



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

EFFECTO DEL TRATAMIENTO POR IRRADIACION GAMMA EN LOS  
PARAMETROS DE CALIDAD DE MANGO 'MANILA' PARA EXPORTACION.

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MONSERRAT PEREZ GOMEZ

LUZ ADRIANA RAMIREZ OROZCO

ASESOR: DRA. MARIA ANDREA TREJO MARQUEZ



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.

## ***Agradecimientos:***

***Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.***

### ***A mis padres***

Su fuerza y su amor me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba para volar. Porque gracias a su cariño, guía, apoyo y consejo he llegado a realizar uno de mis anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso amor y confianza que en mí depositaron y con los cuales he logrado concluir mi carrera profesional que constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecida. Por esto y más... Gracias.

### ***A mi hermana***

Tu cariño y consejos que siempre me has dado han sido muy valiosos para mí, te doy las gracias por ser la mejor amiga y hermana ejemplar, por ser una de las personas que más quiero en la vida y así como yo estoy concluyendo una parte de mi vida, te deseo de todo corazón que todos tus esfuerzos se reflejen en lo que has cosechado y tengas mucho éxito. Por todas las aventuras que emprendimos y que nos falta por descubrir, te doy las gracias.

### ***A mi familia***

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sepan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su apoyo. Los amo.

### ***A mi novio***

Te doy las gracias por tu apoyo, comprensión y amor que siempre me has brindado, porque me has acompañado en una parte muy importante de mi vida y por compartir todas esas experiencias inolvidables que hemos vivido. Gracias, te amo.

### ***Amigos***

Compartir los sueños con un amigo es empezar a convertirlos en realidad y yo quiero agradecerles el apoyo y cariño que siempre me han brindado por hacer esto realidad.

### ***Dra. Andrea***

Gracias por su comprensión, confianza y amistad incondicional, porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional. Por lo que ha sido y será... Gracias.

### ***A mis profesores***

Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer en esta vida de lucha y superación constante, deseo expresarles que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos y constituye el legado más grande que pudiera recibir.

He llegado al final de este camino y en mi han quedado marcadas huellas profundas de éste recorrido. Gracias a todos ustedes porque mi trofeo es también suyo.

***Con cariño, admiración y respeto.***

***Montserrat Pérez Gómez.***

## **Dios**

Porque has sido la fuerza que me ha motivado a seguir adelante a pesar de las experiencias que me has puesto en el trayecto de mi vida gracias pues se que estas siempre conmigo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser el lugar donde los sueños culminan.

## **Mi familia**

Emilio el timón de mi vida gracias por llegar de manera tan precisa jamás terminare de dar gracias a Dios por tu llegada, me maravillas y me haces sentir completa, esto es para ti.

Mamá con tanta valentía me has enseñado a ser una mujer libre e independiente, que no tiene miedo de nada.

Papá por escucharme y enseñarme a tener grandes expectativas de vida.

Ponch siendo más que mi hermano mi amigo fiel, gracias por estar siempre a mi lado.

Sony mil gracias por todo tu cariño mostrándome siempre a no olvidar sonreír.

A todos mis tíos que siempre me han dado buenos consejos y todo su cariño: Edith, Luz Ma., Lalo, Estela, Arturo, Sandra, Armando, Chuchena, Chema y Socorro.

Mis queridísimos primos, aliados y amigos: Lucy, Lalito, Mary, Viol, Ale, Alai, Ili, Ricky, Rodrigo, René y Alonso.

Amigos hicieron que esta experiencia fuera mística e inigualable muchas gracias los quiero mucho a todos: Jaz, Cyn, Marce, Montse, Jaime, Monch, Dan, Adrián, Isma, Diego, Miriam, Robert, Aza y Ma. Fer.

## **Dra. Andrea Trejo**

Gracias por la oportunidad de trabajar a su lado, ha sido muy enriquecedor. A todos los chicos del Laboratorio por su gran apoyo y amistad.

A todos por ayudarme a no perder el camino y guiarme cada uno a su manera.

***Luz Adriana Ramírez Orozco.***

**CONTENIDO****Resumen**

	<b>Página</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>4</b>
2.1 Generalidades del mango.	4
2.1.1 Clasificación botánica.	4
2.1.2 Variedades.	5
2.1.3 Producción nacional.	5
2.1.4 Composición química.	7
2.2 Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración.	8
2.2.1 Respiración y producción de etileno.	10
2.2.2 Cambios en el aroma.	11
2.2.3 Cambios en el color.	11
2.2.4 Cambios en el sabor.	12
2.2.5 Cambios en vitaminas.	13
2.2.6 Cambios en la firmeza.	13
2.2.7 Acción de las enzimas durante la maduración.	13
2.2.7.1 Mecanismos de reacción de PME y PG.	15
2.2.7.2 Sustratos de enzimas pécticas.	16
2.3 Pérdidas postcosecha.	17
2.3.1 Enfermedades.	17
2.3.2 Plagas.	20
2.4 Plan de trabajo para el tratamiento y certificación de mangos mexicanos para su exportación a estados unidos (USDA, APHIS-IS, 2003).	21
2.4.1 Tratamientos hidrotérmicos para el control de la mosca de la fruta.	23
2.5 Irradiación.	23
2.5.1 Irradiación en alimentos.	23
2.5.2 Fuentes de irradiación.	26
2.5.3 Dosis absorbida.	28
2.5.3.1 Ventajas de los alimentos irradiados.	30



2.5.3.2 Limitaciones de los alimentos irradiados	31
2.5.4 Irradiación de frutas y hortalizas.	32
2.5.5 Principales trabajos de investigación.	33
2.5.6 Legislación sobre irradiación en México y Estados Unidos.	34
2.5.7 Normas de irradiación en México y Estados Unidos.	35
<b>3. Objetivos</b>	<b>37</b>
<b>4. Materiales y métodos</b>	<b>38</b>
4.1 Secuencia metodológica.	38
4.2 Material biológico.	39
4.3 Tratamiento de las muestras.	39
4.4 Descripción del sistema de irradiación gamma ( $\gamma$ ).	40
4.5 Tratamientos de irradiación.	41
4.6 Caracterización física, química y fisiológica del mango a temperatura ambiente.	41
4.7 Efecto del estado de madurez del mango en respuesta al tratamiento de irradiación.	42
4.8 Efecto de la irradiación gamma en parámetros de calidad almacenados a 20°C y 13°C.	43
4.9 Efecto del tratamiento por irradiación gamma y en las actividades enzimáticas de Pectin metil esterasa (PME) y los cambios en la firmeza durante el proceso de maduración del mango 'Manila'.	45
4.10 Efecto de la irradiación gamma sobre las características sensoriales en mango almacenado en refrigeración (13°C) y a temperatura ambiente (20°C).	46
4.11 Métodos analíticos.	47
4.11.1 Parámetros químicos.	47
4.11.2 Parámetros de calidad.	48
4.11.3 Parámetros fisiológicos.	51
4.11.4 Parámetros bioquímicos.	51
4.12 Análisis Estadístico.	52



<b>5. Resultados y discusión</b>	<b>53</b>
5.1 Evaluación de las características físicas, químicas y fisicoquímicas del mango variedad 'Manila'.	53
5.2 Efecto del estado de madurez del mango de la variedad 'Manila' procedente del estado de Guerrero (100% verdes) y del estado de Sinaloa (10% amarillos-90% verdes) en la respuesta del tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ ).	55
5.2.1 Efecto en los parámetros de calidad.	55
5.2.2 Efecto en los parámetros fisiológicos.	65
5.3 Efecto del tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ ) en los parámetros de calidad y fisiológicos en mango 'Manila' almacenados a 13°C y 20°C (100% verdes) procedentes del estado de Guerrero.	69
5.3.1 Efecto en los parámetros de calidad.	69
5.3.2 Efecto en los parámetros fisiológicos.	98
5.3.3 Efecto de la irradiación gamma ( $\gamma$ ) en la actividad de la enzima Pectin metil esterasa (PME) en mango 'Manila' almacenados a 13°C y 20°C.	100
5.3.3.1 Correlación entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 20 y 13°C.	103
5.4 Análisis sensorial.	105
<b>6. Conclusiones</b>	<b>116</b>
<b>7. Recomendaciones</b>	<b>118</b>
<b>8. Referencias</b>	<b>119</b>
<b>9. Abreviaturas</b>	<b>136</b>



