mayor actividad de PPO en pulpa se presentó en  $E_2$ , aumentando entre 1.5 y 2 veces más, que la actividad reportada para frutos sin almacenamiento a bajas temperaturas. Los valores de actividad disminuyeron drásticamente desde  $E_2$  hasta  $E_3$ , para disminuir en el postclimaterio ligeramente entre 10 y 20% para todos los casos.



Durante el periodo previo al máximo climaterio, comienza la activación de mecanismos bioquímicos; se aumenta la activación de pro enzimas localizadas en la membrana de las células, la activación de enzimas que se encontraban en actividad latente o bien por los cambios conformacionales que presentan algunas isoenzimas.

Frylinck *et al.* (1987) reportaron que las uniones de las formas latentes de PPO en la membrana se presentan de acuerdo al tejido y al estado de madurez del fruto. Aparentemente la conversión de PPO a formas dispuestas a la interacción con un sustrato, ocurre cuando el fruto se expone a condiciones de estrés.

Existen estudios en pulpa de mango irradiados con gamma en los que la actividad enzimática aumentó ligeramente en E<sub>4</sub> y posteriormente disminuyó conforme aumenta el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (Bothaina *et al.*, 2002).

La irradiación causa en la membrana, un daño el cual resulta, en la solubilización de la PPO, que se manifiesta asimismo, en una elevación temprana de la actividad con respecto al lote de frutos control. La solubilización también ocurre bajo condiciones naturales de maduración del fruto y el envejecimiento. Esto explica la elevación de la actividad en el postclimaterio (Frylinck *et al.* 1987).

A diferencia de la actividad de PPO en la piel, en la pulpa se logró una desactivación de la enzima, inmediato al tratamiento por UV-C y al ser transferido a 20°C se presentó una reactivación. Al final del almacenamiento, los frutos tratados presentaron una menor actividad enzimática, fenómeno que puede estar relacionado con la disminución de los daños por frío.



- **Efecto en la actividad de la Peroxidasa (PDO).**

La actividad de PDO en piel de mango almacenado a 20°C (Figura 49A), mostró inmediato al tratamiento su actividad mínima, para todas las condiciones de exposición. Los mangos tratados por 5 minutos presentaron una actividad 60 % menor a la que se registró para el grupo control, los frutos tratados por 10 minutos mostraron una actividad 45% por debajo del control, mientras que los tratados por 20 minutos se mantuvieron en una actividad semejante a la del lote control.

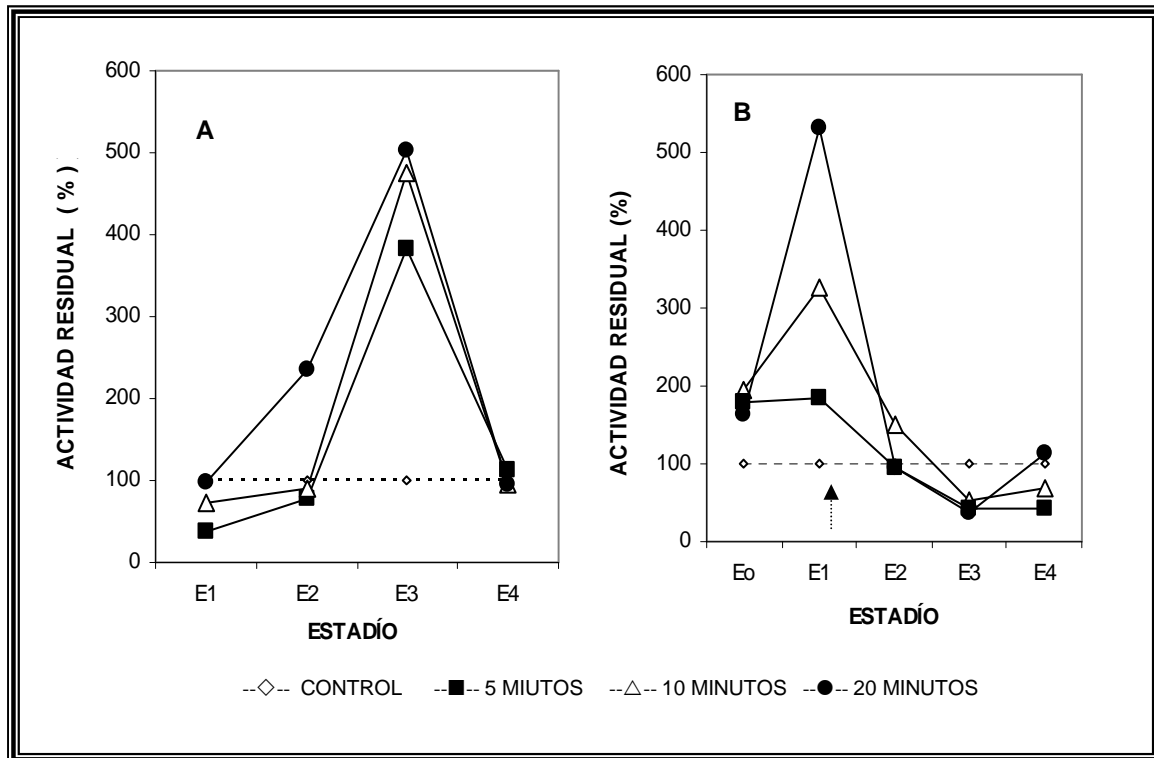
En E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub> la enzima se activó significativamente para todas las condiciones, para 5 minutos, la actividad aumentó 5 veces su valor mientras que, para 10 y 20 minutos aumentó 10 y 5 veces su valor respectivamente.

Según el comportamiento general de la PDO, esta progresa conforme al envejecimiento de las células y aumenta conforme la maduración normal de frutos de mango (Frylinck *et al.*, 1987), debido a que la activación de enzimas oxidativas en mangos sometidos a irradiación, puede ser ocasionada por diferentes causas, entre ellas la activación de una enzima latente debida a los cambios conformacionales de la enzima.

Se cree que la peroxidasa esta asociada con el deterioro de sabor, color, textura y cualidades nutricionales en algunos alimentos (Khan *et al.*, 1993). Por lo tanto, se puede observar que la actividad de la PDO disminuyó en E<sub>4</sub>, en donde se presenta la senescencia del fruto.

A diferencia de PPO la actividad de PDO en piel de mango almacenado a bajas temperaturas se activó con el tratamiento y aún más por el efecto del almacenamiento a bajas temperaturas.

Es importante mencionar que tanto la irradiación y los daños por frío generaron una gran cantidad de sustratos peroxidados que activan a la PDO.



**Figura 49.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Peroxidasa en piel de mangos ‘Ataulfo’ almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

Uno de los principales productos generados durante la radiólisis en soluciones aerobias acuosas, es el peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$ . Así, un incremento en la actividad de la PDO podría representar una respuesta del fruto al estrés (Frylinck *et al.*, 1987).

La actividad residual de la PDO en la piel de mango irradiado y almacenado a 5°C se muestra en la figura 49B.

La mayor actividad se presentó una vez que los mangos fueron transferidos a 20°C, siendo para 20 minutos, 5 veces mayor que la reportada para control, disminuyendo en E<sub>3</sub> hasta en un 50% para aumentar ligeramente en el postclimaterio.