**Índice de tablas**

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Clasificación botánica del mango.	5
2	Composición química del mango 'Manila'.	7
3	Valor nutricional del mango 'Manila'.	8
4	Cambios asociados a la maduración.	9
5	Enfermedades del mango.	17
6	Plagas del mango.	21
7	Estudios sobre el efecto de la irradiación gamma en diferentes frutos.	33
8	Distribución de lotes de acuerdo al diseño experimental 1.	43
9	Distribución de lotes de acuerdo al diseño experimental 2.	43
10	Diseño de control de temperaturas.	44
11	Atributos evaluados para cada tratamiento.	46
12	Características físicas de mango 'Manila'.	53
13	Composición química del mango variedad 'Manila'.	54
14	Parámetros fisicoquímicos del mango variedad 'Manila'.	55
15	Correlación entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 20°C.	103



<b>16</b>	Correlación entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 13°C.	104
<b>17</b>	Parámetros sensoriales evaluados en el mango 'Manila' almacenados a 20°C	108
<b>18</b>	Parámetros sensoriales evaluados en el mango 'Manila' almacenados a 13°C.	111

**Índice de figuras**

<b>Número</b>		<b>Página</b>
1	Árbol de mango.	4
2	Producción nacional de mango 'Manila' (Toneladas).	6
3	Producción de mango 'Manila' en México (Toneladas).	7
4	Estructura molecular de la pectina y puntos de ataque de las enzimas pectolíticas.	14
5	Símbolo internacional de irradiación de alimentos.	26
6	Instalación comercial automática de irradiación con cobalto <sup>60</sup> .	28
7	Cuadro metodológico.	38
8	Mango variedad 'Manila'.	39
9	Selección de mango 'Manila'.	39
10	Planta de irradiación gamma (Sterigenics', partes del irradiador.	40
11	Aplicación de Irradiación (A) Mangos 'Manila' irradiados y (B) dosímetros de alanina utilizados en el mapeo de frutos.	41
12	Mango 'Manila'	42
13	Mangos almacenados a 20°C.	44
14	Mangos almacenados en la cámara de refrigeración.	45
15	Escala hedónica de prueba de aceptación.	47



16	Refractómetro manual.	49
17	Potenciómetro manual.	49
18	Penetrómetro manual.	50
19	Colorímetro MINOLTA.	51
20	Analizador de gas.	51
21	Espectrofotómetro marca Termo Spectronic.	52
22	Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el pH de mango 'Manila' en diferente estado de madurez <b>(A)</b> 100% verde (Guerrero) y <b>(B)</b> 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.	57
23	Efecto de la irradiación gamma sobre la acidez de mango 'Manila' en diferente estado de madurez <b>(A)</b> 100% verde (Guerrero) y <b>(B)</b> 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.	59
24	Efecto de la irradiación gamma sobre los sólidos solubles (°Bx) 'Manila' en diferente estado de madurez <b>(A)</b> 100% verde (Guerrero) y <b>(B)</b> 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.	61
25	Efecto de la irradiación gamma sobre la firmeza de mango 'Manila' en diferente estado de madurez <b>(A)</b> 100% verde (Guerrero) y <b>(B)</b> 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a	



	temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.	64
<b>26</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la respiración de mango 'Manila' en diferente estado de madurez <b>(A)</b> 100% verde (Guerrero) y <b>(B)</b> 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente.	66
<b>27</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre el pH de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	70
<b>28</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la acidez de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	72
<b>29</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre los sólidos solubles (°Brix) de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	74
<b>30</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la firmeza de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	76
<b>31</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la pérdida de peso de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	78
<b>32</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la luminosidad externa (L) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	80
<b>33</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la luminosidad interna (L) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	82
<b>34</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre el color externo (Tono) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	84



<b>35</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre el color interno (Tono) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	85
<b>36</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre el color externo (Croma) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	87
<b>37</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre el color interno (Croma) durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	88
<b>38</b>	Mangos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C) el primer día posterior al tratamiento.	90
<b>39</b>	Mangos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C).	91
<b>40</b>	Mangos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C).	92
<b>41</b>	Mangos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A) temperatura ambiente (20°C) y B)</b> refrigeración (13°C).	93
<b>42</b>	Mangos abiertos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C) el primer día posterior al tratamiento.	94
<b>43</b>	Mangos abiertos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C).	95
<b>44</b>	Mangos abiertos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C).	96



<b>45</b>	Mangos abiertos variedad 'Manila' irradiados por las diferentes dosis y almacenados: <b>A)</b> temperatura ambiente (20°C) y <b>B)</b> refrigeración (13°C).	97
<b>46</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la respiración de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	99
<b>47</b>	Efecto de la irradiación gamma sobre la actividad enzimática de Pectinmetilesterasa (PME) de mango 'Manila' durante su almacenamiento a <b>(A)</b> 20°C y <b>(B)</b> 13°C.	102
<b>48</b>	Atributos sensoriales de los mangos irradiados a diferentes dosis y almacenados a 20°C.	109
<b>49</b>	Atributos sensoriales de los mangos irradiados a diferentes dosis y almacenados a 13°C.	112



## **RESUMEN**

En el presente trabajo se evaluó el efecto del tratamiento por irradiación gamma) en mangos de la variedad 'Manila' sobre los parámetros de calidad, fisiológicos y en la actividad enzimática de pectin metil esterasa (PME) almacenados a temperatura ambiente (20°C) y en refrigeración (13°C).

Los mangos utilizados fueron de la variedad 'Manila' procedentes de Sinaloa y Guerrero, los cuales fueron irradiados a 150, 575 y 1000 Gy almacenados a 20 y 13°C. Se evaluó el efecto de las diferentes dosis de irradiación gamma en los parámetros de calidad (pH, acidez, color, firmeza, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO<sub>2</sub>), y sensoriales (sabor, textura, color, aroma, apariencia). Además, se determinó la actividad enzimática de pectin metil esterasa (PME) y su relación con los cambios en la firmeza durante el proceso de maduración del mango.

En los resultados obtenidos se encontró que el tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ ) fue efectivo para prolongar la vida útil y mantener los parámetros de calidad del mango sin afectarlos, registrándose un incremento moderado en la respiración en los frutos tratados a 1000 Gy almacenados a 20 y 13°C.

Las dosis de irradiación gamma que permitieron establecer las condiciones del tratamiento que no afectara la calidad fueron las dosis de 150 y 575 Gy, para ambas condiciones de almacenamiento. También se demostró que el empleo de la refrigeración a 13°C ayudó aún más a mantener dichos parámetros y a prolongar la vida útil del mango.

Los tratamientos por irradiación gamma permitieron disminuir y/o mantener la actividad enzimática de pectin metil esterasa (PME) durante el proceso de maduración de los mangos, siendo la dosis de 1000 Gy la que mayor efecto presentó en la inhibición enzimática. También se encontró una relación entre esta enzima y la firmeza del mango; debido a la degradación enzimática en la pared celular.





Se concluye que la irradiación gamma ( $\gamma$ ) puede ser un tratamiento cuarentenario adecuado para el mango 'Manila' destinado a exportación, ya que no afecta la calidad del fruto y en combinación con la refrigeración asegura una mayor calidad y vida útil, lo cual es muy importante para la exportación de este producto.



### 1. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera Indica L.*) es originario del sur y sureste de Asia y es uno de los más importantes frutos tropicales y subtropicales en términos de producción, superficie y popularidad (Barret *et al.*, 2005). El mango constituye uno de los cultivos de mayor importancia que se han venido desarrollando, con una gran demanda en el mercado tanto nacional como internacional; esto principalmente derivado del consumo en fresco, así como también para la utilización de procesos industriales para la producción de jugos, néctares, mermeladas, entre otros. Los frutos del mango constituyen un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitaminas A y C, minerales, fibras y antioxidantes; siendo bajos en calorías, grasas y sodio (PROSERCO, 2006).

En México, el mango de mayor importancia es la variedad 'Manila' y en el 2008 se produjeron 147 mil 954 toneladas y se exportaron 82 mil toneladas, por ello es considerado como el principal exportador a nivel mundial, con el 24% del total, e India se ubica en el segundo lugar. El valor de las exportaciones es de más de 1 millón de dólares para México, Tailandia e India (FAO, 2005). En cuanto a la superficie de los huertos de mango registrados para la exportación actualmente es de 21 mil 350.85 hectáreas, de las cuales 656.25 corresponden la zona centro; 3 mil 182.50 a la zona norte y 17 mil 512.10 hectáreas a la zona sur. En el presente año durante la temporada anterior la producción se dividió de la siguiente manera 103 mil 726 toneladas, con un rendimiento de 5.93 toneladas por hectárea, en la zona sur; 7 mil 528 toneladas para rendimiento de 10 toneladas por hectárea y finalmente 36 mil 700 toneladas en el norte para un rendimiento mayor que alcanzó las 12.57 toneladas por hectárea (SIAP-SAGARPA, 2009).