Como lo reporta Leja *et al.* (2003) la actividad de la enzima peroxidasa está involucrada en la neutralización de radicales de oxígeno activo y esta se incrementa considerablemente



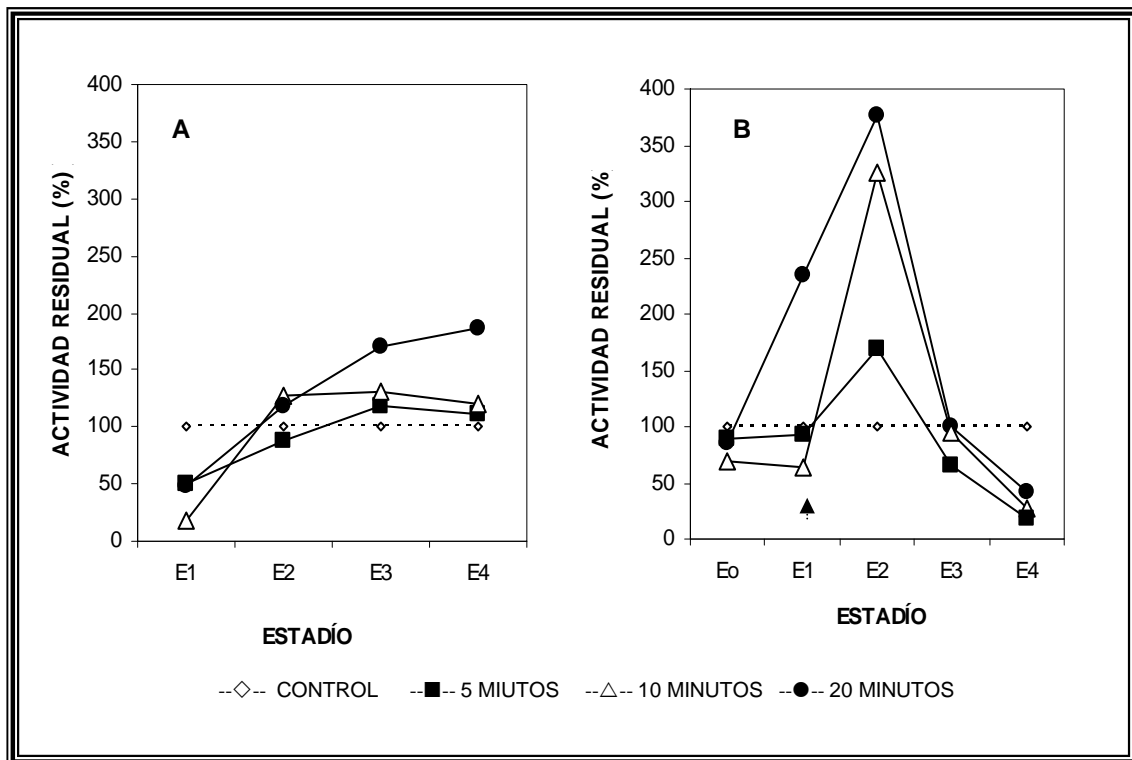
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

en pieles de manzanas almacenadas a 0° C, pues se cree, que la actividad de la peroxidasa puede ser estimulada por la producción de etileno.

En E<sub>4</sub>, el mayor aumento lo presentaron los frutos tratados por 20 minutos que incrementan 2 veces el valor reportado para E<sub>3</sub>.

En algunos estudios se establece, que la PDO es un factor implícito para determinar el daño que se genera en la calidad y apariencia de los frutos, en este caso la actividad de 5 y 10 minutos mostraron al final del almacenamiento valores por debajo a los que presentaron los frutos control. Esto indica que el tratamiento podría contribuir a disminuir las reacciones de pardeamiento en frutos almacenados a bajas temperaturas.

La actividad residual de la PDO en pulpa de mango 'Ataulfo', almacenado a 20 °C, en frutos tratados por 5, 10 y 20 minutos se muestra en la Figura 50 A .



**Figura 50.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre la actividad residual de Peroxidasa en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.





Los frutos tratados por 5 minutos presentaron inmediato al tratamiento, una actividad 50% por debajo de la actividad del lote control para el mismo estadio, en los mangos tratados por 10 minutos, se observó una actividad 82% por debajo del control, mientras que los frutos tratados por 20 minutos 53%.

La actividad fue incrementándose en E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub>, para todas las condiciones y sólo para los frutos tratados por 20 minutos, la actividad también se incrementó en el postclimaterio.

Para frutos con 5 minutos de exposición la actividad se incrementó 2 veces más de E<sub>1</sub> hasta E<sub>3</sub>, para posteriormente disminuir ligeramente en el postclimaterio un 7%. Los mangos tratados por 10 minutos, incrementaron siete veces su actividad de E<sub>1</sub> a E<sub>3</sub> para igualmente, disminuir en E<sub>4</sub> un 8%. Sin embargo, los frutos tratados por 20 minutos incrementaron 4 veces su valor de actividad de E<sub>1</sub> hasta E<sub>4</sub>.

Es conocido que entre la madurez fisiológica y la madurez sensorial debe haber un alto metabolismo oxidativo, con un alto consumo de O<sub>2</sub>. Esto favorece la aparición del O<sup>-</sup> y con ello la generación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, un importante donador de protones que favorece la actividad de PDO, al degradar el peróxido de hidrógeno y generar pardeamiento (Baquero-Duarte, 2005).

La actividad de la PDO en pulpa de mango irradiado, presentó un comportamiento diferente al que presentó la piel del fruto, en los diferentes estadios de maduración y condiciones de tratamiento.

La tendencia en todos los tratamientos es el aumento de la actividad hasta llegar a su máximo valor en el máximo climaterio, esto debido a que en el desarrollo de las características sensoriales, la producción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es alta, garantizando un equilibrio entre sustratos oxidantes y compuestos antioxidantes (Baquero-Duarte., 2005).

Para los mangos almacenados a 20°C, la máxima actividad se presentó en los frutos tratados por 20 minutos con un valor 5 veces mayor al control.



Lo anterior denota que el tratamiento de irradiación provocó un efecto inmediato en la PDO desactivando ligeramente su actividad. Sin embargo, al inicio del climaterio la enzima se recupera y aumenta su actividad, este comportamiento podría explicarse debido que, los niveles de peróxido se incrementaron al inicio del máximo climaterio, produciendo una lisis en la vacuola que contiene a los fenoles imponiendo las condiciones necesarias para el desarrollo acelerado de la actividad enzimática y por lo tanto estos frutos tenderán a presentar el pardeamiento enzimático (Cano *et al.*, 1998).

La peroxidasa es considerada una de las principales enzimas responsables del deterioro de la calidad en muchas frutas y vegetales congelados o almacenados a bajas temperaturas, junto con la lipooxigenasa, la catalasa y la Polifenol oxidasa.

Para el caso de PDO en pulpa de mango 'Ataulfo' almacenado a bajas temperaturas (Figura 50B), inmediato al tratamiento, los frutos presentaron valores de 11 y hasta 32 % menores al control. Sin embargo al finalizar el almacenamiento a 5°C y transferidos a 20°C se presentó una mayor actividad de PDO en E<sub>2</sub>. Los frutos tratados por 10 y 20 minutos presentaron su actividad 3.5 veces mayor a la que se reportó para el lote control, mientras que los frutos tratados por 5 minutos solo son 50% más altos.

El aumento en la actividad de la PDO observado en el almacenamiento a bajas temperaturas, podría evidenciarse en la solubilización de las formas iónicas de la PDO ligadas a la membrana celular, que han sido liberadas por los procesos del daño fisiológico celular (Cano *et al.*, 1998).

En el máximo climaterio, la actividad enzimática disminuyó en todos los casos, hasta ubicarse entre un 8 y 38 % por debajo de la actividad del lote control para los frutos tratados por 5 y 10 minutos respectivamente; mientras que los tratados por 20 minutos permanecen con valores semejantes al control. Para el postclimaterio la actividad de los frutos tratados, presentó una disminución para ubicarse en un 60 y 80 % por debajo del control.