El mango por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones adversas, es uno de los frutales más ampliamente distribuidos en el país; por lo que la mayor parte de la producción nacional proviene de huertos de traspatio, sin embargo existen pocos huertos comerciales. Históricamente los productores de mango 'Manila' han evitado el uso de tratamientos hidrotérmicos por la creencia de que esta variedad no lo resiste, y por ende habían renunciado a su posible exportación (PROSERCO, 2006). Sin embargo, en Abril de 2006 México y EUA, firmaron un acuerdo para usar la irradiación como tratamiento postcosecha en frutas y vegetales para exportación (Food y Water Watch, 2006).



Como muchas otras frutas tropicales, el mango se daña por las bajas temperaturas durante el almacenaje a 13° C el proceso de maduración no se detiene completamente y el período de almacenaje se reduce. Los problemas de calidad son evidentes tras el transporte de la fruta, cuando el tiempo transcurrido entre la cosecha y el consumo alcanza 35 días.

Mangos recién cosechados, almacenados a 18-22° C, alcanzan el estado blando comestible en 8-10 días. Ante tal situación, la utilización de la irradiación gamma como tratamiento cuarentenario y un posterior almacenamiento refrigerado (13°C) permite extender la vida útil del fruto en fresco para su comercialización (Yusef *et al.*, 2004).

El mango presenta una alternativa atractiva para ser comercializado. Sin embargo, el mango al igual que el resto de los frutos, al ser procesado, disminuye su vida de anaquel, debido al rápido deterioro y al oscurecimiento de su superficie (González-Aguilar, *et al.*, 2006).

Por lo anterior, la irradiación gamma con Cobalto 60 es una alternativa viable para la conservación de frutos como el mango (Belloso y Soliva, 2006). La utilización de radiación con Co<sup>60</sup> para el tratamiento cuarentenario de la fruta es una alternativa tecnológica. Los estudios realizados para el control de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata* Wiedemann) han obtenido resultados alentadores para el empleo de esta técnica. El grupo FAO-OIEA-OMS ha establecido que la condición cuarentenaria efectiva es la de lograr a través de la irradiación de las frutas que los estadios de los insectos presentes o infestantes deben alcanzar la condición de incapacidad para volar, alimentarse y reproducirse (González-Aguilar, *et al.*, 2005).

La irradiación de frutas con fines cuarentenarios, con dosis que no superan los 300 Gy, resulta una excelente alternativa para ser comercialmente aplicada para su exportación (Kaupert, 1992). El propósito es provocar la muerte del estadio infestante de los frutos, así como evitar la propagación de las principales enfermedades y plagas del mango como son la mosca de la fruta, antracnosis, la mancha negra e incluso el *Colletotrichum gloeosporioides*, un importante patógeno postcosecha (FDA, 1997).



La irradiación es una herramienta que sirve como complemento a otros métodos para garantizar la seguridad y aumentar la vida en anaquel de los alimentos. Cuenta también con la aprobación de importantes organismos internacionales, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización para la Alimentación y la agricultura (FAO) y la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) (Narvaiz, 2000).

La irradiación de alimentos es altamente reconocida como un método para reducir pérdidas postcosecha y asegurar una mejor higiene. La irradiación es efectiva para preservar la vida útil de los alimentos además de inactivar a los microorganismos presentes (Lozano, 2006).

Hoy en día, más de 40 países han aprobado más de 100 artículos alimentarios irradiados o grupos de alimentos para consumo, tanto de forma incondicional o restringida; de estos países, 25 han aprobado la producción comercial de algunos alimentos (Barbosa, 1998).

En trabajos de investigación se han estudiado diversas frutas y vegetales en donde su vida útil puede prolongarse considerablemente combinando la refrigeración y dosis bajas de irradiación que no alteran el sabor ni la textura. Muchos microorganismos alterantes se destruyen con dosis inferiores a 5 kGy. Varias frutas frescas, incluyendo fresas, mangos y papayas, se han irradiado, etiquetadas y comercializadas, observándose una gran aceptación de los mismos por parte de los consumidores (Morton, 1997).

En el presente proyecto, la irradiación como un procedimiento postcosecha se ha diseñado para ampliar la fase preclimatérica del mango recolectado a la vez que se puede transportar y manejar con facilidad desde los centros de producción a los centros de consumo, y luego madurar dependiendo de los requerimientos del mercado dando como resultado un incremento en la vida del mercado del producto y su posible exportación.

El objetivo del presente trabajo es evaluar los parámetros de calidad en mango de la variedad 'Manila' provenientes del estado de Guerrero que permitan establecer las condiciones para la aplicación de irradiación gamma ( $\gamma$ ) a nivel comercial y que permita su exportación a los Estados Unidos.



# ANTECEDENTES





## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Generalidades del mango

*Mangifera indica L.*, conocido comúnmente como mango, es un árbol siempre verde de tamaño de mediano a grande que típicamente crece a una altura de 25 m con una copa redondeada y muy densa, con hojas verde oscuro y un tronco robusto con corteza gruesa y áspera (figura 1) (Parrota, 1993).

El Mango (*Mangifera indica L.*) es uno de los frutos de mayor importancia ya que ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas (Shaw *et al.*, 1998).



Figura 1. Árbol de Mango.

#### 2.1.1 Clasificación botánica

*Mangifera indica L.*, es el miembro más importante de los *Anacardiaceae* o familia del marañón. La mayoría de todas las especies de la familia se caracterizan por los canales de resina y muchos son famosos por su savia irritante y venenosa, que puede ocasionar dermatitis severa.

El género *Mangifera* comprende más o menos 50 especies nativas del sureste de Asia o las islas circundantes, excepto una, *M. africana* que se encuentra en África. Sólo 3 ó 4 especies del grupo producen frutas comestibles; sin embargo, muchas de las otras especies pueden ser de un valor potencial para fines de mejoramiento, puesto que ellas poseen flores con 5 estambres fértiles (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación botánica del Mango.

Nombre científico	<i>Mangifera indica</i> Linnaeus
División	<i>Phanerogamae</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledonae</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anacardiineae</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Indica</i>

Fuente: Shaw *et al.*, (1998).

### 2.1.2 Variedades

Como resultado del proceso de selección y mejoramiento que se ha llevado a cabo a través del tiempo, y más intensamente a partir del siglo pasado, existen numerosos cultivares o variedades con importancia comercial desarrollados en distintas partes del mundo. Entre las variedades que se cultivan y aprovechan comercialmente en nuestro país están: 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Ataulfo', 'Kent', 'Keitt' y 'Manila' (Prieto *et al.*, 2005).

### 2.1.3 Producción nacional

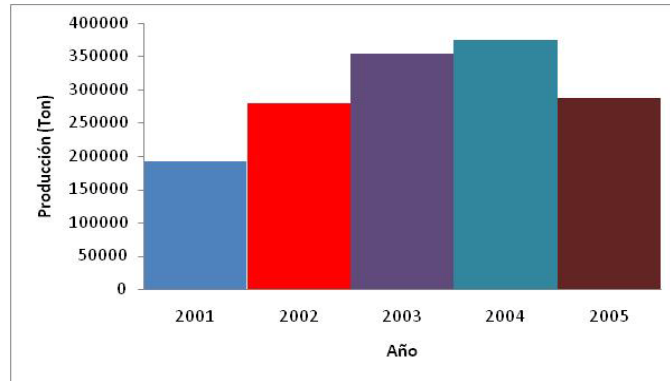
En México, en el 2008 se produjeron 147 mil 954 toneladas y se exportaron 82 mil toneladas, por ello es considerado como el principal exportador a nivel mundial, con el 24% del total, e India se ubica en el segundo lugar. El valor de las exportaciones es de más de 1 millón de dólares para México, Tailandia e India (FAO, 2005).