De acuerdo a estudios realizados, la activación o inactivación de la PDO causada por las bajas temperaturas, puede ser un proceso reversible, el cual podría tener lugar con la solubilización de otras isoenzimas de PDO ligadas a la membrana celular.

- **Distribución de la actividad de la peroxidasa (PDO) en mango 'Ataulfo' (Nitrocellulosa tissue print).**

Cuando los frutos sufren un corte y son colocados sobre la membrana de nitrocelulosa las proteínas en la superficie del corte, son transferidas a las membranas, mediante la aplicación de una fuerza suave. Cuando la nitrocelulosa entra en contacto con los sustratos de las enzimas presentes, ocurre la coloración característica de acuerdo al tipo de sustrato que se ha puesto a interactuar con las proteínas presentes en la membrana (Trejo-Márquez, 2000).





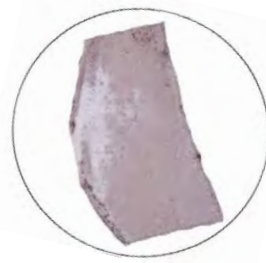



De esta forma la tinción clara u oscura en la membrana indica, una menor o mayor actividad de la enzima distribuida en los tejidos del fruto.

Este ensayo estuvo originalmente diseñado para la observación de la distribución de la actividad de las enzimas PPO y PDO; sin embargo para el caso de la PPO no fue posible observar claramente la distribución de la actividad del tejido del mango, impreso en la membrana.

En la Figura 51 se muestra la distribución de la PDO en mango 'Ataulfo' almacenado a 5°C por 25 días y posteriormente transferidos a 20°C para su proceso de maduración, el ensayo se realizó en frutos en estado preclimaterico ( $E_1$ ) y postclimaterico ( $E_4$ ).







Es sabido que la actividad de la PDO se encuentra estrechamente ligada con la aparición de los síntomas de daño por frío, además de que el tratamiento de irradiación UV-C contribuye de la misma forma a la activación de esta enzima (Leja *et al.*, 2003 y González-Aguilar *et al.*, 2005a).



ESTADIO TARATMIENTO	PRECLIMATERIO E <sub>1</sub>	POSTCLIMATERIO E <sub>4</sub>
CONTROL		
5 MINUTOS		
10 MINUTOS		
20 MINUTOS		

**Figura 51.** Distribución de la actividad enzimática de la POD (Nitrocellulosa tissue print) en mango 'Ataulfo' almacenado a bajas temperaturas, en estadio preclimático (E<sub>1</sub>) y postclimático (E<sub>4</sub>).



ESTADÍO TRATAMIENTO	PRECLIMATERIO E <sub>1</sub>	POSTCLIMATERIO E <sub>4</sub>
30 MINUTOS		
40 MINUTOS		
60 MINUTOS		

**Figura 51.** Distribución de la actividad enzimática de la POD (Nitrocellulosa tissue print) en mango 'Ataulfo' almacenado a bajas temperaturas, en estadio preclimaterico (E<sub>1</sub>) y postclimaterico (E<sub>4</sub>).Continuación.



En preclimaterio la actividad enzimática de los frutos control, se presenta mayoritariamente en la piel; no así en la pulpa, misma que muestra zonas muy pequeñas de actividad. Para el postclimaterio, la enzima se encontró en una mayor área, siendo al igual que en el preclimaterio la piel del fruto la que recibe el efecto de la exposición del fruto al frío y con ello la manifestación de síntomas característicos del DF como lo es el pardeamiento enzimático en la que la PDO juega un importante papel.

Los frutos tratados, incrementaron la actividad de la PDO conforme aumentó el tiempo de exposición a la irradiación UV-C en conjunto con la exposición a las bajas temperaturas, tanto en la piel como en la pulpa de mango. Así, los frutos tratados, mostraron una disminución en las zonas blancas que sugieren ausencia de actividad, es decir, que conforme se incrementó el tiempo de exposición a la irradiación, la membrana presentó un aumento en la aparición de zonas oscuras que indican la actividad de la enzima.

La misma tendencia se observó durante el postclimaterio, sin embargo, es claro que la enzima mostró mayor actividad con respecto a  $E_1$ . En este estadio, la enzima fue activándose conforme aumentó el tiempo de exposición a la irradiación, tanto en la piel como en la pulpa. En las condiciones de 30, 40 y 60 minutos se observó una distribución en la piel y en toda la pulpa del fruto, indicando que el tratamiento activa la enzima y está se distribuye homogéneamente en ambos tejidos.

### **5.5 Efecto de los tratamientos de irradiación UV-C sobre el contenido de Fenoles Totales y su relación con los daños por frío.**

De acuerdo a la Figura 52A, en la piel de mango irradiado y almacenado a 20°C, los frutos control presentaron el mayor contenido de fenoles totales en el preclimaterio, con un valor de 182 mg de ácido gálico/ g PF, mismo que aumentó ligeramente en el postclimaterio 15% con respecto a  $E_1$ .

En  $E_1$  los frutos tratados por 5 minutos, presentaron un contenido de fenoles totales 45% menor al control y conforme avanzó el proceso de maduración aumentó 60% hasta  $E_4$ , presentando un valor 40% mayor que el grupo control para este estadio.



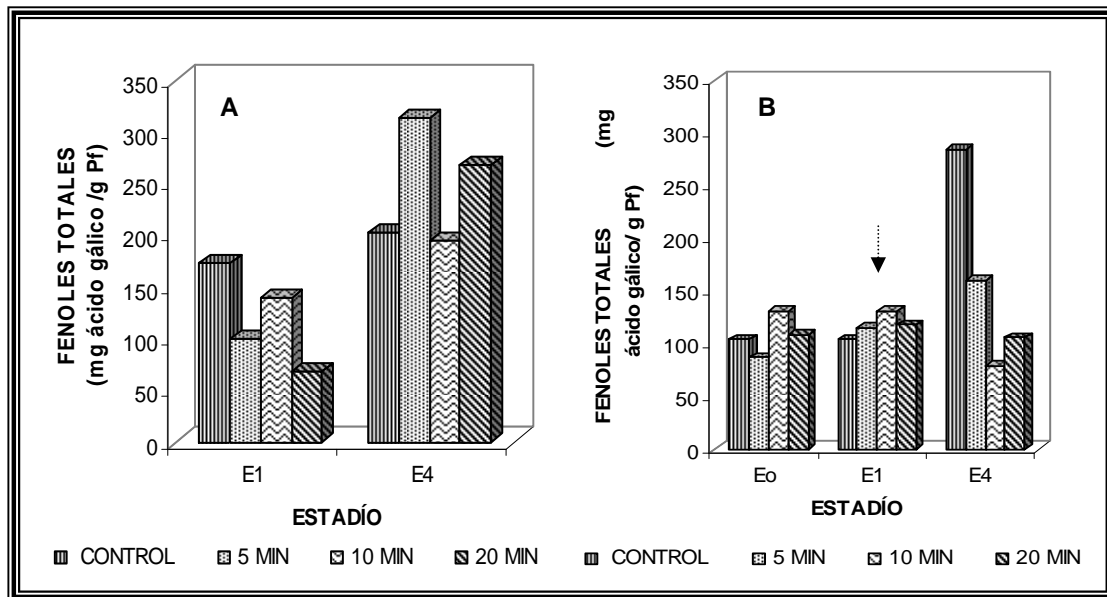
Los frutos tratados por 10 minutos presentaron un contenido de fenoles totales 24% menor que el control en el preclimaterio, para después aumentar 39% en la senescencia del fruto. Sin embargo, para este estadio se obtuvo un contenido de fenoles 5% menor a los frutos control.