En cuanto a la superficie de los huertos de mango registrados para la exportación actualmente es de 21 mil 350.85 hectáreas, de las cuales 656.25 corresponden la zona centro; 3 mil 182.50 a la zona norte y 17 mil 512.10 hectáreas a la zona sur. En el presente año durante la temporada anterior la producción se dividió de la siguiente manera 103 mil 726 toneladas, con un rendimiento de 5.93 toneladas por hectárea, en la



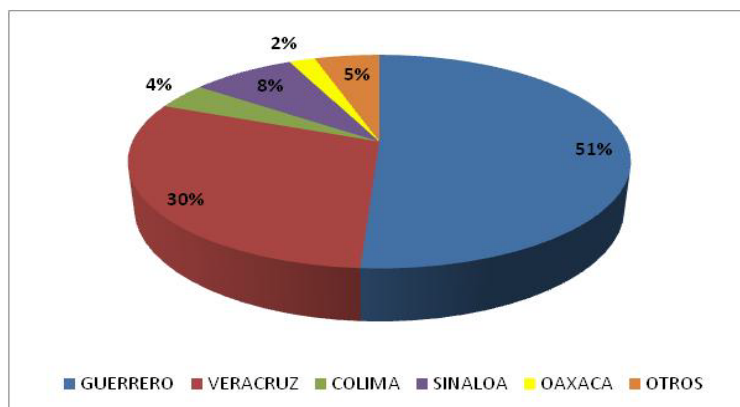


zona sur; 7 mil 528 toneladas para rendimiento de 10 toneladas por hectárea y finalmente 36 mil 700 toneladas en el norte para un rendimiento mayor que alcanzó las 12.57 toneladas por hectárea (SIAP-SAGARPA, 2009). Respecto a la producción de mango en México, la variedad más importante es el ‘Manila’, en el 2005 se produjeron 286,881.37 toneladas (figura 2). Los subsecuentes lugares en orden de importancia se encuentran las variedades ‘Haden’, ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’, ‘Criollo’, ‘Keitt’, ‘Manililla’ y ‘Paraíso’.



**Figura 2.** Producción Nacional de mango ‘Manila’ (Toneladas).  
Fuente: SIAP-SAGARPA (2007).

En el 2007 el principal estado productor fue Sinaloa con 334,292 toneladas seguido de Guerrero con 297,646 toneladas; sin embargo los años anteriores Veracruz tuvo este lugar con producciones superiores, con un máximo en el 2001 de 191,069 toneladas, año en el cual el estado de Guerrero no figuró (figura 3).



**Figura 3.** Producción de mango ‘Manila’ en México (Toneladas).  
Fuente: SIAP-SAGARPA (2007).



### 2.1.4 Composición química

En la Tabla 2 se muestra la composición química del mango. El mango es una buena fuente de vitaminas A, C y E. El contenido de vitamina C en la cáscara es alto, mientras que en la pulpa disminuye conforme avanza la maduración.  $\beta$ -caroteno (pro vitamina A) representa alrededor del 60% del contenido total de carotenoides.

Algunos de los aminoácidos esenciales presentes incluyen lisina, leucina, valina, arginina y fenilalanina. El almidón en la pulpa aumenta constantemente a partir de la cuarta semana aproximadamente. La acidez titulable aumenta hasta la mitad del desarrollo del fruto para luego disminuir abruptamente en las etapas finales del desarrollo. La relación de azúcares no reductores (sacarosa) a reductores (glucosa y fructuosa) se incrementa durante la maduración de la fruta (Ornelas y Araiza, 2006).

Hallazgos recientes demuestran que tiene alto contenido en antioxidantes anti cancerígenos y fenoles. Históricamente, han sido relatados los empleos médicos de la savia (látex), flores, semillas y hojas para el empleo como astringentes, tratando la diarrea, hemorragias debido a fiebre, hipertensión y hemorroides (Janinck y Paull, 2008).

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

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>(g/100g)</b>
Agua	81.00
Grasa	0.20
Proteína	0.50
Ceniza	0.32
Azúcar	15.30
Fibra	1.50

Fuente: Janick y Paull (2008).

**Tabla 3.** Valor nutricional del mango 'Manila'.

<b>Valor nutricional</b>	<b>(mg/100g)</b>
Calcio	9.0-25.0
Potasio	156.0
Fósforo	10.0-15.0
Hierro	0.10-0.20
Magnesio	9.0
Tiamina	0.058
Carotenos totales	900-9000
B- carotenos	270-4700
Riboflavina	0.057
Niacina	0.584
Vitamina C	14.0-62.0
Vitamina E	1.12
Vitamina A (IU/100g)	765

Fuente: Janick y Paull (2008).

## **2.2 Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración**

Cuando el fruto acaba de crecer, acontece la maduración, en el cual se producen múltiples reacciones bioquímicas asociadas a un incremento respiratorio y con emisión de etileno que provoca el paso del fruto inmaduro a maduro (Herrero y Guardia, 1992).

Debido a que los tejidos maduros sufren una serie de acontecimientos catabólicos que conducen a la degradación diversas estructuras celulares, maduración mucho tiempo fue interpretada como solamente una temprana etapa de senescencia (Sacher, 1973).

Observaciones más recientes de cambios orquestados de la síntesis de proteína y la transcripción génica han conducido a la consideración del proceso de maduración como una etapa posterior de diferenciación de tejido (Baker 1997; Fox, 1991).



Sin embargo, el madurar todavía comprende cierto proceso catabólico común a la senescencia, y apresura el fallecimiento inminente de muchos tejidos de la fruta. Sería sorprendente de verdad si el madurar no dependiera de la interacción de diferenciación controlada y catabolismo. Algunos cambios asociados con la maduración de la fruta son catalogados en la tabla 4:

**Tabla 4.** Cambios asociados a la maduración.

Incremento de la síntesis de etileno.
Disminución de la biosíntesis de poliaminas.
Incremento de producción de antocianinas.
Acumulación de licopeno y B- caroteno en gránulos osmofílicos.
Incremento de la tasa respiratoria, actividad de fosfofructoquinasa y contenido de fructuosa-2,6-bifosfato.
Despolimerización del almidón.
Incremento de la actividad de la enzima málica.
Cambio del patrón de la síntesis de polipéptidos.
Disminución del contenido de fosfolípidos.
Alteración de la permeabilidad de la membrana a iones y pequeñas moléculas.
Aparición de actividad y acumulación de endopoligalacturosas.
Cambios en la actividad de pectin metilesterasa y redistribución de la actividad entre formas moleculares.
Movilización de calcio.
Síntesis de aromas, en frutos verdes hay menos aromas y diferentes que en la madurez.

**Tabla 4.** Cambios asociados a la maduración (continuación).

Pérdida de vitamina C.
Disminución de los elementos minerales.
Pérdida de acidez.
Pérdida de astringencia.
Pérdida de dureza (de protopectinas insolubles a pectinas solubles).

Fuente: Fox (1991); Herrero y Guardia (1992).

Algunos de los cambios que ocurren en el mango durante su maduración después de la cosecha son: (Jethro y Harvey, 1988).

- Incremento de la respiración, transpiración y producción de calor a un pico y después disminuye.
- Cambio de color amarillo-verdoso a amarillo.
- El color de la pulpa cambia de amarillo brillante a amarillo oscuro o naranja.
- Incremento de carotenos, sólidos solubles, pH, azúcares totales y sacarosa.
- Disminución de acidez, sólidos insolubles y almidón.
- Sólidos totales permanecen constantes
- Los mangos producen relativamente pequeñas cantidades de etileno (0.1 a 2 microlitros por kilogramo por hora) en asociación con su maduración

### **2.2.1 Respiración y producción de etileno**

La respiración es un proceso metabólico en el cual los frutos consiguen energía para su actividad, haciendo combustión de sustratos (azúcares). Los glúcidos y lípidos, en presencia de O<sub>2</sub>, se van degradando hasta emitir CO, H<sub>2</sub>O y ATP (energía). El almidón se hidroliza aumentando la sacarosa; en general, en el fruto se produce un agotamiento de los glúcidos en los tejidos (Herrero y Guardia, 1992).

De acuerdo a su patrón respiratorio los frutos se dividen en climatéricos y no climatéricos (Flores, 2000).



El mango es una fruta climatérica que en una etapa avanzada de la maduración muestra un característico ascenso en la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno. Las tendencias de maduración y la actividad respiratoria varían según la variedad del mango, la condición climatológica y la localidad.

El etileno  $\text{C}_2\text{H}_4$  es una fitohormona naturalmente producida por las plantas; afecta su crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia a concentraciones bajas como 0.01 ppm (Flores, 2000).

La metionina induce la formación del etileno a su vez estimulando la activación o formación de: peroxidasa, amilasa, pectin metil esterasa, que tienen un papel fundamental en la maduración (Herrero y Guardia, 1992).

Las enzimas involucradas en la biosíntesis del etileno así como en la producción disminuyen durante la maduración, mientras que el contenido de ACC, que es el precursor del etileno, aumenta en diferentes tejidos (piel, mesocarpio exterior e interior) (Tucker y Grierson, 1987).

Un repentino aumento de este gas ocurre durante la maduración del mango y favorece su envejecimiento. La producción de etileno y  $\text{CO}_2$  que caracteriza al mango es considerada baja e intermedia, respectivamente (Ornelas y Araiza, 2006).

### **2.2.2 Cambios en el aroma**

Durante la maduración se producen ciertos compuestos volátiles que son los que proporcionan a cada fruta su aroma. La formación de aromas depende en gran medida de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche (Jethro y Harvey, 1988).