Algunos estudios han reportado que se presenta una mayor acumulación de compuestos fenólicos en tejido de plantas, conforme se prolongan los tiempos de exposición a la irradiación. La aparición de lesiones y manchas café rojizas en la superficie de tejidos irradiados con UV-C, sugiere la acumulación de compuestos fenólicos, los cuales son inducidos por la exposición a los rayos UV (Erkan *et al.*, 2001). Esto, debido al incremento en la biosíntesis de compuestos fenólicos como respuesta del tejido, a la irradiación (Frylinck *et al.*, 1987).

Los cambios en el contenido de fenoles totales en la piel de mango 'Ataulfo', almacenados a 5°C se muestran en la Figura 52 B.

El grupo control, presentó un incremento de compuestos fenólicos conforme avanza el proceso de maduración, siendo más significativo en el postclimaterio en comparación a los frutos almacenados a 20°C, donde estos últimos presentaron un contenido de fenoles totales 71% menor que los almacenados a 5°C por 25 días, por lo que se observó un efecto evidente de las bajas temperaturas sobre el contenido de fenoles.

Se ha reportado un incremento en el contenido de fenoles totales durante el almacenamiento a bajas temperaturas, esto puede deberse a la acción del etileno, ya que esta fitohormona estimula la actividad de la Fenilalanina amonioliasa (PAL) enzima clave en la biosíntesis y acumulación de compuestos fenólicos (Leja *et al.*, 2003).



**Figura 52.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el contenido de fenoles totales en piel de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

De igual manera, los frutos tratados por 5 minutos aumentaron conforme avanza el proceso de maduración, aunque durante el postclimaterio, se mantuvieron un 44% por debajo del control.

Los frutos tratados por 10 minutos presentaron el mayor contenido de fenoles totales en la etapa inmediata al tratamiento (E<sub>0</sub>) y durante el inicio del climaterio, tras ser transferidos a 20°C, esto con respecto al control y a las demás condiciones de irradiación. Sin embargo, para el postclimaterio disminuyeron 44% con respecto a E<sub>1</sub> y pero 72% por debajo del control durante este estadio.

Los frutos tratados por 20 minutos presentaron un ligero aumento, 18% de E<sub>0</sub> hasta E<sub>1</sub>, obteniendo un aumento del 21% en el contenido de fenoles totales en comparación al control en E<sub>1</sub>, presentando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con los frutos tratados por 5 y 10 minutos. A pesar de ello, se presentó una disminución del 19% en E<sub>4</sub> con respecto a E<sub>1</sub>, ubicándose además un 63% por debajo del control en el postclimaterio.





La piel de frutos tratados con irradiación UV-C y almacenados a bajas temperaturas mostraron un menor contenido de fenoles totales en comparación a las pieles de frutos tratados y almacenados a 20°C. Abou *et al.* (1976) muestran que el mango almacenado a 5°C por 20 días presentó una disminución gradual de los compuestos fenólicos totales, cuando éstos son transferidos a temperatura ambiente.

En comparación con la piel, el contenido de fenoles totales en pulpa presentó aproximadamente valores 100 veces menores, esto puede deberse a que los fenoles están relacionados con la protección de los frutos cuando estos son sometidos a un estrés o al ataque de enfermedades (Hobson, 1993).

El contenido de fenoles en pulpa de mango almacenado a 20°C se muestra en la Figura 53 A, los frutos control al inicio del climaterio presentaron un contenido de fenoles totales menor al de los frutos tratados por 5, 10 y 20 minutos. Se obtuvo un valor de 1.91 mg de ácido gálico/ g PF para después aumentar ligeramente 16% en el postclimaterio.

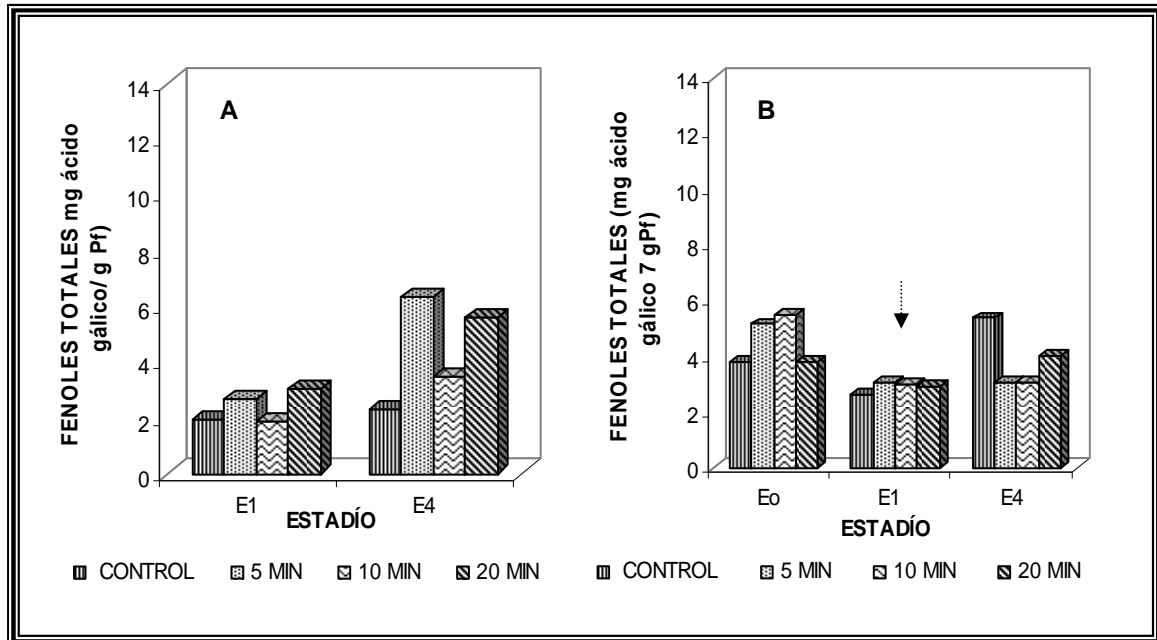
Los frutos tratados por 5 minutos presentaron un contenido de fenoles totales 28% mayor que el control en el preclimaterio, para después aumentar su contenido 58% en E<sub>4</sub> y 64% con respecto al control en el mismo estadio.

Para los frutos tratados por 10 minutos se obtuvo un menor contenido de fenoles totales (2%), en comparación con el control y los tratados por 5 y 20 minutos en el preclimaterio. En la senescencia del fruto aumentaron 46% con respecto a E<sub>1</sub> y 35% con respecto al control en E<sub>4</sub>.

Sin embargo, los frutos tratados por 20 minutos presentaron un contenido fenoles 37% más alto que los tratados por 5 y 10 minutos y aún que el control en el preclimaterio. En E<sub>4</sub> aumentaron 46% con respecto a E<sub>1</sub> y presentando valores del 59% mayores al control en E<sub>4</sub>.



Los tratamientos de irradiación UV-C en pulpa de mango al igual que en las pieles incrementaron el contenido de fenoles totales con respecto al control.



**Figura 53.** Efecto de los tratamientos UV-C sobre el contenido de fenoles totales en pulpa de mangos 'Ataulfo' almacenados a 20°C (A) y a 5°C por 25 días (B). La flecha indica la transferencia a 20°C.