### **2.2.3 Cambios en el color**

La maduración de las frutas generalmente va unida a una variación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con la descomposición de la clorofila, de modo que quedan al descubierto otros colorantes que antes enmascaraba dicho compuesto. Además, aumenta la producción de colorantes rojos y amarillos característicos de las frutas maduras. El contenido de carotenos, por ejemplo, se incrementa fuertemente en los cítricos y el mango durante la maduración. La formación de



otros colorantes como las antocianinas, suele estar activada por la luz (Jethro y Harvey, 1988).

#### **2.2.4 Cambios en el sabor**

##### **Azúcares**

Con la maduración aumenta el contenido de hidratos de carbono sencillos y el dulzor típico de las frutas maduras (Herrero y Guardia, 1992). En mangos maduros, la glucosa, la fructuosa y la sacarosa constituyen la mayoría de de los monosacáridos y se encuentran distribuidos en concentraciones similares. La hidrólisis de los gránulos del almidón en el cloroplasto continúa hasta la maduración (Shashirekha y Patwardhan, 1976).

##### **Ácidos**

Los ácidos van disminuyendo con la maduración. Desaparece el sabor agrio y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros (Jethro y Harvey., 1988). Durante la maduración de los mangos hay una disminución de la acidez, cambiando el pH de 2.2 a 5.5. Se ha reportando que los contenidos de los ácidos cítrico, málico y ascórbico en 10, 40 y 2.5 veces respectivamente (Pantástico, 1987).

Otros compuestos relacionados con el sabor en el mango son los compuestos fenólicos: los ácidos fenólicos, proporcionan acidez, los flavanos astringencia y las flavonas amargor (Hobson, 1993).

Los alkenilresorcinoles son polifenoles del mango detectados en la piel y la pulpa, predominante, de frutos inmaduros y disminuyen en cantidad durante el proceso de la maduración. Estos compuestos parecen ser importantes en la resistencia contra patógenos fúngicos de frutos inmaduros (Lizada, 1993; Gómez- Lim, 2000).



### **2.2.5 Cambios en vitaminas**

#### **Vitamina C**

En general, las frutas pierden vitamina C cuando maduran en el árbol y durante el almacenamiento; en este caso, la pérdida depende en gran medida de la temperatura, siendo mucho menor si ésta es cercana a 0° C (Herrero y Guardia, 1992).

#### **Provitamina A**

Esta vitamina es muy sensible a la oxidación por contacto con el oxígeno del aire, por lo que el pelado, troceado y batido de frutas, debe realizarse justo antes de su consumo.

Activación de enzimas como: Amilasa  $\alpha$  y  $\beta$ , celulasa s, antocianoglucosidasas, fosforilasas, pectin-metil esterasa, poligalacturonasa, pectin metil galacturonasa, fosfofructoquinasa, etc. (Herrero y Guardia, 1992).

### **2.2.6 Cambios en la firmeza**

La textura de las frutas depende en gran medida de su contenido en pectinas; protopectina y pectina soluble en agua. La protopectina atrapa el agua formando una especie de malla, y es la que proporciona a la fruta no madura su particular textura. Con la maduración, esta sustancia disminuye y se va transformando en pectina soluble, que queda disuelta en el agua que contiene la fruta, produciéndose el característico ablandamiento de la fruta madura. En algunas como la manzana, la consistencia disminuye muy lentamente, pero en otras, como las peras, la disminución es muy rápida.

La pectinmetilesterasa (PME) promueve la desmetilación y la poligalacturonasa (PG) el acortamiento de las cadenas de protopectina y compuestos pécticos en general (Tucker y Grierson, 1987).

### **2.2.7 Acción de las enzimas durante la maduración**

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 (Badui, 2006).





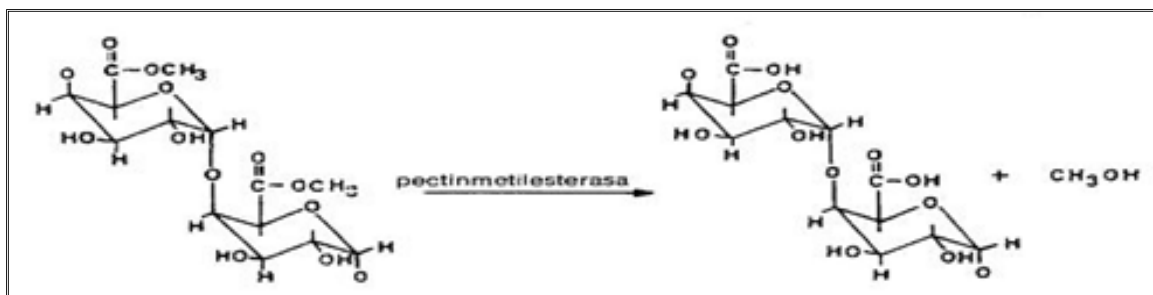
La textura de las frutas y las verduras se debe a la presencia de pectinas que forman parte de la pared celular, por lo que la acción de las pectinasas altera las características de estos alimentos. Estas enzimas se han clasificado en: pectinometilesterasas o pectinoesterasas que, al hidrolizar los enlaces éster metílico, liberan metanol y producen pectinasas de bajo metoxilo e incluso ácido poligalacturónico; son abundantes e importantes en las frutas (Badui, 2006).

Hay descritas tres clases de enzimas pécticas que actúan sobre las sustancias pécticas. La pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG) se encuentran en las plantas superiores y en los microorganismos y las pectato liasas (PL) se encuentran en los microorganismos, especialmente en aquellos que son patógenos e infectan a las plantas (Fennema, 2000).

Las enzimas pécticas pueden producir importantes cambios en la textura de las frutas y hortalizas durante la maduración y almacenamiento. La necesidad de activar o inactivar enzimas, a menudo tiene una influencia decisiva en la transformación y en la fabricación de productos derivados de frutas y verduras (Nagodawithana y Reed, 1993).

### Enzima Pectinmetilesterasa PME

La pectinmetilesterasa (PME) elimina grupos metoxilos metilados de materias pécticas y, por tanto, pertenece a la subdivisión de las enzimas que hidroliza ésteres de ácidos carboxílicos (Figura 4). PME está ampliamente presente en varias frutas. La enzima por lo general existe en múltiples formas y se encuentra en la pared celular (Shahina, 2002).



**Figura 4.** Estructura molecular de la pectina y puntos de ataque de las enzimas pectolíticas.



Las frutas cítricas son muy activas en la enzima pectinmetilesterasa, la cual, es una de las más estudiadas en la tecnología de alimentos. Además, es una de las responsables de la textura y firmeza de muchas frutas y vegetales (Wiley y Lee, 1970).

Como ya se indicó, en las frutas se encuentran fundamentalmente la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa, cuya acción conjunta en la maduración provoca que las pectinas se degraden y el fruto adquiera una textura más adecuada para el consumidor; por otra parte, una excesiva actividad enzimática causa ablandamiento notorio, pérdida de textura, propicia las condiciones para un ataque microbiano y aumenta la concentración de ácido galacturónico (Badui, 2006).

La pectinmetilesterasa hidroliza el enlace metiléster de la pectina para dar ácido péctico y metanol (Fennema, 2000). Esta enzima se denomina también pectinesterasa, pectasa, pectin demetoxilasa y pectolipasa (Whitaker, 1972).

En general, estas enzimas son activas a través de una gama limitada de valores de pH. La gama puede ser estrecha o amplia. Por ejemplo, pectinmetilesterasa específicamente hidrolizar el éster de polimetilgalacturonasa (Reed, 1966).

### **Enzima Poligalacturonasa PG**

Las endo y exo-PG hidrolizan enlaces glucosídicos de los poligalacturónidos desesterificados, produciendo una amplia variedad de azúcares y ácidos orgánicos (Bowers, 1992; García y Peña, 1995).

#### **2.2.7.1 Mecanismo de reacción de PME y PG**

La pectinmetilesterasa elimina grupos metoxilos en pectina nucleofílica por un ataque de la enzima en el éster, lo que resulta la formación de un intermediario acil-enzima con la liberación de metanol. Esto es seguido por la hidrólisis de los intermediarios de regeneración de la enzima y un ácido carboxílico (Shahina, 2002).

La acción de la pectinmetilesterasa produce un mayor número de grupos carboxilo libres que pueden interaccionar a través de iones divalentes como el calcio, para establecer estructuras tridimensionales rígidas que aumentan la dureza de los frutos que las contienen.