El contenido de fenoles totales en pulpa de frutos almacenados a 5°C por 25 días y trasferidos a 20°C para su maduración se muestra en la Figura 53B.

Los frutos control presentaron una disminución de compuestos fenólicos de E<sub>0</sub> (inmediato al tratamiento) hasta el inicio del climaterio 32% para después aumentar en el postclimaterio 29% con respecto a E<sub>1</sub>.

Los frutos tratados por 5 minutos, presentaron un contenido de fenoles totales 26% mayor que el control inmediato al tratamiento (E<sub>0</sub>), sin embargo en el preclimaterio disminuyó su contenido 49%, en el postclimaterio presentó un ligero aumento del 0.64% con respecto a E<sub>1</sub>, obteniéndose un contenido de fenoles totales 42% menor con respecto al control en E<sub>4</sub>.



Los frutos tratados por 10 minutos disminuyeron su contenido de fenoles desde E<sub>0</sub> hasta el preclimaterio 45%, y posteriormente aumentaron ligeramente 2% en el postclimaterio, presentando un contenido de fenoles 43% menor al control para este estadio.

Para los frutos tratados por 20 minutos de igual manera disminuyeron de E<sub>0</sub> a E<sub>1</sub> 23% para después aumentar 26% en el postclimaterio. Sin embargo, para este estadio presentaron valores de 26% por debajo de los frutos control.

El contenido de fenoles totales en pulpa de frutos control almacenados a 5°C fue ligeramente mayor que aquellos almacenados a 20°C; de igual manera la tendencia mostrada en ambas condiciones de temperatura fue totalmente diferente mostrando un efecto de las bajas temperaturas sobre este parámetro, Bothania *et al.*, (2002) encontraron que en la pulpa de mango 'Zebda' hay un significativo incremento de los compuestos fenólicos durante el periodo de almacenamiento a 3°C. Sin embargo, tanto para las pieles como para las pulpas de frutos tratados con irradiación UV-C a 5, 10 y 20 minutos y almacenados a 5°C por 25 días y transferidos a 20°C para su maduración el contenido de fenoles totales fue menor en el postclimaterio esto puede deberse a que algunos compuestos fenólicos son utilizados por las enzimas como sustratos ya que los tratamientos con UV-C también incrementaron la actividad de la PPO y PDO.

En suma, diferentes metabolitos secundarios, incluidos los compuestos fenólicos, pueden acumularse para mediar el estrés por frío en las plantas. La química estructural de los compuestos fenólicos predice su papel potencial como receptores de radicales libres (Zhilei *et al.*, 2006).

Por lo tanto, el aumento en los niveles de antioxidantes no enzimáticos como lo son los compuestos fenólicos pueden ser una parte importante del mecanismo involucrado en el aumento de la tolerancia del mango al frío (Zhilei *et al.*, 2006).



El método analítico empleado para la determinación del contenido de fenoles totales, cuantifica la totalidad de los compuestos que tienen la característica de reducir al cobre. Por lo que esta determinación no permite conocer a ciencia cierta la naturaleza de los compuestos presentes en la muestra analizada, pudiendo contener fenoles mono, di, trihidroxilados que pueden actuar como antioxidantes, o bien como sustratos de las enzimas encargadas del pardeamiento enzimático.

▪ **Relación de la Actividad enzimática, el contenido de compuestos fenólicos y el índice de Daños por Frío en mango 'Ataulfo' tratados con UV-C.**

De acuerdo a este estudio, la actividad enzimática de PPO y PDO presentó relación con el tiempo de exposición de los tratamientos UV-C (5, 10 y 20 minutos), esto aunado al efecto causado por las bajas temperaturas. Se observó que el índice de daño por frío (IDF), también varió por el efecto de la aplicación de los tratamientos, una vez que los frutos irradiados fueron expuestos a las bajas temperaturas.

Por esta razón se puede decir, que existe una relación entre las actividades enzimáticas de PPO y PDO, porque a medida que la actividad disminuía el IDF disminuía también, considerando que uno de los síntomas más evidentes del daño por frío es la activación de las enzimas oxidorreductasas generadoras del pardeamiento enzimático.

Se estableció una correlación entre ambas enzimas (PPO y PDO) para determinar en qué medida dependían las actividades enzimáticas con los síntomas de daño por frío. En la piel de los mangos irradiados y almacenados a 5°C por 25 días, no se encontró una correlación entre la PPO y el índice de daño por frío (IDF), en cambio la correlación entre la PDO y el IDF fue de  $R = 0.84$  indicando que el tratamiento con irradiación UV-C a 5 y 10 minutos tuvo un efecto sobre la inhibición de la PDO, no así para la PPO, ya que este tratamiento no fue lo suficientemente eficaz para inactivar dicha enzima.

Esto demuestra que la presencia del pardeamiento en los frutos dañados por frío, estuvo relacionado por la actividad de PPO.



Con respecto a la pulpa, se encontró una correlación entre la PPO y el IDF ( $R = 0.91$ ) para frutos tratados por 10 minutos, indicando que este tratamiento inhibe los daños por frío en la pulpa, inactivando a la PPO, enzima relacionada con los síntomas de daño en este tejido. Sin embargo, la PDO no presentó una correlación con el IDF, lo que demuestra que el aumento en la actividad enzimática no está directamente relacionada con el IDF, dado que esta enzima comienza a inactivarse una vez que el fruto alcanza su madurez comercial.

Una vez que el fruto es sometido a estrés, diversos mecanismos de respuesta de la planta tienen lugar, uno de ellos es la generación acelerada de compuestos fenólicos, mismos que a su vez interactúan con las oxidorreductasas, causando pardeamiento enzimático.

Para determinar en qué medida se presentó este síntoma de daño por frío, se realizaron correlaciones entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad enzimática de PPO y PDO. En la piel, la correlación con PPO fue de  $R = -0.95$  y  $-0.85$  para el tratamiento por 5 y 10 minutos respectivamente, para PDO fue de  $R = -0.81$  para los frutos tratados por 10 minutos. Esto indica que la actividad de la PPO estuvo más estrechamente ligada al contenido de fenoles totales que a la actividad de PDO, esto demuestra que estos tratamientos tuvieron un efecto en la inhibición de la actividad enzimática, repercutiendo en la acumulación de compuestos fenólicos que no fueron oxidados por dichas enzimas.

Por otro lado, para el caso de la pulpa de mango irradiado y almacenado a bajas temperaturas, se encontró una correlación de  $R = -0.78$  para frutos tratados por 10 minutos, sin embargo la PDO presentó una correlación de  $R = -0.62$  lo que indicó que el contenido de fenoles totales en pulpa, sólo tiene relación con la actividad de PPO.

Para el caso de la piel y la pulpa, la correlación entre el IDF y el contenido de fenoles totales, se presentó para los frutos tratados por 20 minutos  $R = 0.98$ . Los tratamientos por 20 minutos, actividad enzimática (PPO y PDO) y contenido de fenoles totales, lo que indica que en esta condición el IDF está regido por la actividad de ambas enzimas.



## 5. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que:

- Los tratamientos por irradiación UV-C que permitieron preservar la calidad del mango 'Ataulfo' fueron 5, 10 y 20 minutos.
- Los tratamientos por irradiación UV-C no presentaron un efecto sobre pH, acidez, sólidos solubles, firmeza y color de mangos, sin embargo, provocaron un incremento en la respiración que no afectó la vida útil de los frutos almacenados a 20°C.
- Los tratamientos por irradiación UV-C a tiempos de 5 y 10 minutos, contribuyeron a disminuir los síntomas de daños por frío, cuando los frutos fueron almacenados a bajas temperaturas.
- Los frutos almacenados a bajas temperaturas e irradiados se vieron afectados en sus parámetros de calidad y fisiológicos. Sin embargo, el efecto fue más evidente por el almacenamiento a bajas temperaturas que por el tratamiento UV-C.
- La actividad enzimática de PPO en frutos irradiados y almacenados a 20°C se incrementó con respecto al tiempo de irradiación, sin embargo, a bajas temperaturas presentó una mayor activación en piel y pulpa del mango.
- La actividad enzimática de PDO en frutos irradiados y almacenados a 20°C incrementó su actividad con respecto al tiempo de irradiación durante el proceso de maduración del fruto, sin embargo, a bajas temperaturas presentó una mayor actividad solamente en la pulpa del mango.
- El contenido de fenoles totales presentó una correlación con el IDF y con la actividad de la PPO, ya que este índice está regido por la actividad de la PPO y PDO.



### 6. RECOMENDACIONES.

- Evaluar el efecto de la irradiación UV-C sobre la pared celular y las enzimas que se encuentran en ella, como la pectinesterasa (PE) y la poligalacturonasa (PG) en mango.
- Evaluar el efecto de la irradiación UV-C sobre la actividad enzimática de la Fenilalanina amonioliasa (PAL), como enzima clave en la síntesis de compuestos fenólicos en mangos.
- Identificar el perfil de los diferentes compuestos fenólicos que se encuentran en el mango para evaluar su efecto como sustratos de enzimas oxido-reductasas o su papel como antioxidantes.
- Estudiar el efecto del almacenamiento a bajas temperaturas, en la actividad de enzimas como: fenilalanina amonio liasa (PAL), poligalacturonasa (PG), pectinmetilesterasa (PME) y pectinesterasa (PE).
- Estudiar el efecto del tratamiento con irradiación UV-C previo a la aplicación de un recubrimiento comestible sobre mangos almacenados a bajas temperaturas.
- Aplicación del tratamiento con irradiación UV-C a otros frutos susceptibles a alteraciones fisiológicas causadas por las bajas temperaturas.



## 7. ANEXO

### Ensayo de Distribución de PPO y POD Nitrocellulose Tissue Print Método de Murata *et. al.*, (1995) modificado.

**FUNDAMENTO:** Las proteínas en la superficie de corte de las secciones son transferidas a las membranas de nitrocelulosa, mediante la aplicación de una fuerza suave. Cuando la nitrocelulosa entra en contacto con los sustratos de las enzimas presentes, ocurre la coloración característica de acuerdo al tipo de sustrato que se ha puesto a interactuar con las proteínas presentes en la membrana.

REACTIVOS	MATERIALES
<b>Polifenoloxidasas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Buffer fosfato 10 mM (pH 7.5)</li><li>• Dopamina hidroclicada 0.07 M incubada a 40°C</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Membranas de nitrocelulosa</li><li>• Bisturís</li><li>• Vernier</li><li>• Cronómetro</li><li>• Espátulas</li><li>• Cajas petri</li><li>• Papel secante</li></ul>
<b>Peroxidasas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Buffer fosfato 0.04 M (pH 7.5)</li><li>• <i>p</i>-fenilendiamina 10mg/mL incubada a 60 °C</li><li>• Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 15 mL /L</li></ul>	

### PROCEDIMIENTO:

1. Los mangos previamente irradiados y colocados en incubación a 20 °C con una HR del 85%, fueron seleccionados de acuerdo al estadio de maduración en el que se determinó la prueba.



2. Se realizó un corte longitudinal en el mango, desde el pedúnculo hasta la parte de la punta.







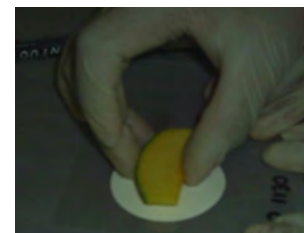
3. Se desprendió cada una de las tres secciones producidas por el corte. Se realizó otro corte transversal sobre una de las partes seccionadas de un espesor máximo de 5 mm.



4. Después de realizar el corte en forma de media luna, se realizó un segundo corte desde la piel al centro del fruto. Hasta que la longitud de la media luna fuera de 45 mm (diámetro de la membrana de nitrocelulosa).



5. a) Las muestras fueron cuidadosamente colocadas en las membranas procurando realizar el acomodo en un solo movimiento, evitando que la muestra se deslice sobre la superficie de la membrana.



- b) Se realizó el ensayo por duplicado, presentando una muestra para cada enzima.



6. La muestra depositada sobre la membrana de nitrocelulosa fue comprimida por una masa conocida (muestra en preclimaterio 0.6 Kg y en postclimaterio 0.3 Kg) durante 3 minutos.





7. Una vez transcurridos los 3 minutos, la muestra fue cuidadosamente retirada de la membrana.



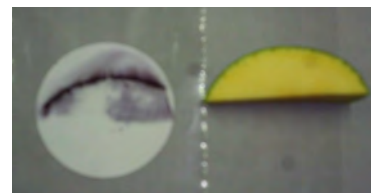
8. Tras ser retirada la muestra de la membrana, se sumergió totalmente en los buffers de ensayo de las enzimas PPO y POD por un tiempo de 3 minutos.



9. Transcurridos los 3 minutos de revelado de la membrana, fueron extraídas de los buffers y colocadas en papel secante.



10. Una vez que la membrana se secó, se observó la distribución de cada enzima en el corte realizado al fruto. De acuerdo al nivel de oscurecimiento de la membrana se determinó la distribución de la enzima en muestras controles y muestras tratadas.





---

## 8. REFERENCIAS.

1. Abou, A.B., Nabawy, S.M., Andel F.K., y Andel-Kader, A.S. (1976). The effect of storage temperature on quality and decay percentage of 'Pairi' and 'Taimour' Mango fruits. *Science Horticulturae*, **5**: 65-72.
2. 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)
3. Alzamora, S.M., Castro, M.A., Vidales, S.L., Nieto, A.B. y Salvatori, D. (2000). The roll of tissue microstructure in the textural characteristics of minimally processed fruits. En: *Minimally processed fruits and vegetables, fundamental aspects and applications*. Alzamora, S.M. (Eds.). C.H.I.P.S. Neimer, Tx. 221-40 24 pp. 153-171.
4. AOAC. (1990). Official methods of análisis 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.
5. Artés, F. (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-CSIC. pp. 28.
6. Artés F., Gómez, P.A. y Artés Hernández, F. (2002). Alteraciones físicas, fisiológicas y microbianas de frutas y hortalizas procesadas en fresco. *Revista Española de ciencia y tecnología de alimentos* **35** (4): 139-149.
7. Artés, F., Tudela, J.A., Villaescusa, R. (2000) Thermal posharvest treatments for improving pomegranate qualite and shelf life. *Posharvest Biology Technology*, **3**:245-251.