La pectinmetilesterasa provoca la formación de un mayor número de grupos carboxilo libres capaces de interaccionar a través de iones divalentes, como el calcio, y crear estructuras tridimensionales más rígidas que aumentan la dureza de los frutos; por esta razón, en ciertos casos es común la adición de calcio para mantener la textura de los productos, sobre todo los que han sido tratados térmicamente (Badui, 2006).

La poligalacturonasa actúa específicamente sobre ácidos pécticos o pectatos, cataliza la hidrólisis de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 del ácido galacturónico de las pectinas y da fragmentos más pequeños, actuando tanto como endo o exo-enzima. Las de tipo Exo (exo-PG 1,4- $\alpha$ -D-galacturónico) galacturonohidrolasas remueven las unidades de ácido galacturónico a partir del extremo no-reductor de los poliuronidos, mientras que las de tipo Endo (endo-PG 1,4- $\alpha$ -D-galacturónico) glicanohidrolasas clavan estos polímeros en diferentes posiciones internas (Carpita y Gibeaut, 1993).

### **2.2.7.2 Sustratos de enzimas pécticas**

El sustrato para determinar la actividad enzimática pectinmetilesterasa es la pectina a un pH de 7.5 ya que un protón se libera cuando el éster se hidroliza (Whitaker, 1972).

El efecto de la concentración del sustrato sobre la velocidad inicial de una reacción enzimática es de gran importancia, tanto para el uso práctico de las enzimas y de la teoría de las reacciones enzimáticas. Se supone que la enzima forma un complejo con el sustrato y que el complejo se disocia en la enzima libre y el producto final de la reacción enzimática. Para la mayoría de las reacciones enzimáticas, la velocidad de reacción es proporcional a la concentración de la enzima, por lo menos durante las primeras fases de la reacción. Esta proporcionalidad forma las bases de métodos utilizados para determinar la concentración de enzimas en muestras desconocidas (Reed, 1966).

El sustrato de PG en la pared celular es principalmente el homogalacturonano, el cual es secretado en la pared altamente metil-esterificado y debe ser desesterificado para ser sustrato de PG (Carpita y Gibeaut, 1993).

El pH óptimo para que la enzima PG actúe está en un rango de 4.5 a 6.0. Su actividad (grado y velocidad de hidrólisis) disminuyen con el incremento del grado de esterificación. La actividad, tal como se mencionó previamente, también depende marcadamente del



grado de polimerización del sustrato. A medida que la cadena de sustrato se acorta, disminuye la afinidad de la enzima por el mismo (John, 1972).

### 2.3 Pérdidas postcosecha

#### 2.3.1 Enfermedades

En la tabla 5 se muestra algunas de las enfermedades del mango más comunes (Guevara *et al.*, 1980).

**Tabla 5.** Enfermedades del Mango.






ENFERMEDAD	CARACTERÍSTICAS
<p data-bbox="305 701 456 730">Antracnosis</p> 	<p data-bbox="565 701 1357 1083">Enfermedad más difundida y destructiva del follaje del mango. Es producida por el hongo <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>, que aparece en forma de manchas oscuras en las flores y sus pedúnculos, destruyendo a gran número de flores; en las hojas también aparecen puntos negros, que se convierten en agujeros por destrucción de tejidos. Tiene especial importancia en las zonas húmedas, sin embargo no tiene incidencia en climas secos.</p> <p data-bbox="565 1104 1227 1134">Tratamiento: de tipo preventivo con caldo bordelés.</p>
<p data-bbox="233 1157 521 1186">Cercospora del mango</p> 	<p data-bbox="565 1157 1357 1287">Se presenta en las hojas por la pérdida de clorofila y por una exudación un tanto azucarada, debe prevenirse la invasión al primer síntoma.</p> <p data-bbox="565 1308 1357 1383">Tratamiento: caldos cúpricos en dosis débiles por serle relativamente tóxicos.</p>
<p data-bbox="293 1444 464 1474">Malformación</p> 	<p data-bbox="565 1444 1357 1726">Es una de las enfermedades más graves del mango en el mundo, causada por el hongo <i>Fusarium subglutinans</i>. Los síntomas vegetativos se manifiestan con entrenudos cortos y hojas enanas, la malformación floral se inicia con la reducción de la inflorescencia dando lugar al incremento de flores estériles.</p> <p data-bbox="565 1747 1357 1822">Tratamiento: podar del material afectado tanto vegetativo como floral y posteriormente proceder a su quema.</p>

**Tabla 5.** Enfermedades del Mango (Continuación).

<b>ENFERMEDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<p data-bbox="284 346 479 378">Mancha negra</p> 	<p data-bbox="565 298 1367 577">Es una enfermedad de post cosecha, aunque a veces puede causar problemas al follaje, flores y frutos causados por el hongo <i>Alternaria alternata</i>. Se manifiestan en el envés de las hojas, apareciendo manchas negras redondas. La enfermedad avanza y las manchas penetran en la pulpa que se oscurece y ablanda.</p> <p data-bbox="565 598 1367 724">Tratamiento: pre cosecha es aplicar aspersiones con Maneb. El tratamiento de post recolección recomienda el empleo de Procloraz.</p>
<p data-bbox="284 751 479 829">Mancha negra bacteriana</p> 	<p data-bbox="565 751 1367 976">Está causada por la bacteria <i>Xanthomonas campestris</i>. El síntoma 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.</p> <p data-bbox="565 997 1367 1186">Tratamiento: instalación de cortavientos y la poda sistemática de los brotes infectados disminuye la propagación de la enfermedad. El empleo de aspersiones cúpricas combate de manera eficaz esta enfermedad.</p>
<p data-bbox="284 1205 479 1236">Moho de hollín</p> 	<p data-bbox="565 1205 1367 1291">Se presenta en poscosecha. La causan dos posibles agentes: <i>Cannodium mangifera</i> y <i>Maliola mangifera</i>.</p>
<p data-bbox="276 1411 479 1442">Oidio del Mango</p> 	<p data-bbox="565 1411 1367 1743"><i>Oidium mangiferae</i> es uno de los agentes causales; las flores quedan cubiertas de un polvillo blanquecino grisáceo con olor a moho, éstas no se abren y la inflorescencia cae. Las hojas acaban reseccándose, según los cultivares los síntomas se manifiestan en el envés, en el haz o en ambas caras de la hoja. Puede producirse el cuarteado de la piel de los frutos, y la caída de los más pequeños.</p> <p data-bbox="565 1764 1367 1837">Tratamientos preventivos a base de azufres y el polisulfuro de potasio bastan para eliminarlo.</p>




Tabla 5. Enfermedades del Mango (Continuación).

<p>Pudrición basal</p> 	<p>Es causada por <i>Botryoaiplovia theobramae</i> y se caracteriza por podredumbre extensiva y suave que comienza por el extremo peduncular y puede pudrir el fruto entero en dos o tres días.</p> <p>Tratamiento: se recomienda cosechar la fruta en un estado verde maduro (sazón), evitar su larga espera en el campo y utilizar fungicidas efectivos contra la antracnosis.</p>
<p>Seca del Mango</p>  <p><i>Ceratocystis fimbriata</i></p>  <p><i>Hypocryphalus mangiferae</i></p>	<p>El agente causal un hongo (<i>Ceratocystis fimbriata</i>), que normalmente se asocia a su vector que es un insecto (<i>Hypocryphalus mangiferae</i>). Este hongo puede acceder también a través de las raíces, por tanto en este caso no necesita este vector. Los síntomas se manifiestan en la parte aérea con un amarillamiento, marchitez y muerte de las hojas.</p> <p>Tratamiento: se recomienda realizar podas de limpieza y la quema de las ramas marchitas y los cortes de poda tratarlos con algún fungicida.</p>
<p>Pudrición por <i>Aspergillus</i></p> 	<p>Este patógeno entra al fruto a través de heridas causadas durante o después de la cosecha .Se manifiesta por la aparición de un color amarillo en el área afectada, después el área adquiere un aspecto remojado de color café ligero. En estado avanzado se presentan zonas hundidas en el tejido del mesocarpio.</p> <p>Tratamiento: Esta enfermedad puede controlarse si la fruta se sumerge en agua caliente a 55°C durante 5- 10 minutos.</p>
<p>Pudrición bacteriana</p> 	<p>La causa <i>Pseudomonas</i>. Las frutas afectadas muestran fisuras profundas y longitudinales en la piel, por donde exuda una goma. Otra enfermedad bacteriana es causada por <i>Bacterium carotovorum</i>.</p> <p>Tratamientos con antibióticos, como tetraciclina, oxitetraciclina y cloramfenicol, son efectivos para el control.</p>



**Tabla 5.** Enfermedades del Mango (Continuación).



<p>Podredumbre del pedúnculo</p> 	<p>Es causada por <i>Diplodia natalensis</i> y se caracteriza por la aparición de lesiones de color violeta, las cuales cambian a un color café claro y luego negro. En estado avanzado produce ablandamiento de los tejidos y da a la pulpa un aspecto remojado, debido a la producción de enzimas pectinolíticas por el patógeno. El ataque empieza en el punto de unión con el pedúnculo, pero el hongo puede penetrar a través de heridas provocadas durante el manejo de la fruta.</p>
--	---

Fuente: Wood (2007); Prieto, et al., (2005).

### 2.3.2 Plagas

En la tabla 6 se exponen las principales plagas que se encuentran en el mango (Plan reactor sistema nacional mango, 2005).

**Tabla 6.** Plagas del mango.

PLAGA	CARACTERÍSTICAS
<p><i>Coccidios</i></p>  <p>Cochinilla blanca</p>  <p>Cochinilla de la tizne</p>	<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.</p>

Fuente: Prieto, et al., (2005).





Tabla 6. Plagas del mango (continuación).

<p>Mosca de la fruta</p>  <p><i>Anastrepha leudens</i>    <i>Anastrepha obliqua</i></p>  <p><i>Anastrepha serpentia</i>    <i>Anastrepha striata</i></p>	<p>La mosca del Mediterráneo (<i>Ceratitis capitata</i>), extendida en las plantaciones de todo el mundo, y varias especies del género <i>Anastrepha</i> en Centroamérica, pues casi todos los países productores de mango son atacados por una o más especies de moscas de la fruta.</p> <p>Las hembras depositan los huevos en la pulpa del fruto dando lugar la maduración prematura del fruto originando su pudrición.</p>
<p>Polilla de las flores</p>  <p><i>Prays citri gnidiella</i></p>	<p>Dos pequeños lepidópteros, el <i>Prays citri</i>, de la familia <i>Tineoideos</i>, y el <i>Cryptoblabes gnidiella</i>, de la familia <i>Pyraloideos</i>; la primera muy específica de los agrios, y la segunda sumamente polífaga, ya que además de atacar los agrios lo hace también a la vid, al almendro, al melocotonero y a otras plantas cultivadas o silvestres, entre ellas el mango. Ambas polillas tienen tres generaciones anuales; sus orugas atacan a las flores, devorando pétalos y estambres, y roen los ovarios con la consiguiente destrucción de los frutos.</p>

**2.4 Plan de trabajo para el tratamiento y certificación de mangos mexicanos para su exportación a Estados Unidos**

El principal problema de los productores mexicanos de mango es que el fruto es hospedero de diversas especies de mosca de la fruta, lo que impide su exportación hacia los Estados Unidos, país en el que el 80% de sus importaciones proviene de México (FAO 2002), por lo que a pesar de llevar un manejo integrado contra moscas de la fruta, las normas fitosanitarias de exportación exigen la aplicación de un tratamiento hidrotérmico (TH) postcosecha que debe cumplir con el nivel de seguridad de cuarentenas para insectos plaga Probit 9 (99.9968% de mortalidad), establecido por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (Pierre y Carro, 2006). Por lo que, fue desarrollado





conjuntamente por el United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, International Services (USDA, APHIS-IS) y por la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) y es usado como una guía para el tratamiento, certificación y exportación de mangos hacia los Estados Unidos de América (USDA, APHIS-IS, 2003).

Para ingresar a los Estados Unidos, los mangos de México deben someterse a tratamiento con agua caliente, según se especifica en el Manual de Tratamientos de PPQ de APHIS, el cual se ha incorporado a los reglamentos de APHIS en 7CFR300.1. Los mangos que pesen más de 900 g no son elegibles para exportación y el tratamiento hidrotérmico se aplicará según la familia del mango y el peso; debiendo cumplir para pesos menores de 300 g tratamientos por 65 minutos a 46.1°C y 90 minutos para mayores de 300 g. Si hay algunos frutos que excedan 900 g, esta fruta no podrá tratarse ni exportarse bajo los lineamientos del programa. No efectuar el tratamiento a menos que las temperaturas de la pulpa sean de 21.1°C o mayores.

Es responsabilidad de SAGARPA: Vigilar a los organismos que auditan la aplicación de las normas NOM-023 y NOM-075. Posteriormente hacer un registro y muestreo para que se lleve a cabo la aprobación o rechazo de los lotes.

Es responsabilidad de Empacadora de mangos para la exportación (EMEX, A.C.): Acatar todos los requisitos de este Plan de Trabajo, del Acuerdo Cooperativo para la Prestación de Servicios, del Plan de Trabajo para el Manejo del Sistema Contable (Plan Financiero) y los reglamentos aplicables.

Es responsabilidad de los Productores: Cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas Fitosanitarias 023 y 075. Las huertas deben tener una delimitación definida, la cual se corroborará durante las visitas de auditorías y/o supervisión.

Deberá cumplirse lo especificado en el plan de trabajo para el tratamiento y certificación de mango mexicano, denominado "Aprobación de áreas de seguridad cuarentenaria para el manejo de embarques con sobrecarga/sobrepeso de mango certificado por USDA-APHIS-IS/SAGARPA para exportación a Estados Unidos".



### **2.4.1 Tratamientos hidrotérmicos para el control de la mosca de la fruta**

El tratamiento hidrotérmico (TH) es un proceso de transferencia de calor en estado no estacionario en el que tanto la resistencia externa a la transferencia de calor por convección como la interna por conducción tienen valores significativos. Existen soluciones analíticas para algunas geometrías regulares, todas ellas gobernadas por la ecuación de campo de Fourier, sin embargo, para frutos de geometría irregular como el mango, no existen soluciones analíticas que permitan realizar estudios de transferencia de calor durante procesos térmicos como el TH. Aún cuando la teoría de la transferencia de calor está bien establecida el diseño, estudio y optimización de los tratamientos térmicos cuarentenarios postcosecha vigentes se han realizado de manera semiempírica, resultando trabajos intensos y costosos, cuyos resultados son útiles sólo para los frutos probados a las condiciones investigadas (Pierre y Carro, 2006).

Las pérdidas económicas en el sur del país debidas a las moscas de la fruta son de decenas de millones de pesos, por lo que proporcionar herramientas que permitan establecer nuevos tratamientos como la irradiación, que eliminen los agentes causales impactará de manera significativa, económica y socialmente, en los productores de este fruto. Asegurar la calidad de los materiales tratados aumentará la posibilidad de reducir los riesgos que los productores enfrentan para su exportación (Pierre y Carro, 2006).

## **2. 5 Irradiación**

### **2.5.1 Irradiación en alimentos**

Irradiación de alimentos, proceso físico que utiliza una fuente de radiación ionizante permitida para dar una exposición intencional en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, que no exceda de las dosis permitidas en este ordenamiento (SSA,1993).

La irradiación de alimentos es un medio físico de procesado de alimentos que incluye la exposición de productos alimenticios pre-envasados o a granel mediante rayos gamma, rayos X o electrones (Barbosa, 1998).



La irradiación de los alimentos ha sido identificada como una tecnología segura para reducir el riesgo de ETA (Enfermedades Transmitidas por Alimentos), en la producción, procesamiento, manipulación y preparación de alimentos de alta calidad. Es a su vez, una herramienta que sirve como complemento a otros métodos para garantizar la seguridad y aumentar la vida en anaquel de los alimentos. La presencia de bacterias patógenas como *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* ó *Yersinia enterocolítica*, son un problema de creciente preocupación para las autoridades de salud pública, que puede reducirse o eliminarse con el empleo de esta técnica, también denominada "Pasteurización en frío" (Narvaiz, 2000).

Sobre las bases de un consenso internacional, en 1983 el Comité de la FAO/Comisión del Código Alimentario de la Organización Mundial de la Salud aceptaron la irradiación de alimentos como una tecnología segura y eficaz para el tratamiento de alimentos y adoptada por el Código de Estándar General para Alimentos Irradiados con un Código de Prácticas Asociado. Aunque la utilización de la irradiación continúa creciendo a lo largo de todo el mundo, la reacción negativa en algunos países restringe su uso corriente. La introducción en la práctica comercial es algo baja debido a que muchos gobiernos exigen datos exhaustivos que sostengan la salubridad de los alimentos irradiados, y existen procedimientos regulativos prolongados en conceder la aprobación para los alimentos o el proceso, a menudo con la participación del público. Aquí, como en otros casos, el rechazo del proceso está basado principalmente en la falta de información. Además de los muchos esfuerzos educacionales en los últimos años, son muy necesarias campañas amplias de información exigidas por la Organización Mundial de la Salud (Barbosa, 1998).