8. Artés–Hernández, F. (2003). *Daños por frío en la recolección de frutas y hortalizas*. Grupo Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería en alimentos Universidad Politécnica de Cartagena. Murcia, España, pp. 205-211.
9. Baquero-Duarte, L.E., Castro-Rivera, J.A., y Narváez-Cuenca, C.E. (2005). Catalase, Peroxidase and Polyphenol oxidase from Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Fruits: Ripening and Senescence. *Acta Biológica Colombiana*, **10** (2): 49-59.
10. Balbotín M. S. (2002). Harinosidad y pardeamiento interno en durazno y nectarines: Diagnóstico de la susceptibilidad y acción de reguladores de la maduración. Tesis de Maestría. Facultad de agronomía e ingeniería forestal. Universidad Católica de Chile.
11. Barret, D. M. (2005), *Processing fruits (Science and technology)*, Ed. CRC PRESS, United States of America, pp. 841.
12. Bowker, A. y Lieberman, G.J. (1985). *Estadística para ingenieros*, Ed. Prentice Hall, México, pp.373.
13. Bothania, M. Youssef, A.A., Asker, S.K., El-Samahy, y Swailam H.M. (2002). Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. *Food Research International*, **35**: 1-13.
14. Camacho de la Rosa, N. A. (2001). Producción, purificación y caracterización de una xilanasa de *Aspergillus* sp. FP-470 y su aplicación en Panificación. Tesis de Maestría. Facultad de Química, UNAM.
15. Cano, M.P.; Marín, M.A. y Fúster, C. (1997). Difference among spanish and latin American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*, **59**: 411-419.
16. Cano, M.P., Lobo, M.G., y Ancos, B. (1998). Peroxidase and Polyphenol oxidase in Long-Term Frozen Stored Papaya Slices. Differences among Hermaphrodite and Female Papaya Fruits. *Journal Food Science and Technology*, **76**: 135-141.



17. Casp V. A. y Abril, R. J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*, Ediciones Mundi-Prensa, España, pp.494.
18. Chhatpar, S.H., Mattoo, A.K., y Modi, V.V. (1971). Biochemical studies on chilling injury in mangoes. *Phytochemistry*, **10**: 1007-1009.
19. Corporación Colombiana Internacional (1992). Mango, Origen y Botánica. Disponible en :< <http://www.cci.org.co>>
20. Couey, H.M. (1982) Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *HortScience*, **17**: 162-165.
21. Doreyappa-G. I.N. y Huddar, A.G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera Indica L.*) Fruits. *Journal of Food Science and Technology*, **38**: 135-137.
22. Durán, T. S. (1983). *Frigoconservación de la fruta*. Editorial AEDOS, Barcelona España, pp. 369.
23. Erkan, M., Wang, C.Y., y Krizek, D.T. ( 2001). UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *cucurbita pepo* fruit tissue. *Enviromental and experimental Botany*, **45**: 1-9.
24. Espinosa G. C. y Hernández V.M. (2006). Aplicación de tratamientos térmicos por vapor caliente en el control de antracnosis y en los síntomas de daños por frío en mango variedad Keitt. Tesis de Licenciatura. FESC-Cuautitlán. UNAM.
25. Flores,G.A.A. (2000) *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela*. Ed. UNILLEZ, Venezuela, pp. 224.
26. (FAO) Food and Agricultural Organization (2005). Consulta de base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <<http://apps.fao.org/faostat>>



27. Frylinck, L.I.A., Scharbort, D., y Johannes, C. (1987). Biochemical changes involved in stress response and ripening behaviour of  $\gamma$ -irradiated mango fruit. *Phytochemistry*, **23** (3) pp. 681-686.
28. Galán-Sauco, V. (1999). *El cultivo del mango*, ediciones Mundi-Prensa, Barcelona España, pp. 298.
29. Gómez-Lim, M.A. (2000). Postharvest Physiology. En: *The mango Botany, Production and Uses*. Litz, R.E. (ed), CAB International, USA, pp. 587.
30. González-Aguilar, GA, Ayala-Zavala, JF, Rivera-López, J, Zavaleta-Gatica,R., Villegas-Ochoa, MA, Tejedor-Espinoza, W. (2005a) . Reducción de deterioro en frutos de mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta. *Ciencia de la Frontera (UV-C)*. **3**:49-57.
31. González-Aguilar, G.A, Cuamea-Navarro F, Gardea A. (2005b). *Nuevas Tecnologías de conservación de Productos vegetales Frescos Cortados; (CIAD, A.C.); Editorial Logiprint Digital, Jalisco, México*, pp. 558.
32. González-Aguilar, G., Wang, C.Y., y Buta, G.J. (2004). UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of food and Agriculture*, **84**: 415-422.
33. González-Aguilar, G.A., Buta, J.G., y Wang C.Y. (2001). Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of 'Kent' mangoes. *Journal of the Science of food and Agriculture*, **81**: 1244-1249.
34. González-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A., Martínez-Téllez, M.A., y Ayala-Zavala, F. (2007). Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. *Journal of food Science*, **72** (3): 197-202.
35. Guadarrama, A. y Rivas, N. (1995). Purificación y caracterización de las enzimas polifenol oxidasa del Ocumo (*Xanthosoma sagittifolium*). *Revista Facultad de Agronomía (Maracay)*, **16**: 65-86.



36. Hobson, G.E. (1993). Maduración del fruto. En: *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Azcon-Bieto (ed.) Interamericana Mcgrawhill. España, pp. 463-478.
37. INFOAGRO (2002). Frutas tropicales. El mango. Disponible en: [www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/mango.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.htm)
38. (IMPI). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (2002). *Declaración general de protección de la denominación de origen 'mango Ataulfo del soconusco Chiapas'*. Diario oficial de la Federación. Tercera Sección pp1.
39. Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J.D. y Lurie, S. (1999). Firmness, pectin components and cell wall hydrolases of mango fruit following low –temperature stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **74**:685-689.
40. Khan, A.A. y Robinson, D.S. (1993). Purification of an anionic peroxidase isoenzyme from mango (*Mangifera indica* L. var. *chaunsa*). *Food chemistry*, **46**: 61-64.
41. Kubo, Y., Taira, S., Ishio, S., Sugiura, A., Tomana, T. (1988). Color development of four apple cultivars grown in the Southwest of Japan, with especial reference to fruit bagging. *Japanese Society of Horticultural Science* **57**,: 191-199.
42. 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**: 285-286.
43. Lamúa, S.M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. AMV Ediciones Mundi Prensa, España, pp. 350.
44. Lee, R. (1980). *Análisis de los alimentos, métodos analíticos y de control de calidad*. Ed. Acribia. Zaragoza. pp. 288.



45. Leja, M., Mareczek, A., y Ben, J. (2003). Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. *Food Chemistry*, **80**: 303-307.
46. Lizada, C. (1993). Mango. En: *Biochemistry of fruit ripening*. Seymour, J.G. (ed.). Chapman y May, Londres, pp. 255-271.
47. Lowry, O.H., Resebrough, 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.
48. Luchsinger, L., Miranda, P., y Reginato, G. (2001). Tasa de producción de etileno y su relación con la maduración del fruto en variedades tempraneras de nectarinos. *Tecnología Postcosecha*, (3) 2: 185-194.
49. Macheix, J.J., Fleuriet, A., Billot, J. (1990). Fruit phenolics their extraction, separation, and quantitative and semiquantitative evaluation by HPLC. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, **40**: 1571-1576.
50. Marquene, D., C.W. Michiels, J.F. Van Impe, E. Schrevers, B.N. Nicolaï. (2003). Pulsed white light in combination with UV-C and heat to reduce storage rot of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, **28**: 455-461.
51. Marshall, M.R., Kim, J. y Wei, C.I. (2000). Enzymatic Browning in fruits, vegetables and sea food. Edit. FAO. Disponible en: <[www.fao.org/ag/aqsi/Enzymefinal](http://www.fao.org/ag/aqsi/Enzymefinal)>
52. Martínez-Téllez, M.A., y Lafuente, M.T. (1997). Effect of High temperatura conditioning on ethylene, Phenylalanine Ammonia-lyase, Peroxidase and Polyphenol oxidase Activities in Flavedo of chilled (*Fortune*) Mandarin. *Journal Plant Physiology*, **150**: 674-678.
53. McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hortscience*, **27**: 1254-1255.





54. Medlicott, A.P, Bhogal, M., 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.
55. Mercier, J. (1997) Role of phytoalexins and other antimicrobial compounds from fruits and vegetables in postharvest disease resistance. En: *Photochemistry of fruit and vegetables*. Thomas-Barberan FA, RJ Robins (eds.). C.H.I.P.S. Neimer, Tx. 221-40 241.
56. Miller, G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, **31**:426-428.
57. Mitra, S.K., y Baldwin, E.A. (1997). Mango. En: *Postharvest Physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. Mitra, S.K. (ed.). CB international, New York EU,95 pp. 297-308.
58. Mohammed, M., Y Brecht, J.K. (2002). Reduction of chilling injury in 'Tommy Atkins' mangoes during ripening. *Science Horticulture*, **95**: 297-308.
59. Moreno, G.G. (1998). Elaboración de mango cristalizado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM.
60. Morton, J. (1987). Mango (*Mangifera indica* L.). En: *Fruits of warm climates*. Morton; J. (ed.). Miami FL. Disponible en: [www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango.html)
61. Mukherjee, S.K. (2000). Mango botany and importance. En: *The mango Botany, Production and uses*. Litz, R.E. (ed.). CAB International, USA, pp. 1-25.
62. Murata, M., Tsurutani, M., Tomita, M., Homma, S., y Kaneko, K. (1995). Relationship between apple ripening and browning: Changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, **43**: 1116-1121.



63. Pantástico, E.R.B. (1987). *Fisiología de las posrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. C.E.C.S.A., México, pp. 663.
64. Parry, R.T. (1995) *Envasado de los Alimentos en Atmósfera Modificada*. ed. A Madrid Vicente, Ediciones, Madrid, España, pp. 331
65. Pearson, D. (1998). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza. Pp.332.
66. Pérez-Tello, O.G., Espinosa, S., Arispuro, V.I., Briceño, T.B.O. y Martínez, T.M.A. (2001). Effect of temperatura on enzymatic and physiological factors related two chiling injury in carambola fruit (*Averrhoa carambola L.*), *Biochemical and Biophysical Research Communication*, **278**: 841-846.
67. Ploetz, R.C. (2003). Diseases of mango. En: *Diseases of tropical fruits Crops*, CAB international, UK, USA, pp. 327-363.
68. Primo, Y.E. (1998). *Química de los Alimentos*, editorial Síntesis, España, pp. 461.
69. Ramírez-Villatoro, G. (2005) Estudio de los daños por frío en diferentes variedades de mango. Tesis Licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM.
70. Secretaría de Economía (2006). Dirección General de Normas, Norma Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006, Productos Alimenticios no Industrializados para Consumo Humano- Fruta Fresca-Mango (*Mangífera indica L.*) Especificaciones. Disponible en: <http://www.economia.gob.mx/work/normas/nmx/2000/nmx-ff-058-scfi-200.zip>
71. SIAP- SAGARPA (2005) Boletín *márgenes de comercialización mango Aaulfo y Manila*. Mayo 2005 Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/Agrícola](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/integra/Agrícola)
72. Singh, U.P., Singh, D.P., Singh, M., Maurya, S., Srivastava, R.S., Singh, R.B. Y Singh, S.P. (2004). Characterization of phenolic compounds in some India mango cultivars. *International Journal of Food Science and Nutrition*, **55**: 163-169.



73. Slinkard, K y Singleton, V.L. (1977) Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods, *American Journal of Enology and Viticulture*, **28**: 49-55.
74. Suresh, N., Zora, S. y Tan, S.C. (2003). Chilling injury in relation two ethylene biosíntesis in 'Kensington Pride' mango fruti. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **79**: 82-90.
75. Teixeira, G.H.A., Durigan, J.F., Alves, R.E., Filgueiras, H.A.C., y Moura, C.F.H. (2000). Almacenamiento de los frutos de Bacuri en tres estados de maduración: Evaluación física, química y del color. *Tecnología Postcosecha*, **3** (1): 39-47.
76. Tomás –Barberán, F. y Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of Science of Food and Agriculture*, **81**: 853-876.
77. Trejo-Márquez, M. A. (2000). Estudio de factores fisiológicos y bioquímicos relacionados con los daños por frío en Plátanos. Tesis de Doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona. España.
78. Vámos-Vigyázó, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetales. *CRC Critical Review of Food Nutrition*, **15**: 49-127.
79. Wang, C.Y, (1982). Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *Hortscience*, **17**: 173-186.
80. Wang, C.Y. (2000). Postharvest techniques for reducing low temperature injury in chilling- sensitive commodities. En: *Improving Postharvest Technologies of Fruit Vegetables and Ornamentals*. F. Artés, M.I. Gil y M.A. (eds.). Edit. Inter. Institute of Refrigeration. **II**: 467-473.
81. Wang, J., Jiang W., Wang, B. Liu, S., Gong, Z., y Luo, Y. (2006). Partial properties of polyphenol oxidase in mango (*Mangifera indica* L. C.V. Tainong) pulp. *Journal of food Biochemistry*, **31**: 45-55.



82. Wiley, C. R. (1997); *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas*, Editorial ACRIBIA, España, pp. 362.
83. Willemot, C. (2002). *Incidencia fisiológica de la conservación en frío*. En: *Tecnología de las Hortalizas*. Tirill Y, I. y Bourgeois, C.M, (eds.). Editorial Acribia, pp. 297-311.
84. Wills, H.H.R., Lee, H.T., Mcglasson, B.W., May, G.H. y Graham, D. (1987). *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección*. Editorial ACRIBIA, Zaragoza España, pp.195.
85. Zhilei, Z., Ceibo, J., Jiankang, C., Yumei, Z., y Yuhong, G. (2006). Effect of cold-shock treatment on chilling injury in mango (*Mangifera indica* L. cv. 'wacheng') fruit. *Journal of the Science of food and Agriculture*, **86**: 2458-2462.



## 10. ABREVIATURAS

AC	Atmósferas Controladas.
ACC	Ácido-1-aminocloropropano-1-carboxílico.
AM	Atmósferas Modificadas.
ANOVA	Análisis estadístico de varianza.
DF	Daño por frío.
DNA	Ácido Desoxiribonucleico
DNS	Ácido 3,5- dinitrosalicílico.
E <sub>0</sub>	Preclimaterio previo al almacenamiento a 5°C
E <sub>1</sub>	Preclimaterio.
E <sub>2</sub>	Inicio del climaterio.
E <sub>3</sub>	Máximo climaterio.
E <sub>4</sub>	Postclimaterio.
HR	Humedad Relativa.
IAA	Ácido Indol Acético.
IDC	Índice de Decaimiento.
IDF	Índice de Daño por Frío.
IDQ	Índice de Quemaduras
IM	Índice de Madurez
KGy	Kilograys
MT	Millones de Toneladas
n	Tamaño de la muestra
PAL	Fenilalanina Amonio Lisasa
PATE	Ácido Poligalacturónico
PE	Pectinesterasa
PEPC	Fosfofenol Piruvato carboxilasa
PF	Peso Fresco
PG	Poligalacturonasa
PDO	Peroxidasa
PPO	Polifenol Oxidasa
PTE	Pectina
SAM	5- adenosin-metionina
SST	Sólidos Solubles Totales.
UV	Radiación Ultravioleta
UV-A	Radiación Ultravioleta A con longitud de onda de 315-400 nm
UV-B	Radiación Ultravioleta B con longitud de onda de 286-314 nm
UV-C	Radiación Ultravioleta C con longitud de onda de 200-285 nm