Entre las aplicaciones más importantes de la irradiación está la destrucción o reducción de bacterias patógenas en los alimentos. La vida y reproducción de estos microorganismos depende de sus ácidos nucleicos, ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico). Como son macromoléculas grandes y complicadas, son muy sensibles a la ionización y en consecuencia, bastan exposiciones relativamente bajas a la radiación y para reducir drásticamente el potencial patógeno de estas bacterias en los alimentos. Lo mismo puede decirse de las levaduras, hongos, protozoos causantes de enfermedades o alteraciones, e incluso de los virus que pueden transmitirse a través de los alimentos. La capacidad de estos microorganismos para reproducirse depende de sus ADN y ARN. Los leves cambios que origina la ionización son suficientes para impedir su



crecimiento y reproducción. La irradiación se emplea para matar los insectos y huevos, o prevenir su desarrollo, dejando a fruta lo más parecida a su estado natural como es posible. Hay otros métodos para conseguir el mismo efecto, pero no se consideran tan seguros o efectivos para eliminar estos riesgos (Morton, 1997).

La irradiación de alimentos se utilizó por primera vez en los Estados Unidos en 1921 para inactivar el parásito *Trichinella spiralis*, que contamina el músculo del cerdo. La bibliografía biomédica de las décadas 1920 y 1930 contiene numerosos artículos de los efectos de los rayos X en alimentos y constituyentes de los mismos. Hoy en día, más de 40 países han aprobado más de 100 artículos alimentarios irradiados o grupos de alimentos para consumo, tanto de forma incondicional o restringida; de estos países, 25 han aprobado la producción comercial de algunos alimentos (Barbosa, 1998).

Tradicionalmente las técnicas de procesado –al menos las que no afectan adversamente las calidades sensoriales– no son adecuadas para producir alimentos libres de bacterias patógenas. Sin embargo, la radiación gamma se puede utilizar para conseguir este objetivo. La radiación puede llegar a ser una de las más importantes tecnologías de alimentos para la protección de la salud humana desde la introducción de la pasteurización hace aproximadamente un siglo (Barbosa, 1998).

La irradiación de alimentos cuenta también con la aprobación de importantes organismos internacionales, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) (Narvaiz, 2000).

La etiqueta de los productos irradiados, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento y la Norma Oficial Mexicana correspondiente, debe sujetarse a lo siguiente. Debe aparecer el símbolo internacional de irradiación de alimentos (figura 5):



**Figura 5.** Símbolo internacional de irradiación de alimentos.

Fuente: SSA (1993).

### 2.5.2 Fuentes de irradiación

Los productos alimenticios se irradian generalmente con radiación gamma de una fuente de radioisótopos, o con electrones o rayos X generados utilizando un acelerador electrónico (Barbosa, 1998):

- \* Rayos gamma provenientes de Cobalto radioactivo  $^{60}\text{Co}$
- \* Rayos gamma provenientes de Cesio radioactivo  $^{137}\text{Cs}$
- \* Rayos X, de energía no mayor de 5 mega electrón-Volt
- \* Electrones acelerados, de energía no mayor de 10 MeV

Los 2 últimos son producidos por medio de máquinas aceleradoras de electrones, alimentadas por corriente eléctrica. De estas 4 fuentes, la más utilizada a nivel mundial, y la única disponible en nuestro país, es el Cobalto 60. Los rayos gamma provenientes de  $^{60}\text{Co}$  y  $^{137}\text{Cs}$ , poseen una longitud de onda muy corta, similares a la luz ultravioleta y las microondas; y debido a que no pueden quitar neutrones (partículas subatómicas que pueden hacer a las sustancias radioactivas), los productos y envases irradiados no se vuelven radioactivos. Los rayos gamma penetran el envase y el producto pasando a través de él, sin dejar residuo alguno. La cantidad de energía que permanece en el producto es insignificante y se retiene en forma de calor; el cual puede provocar un aumento muy pequeño de temperatura (1-2 grados) que se disipa rápidamente (Narvaiz, 2000).

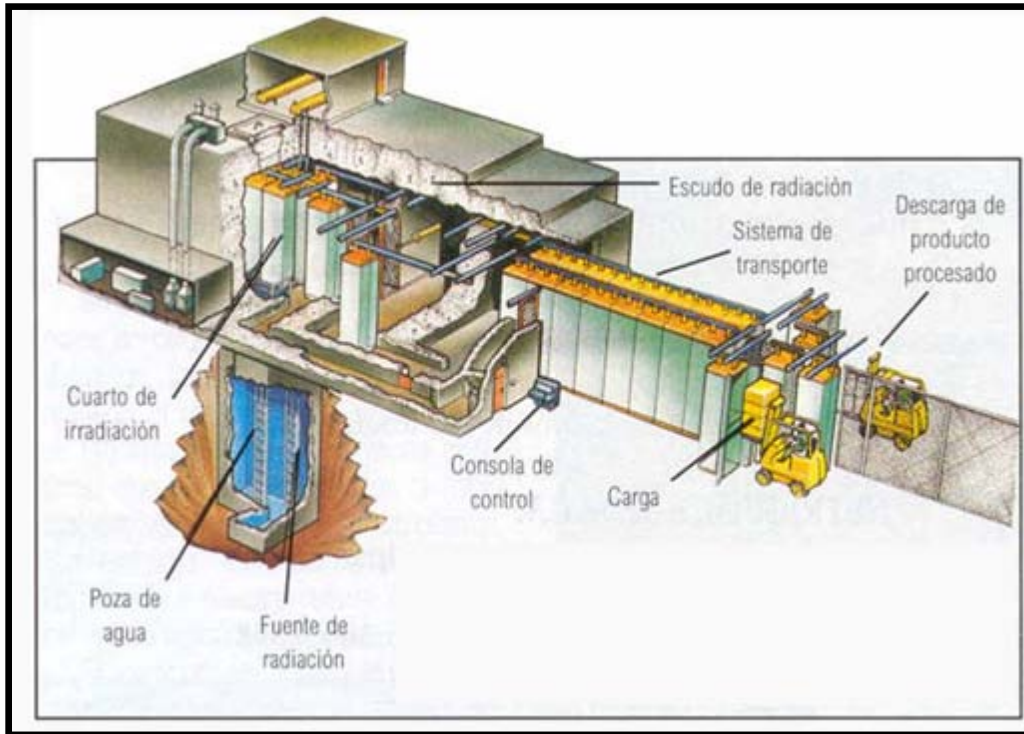


El radioisótopo utilizado en la mayoría de las prestaciones comerciales de irradiación gamma es el cobalto 60, la mayor parte del cual se produce en Canadá irradiando cobalto natural ( $^{59}\text{Co}$ ). El cesio 137 de carburante nuclear agotado es una fuente alternativa de radioisótopo, aunque en la actualidad no es muy utilizado. El coste de la radiación gamma es competitivo con otros métodos de procesado de alimentos (Barbosa, 1998).

Por razones de control de calidad, la irradiación de alimentos se aplica preferentemente en un solo lado. La razón para esta preferencia es que cuando el producto es irradiado en un solo lado, con un detector detrás del producto, es posible controlarla y asegurar de modo continuo que el haz está penetrando en el producto. El espesor práctico máximo del producto es de sólo unos 3.3 cm para materiales con densidad uno tal como el agua. Los electrones y rayos X están restringidos a energías máximas de 10 y 5 MeV, respectivamente, en aplicaciones de la irradiación de alimentos, para limitar la extensión de reacciones nucleares que inducen radioactividad en el producto irradiado. La energía media de la radiación gamma del cobalto 60, 1.25 MeV, está por debajo de este límite (Barbosa, 1998).

Las investigaciones concluyen que a estas energías, la radioactividad no es mayor que la radioactividad natural del producto alimenticio causada por  $^{14}\text{C}$  y  $^{40}\text{K}$ , y, además, la actividad inducida decae rápidamente, con un factor entre 10 y 20 durante las primeras 24 horas siguientes a la irradiación (Barbosa, 1998).

En la figura 6 se muestra un irradiador industrial para alimentos el cual consiste en una cámara con paredes de concreto de 2 m de grosor que contiene la fuente de radiación (Cobalto 60), un sistema transportador que introduce y saca el producto.



**Figura 6.** Instalación comercial automática de irradiación con cobalto 60.

El tamaño de la fuente aumenta con la dosis de irradiación y la velocidad de producción, y está dado por:

$$S = \frac{XD}{3.600F}$$

en donde  $S$  es el tamaño de la fuente (kW),  $X$  es la velocidad de producción (kg/h),  $D$  es la dosis (kGy), y  $F$  es la fracción de energía que absorbe de modo útil.  $F$  depende del diseño de la geometría de irradiación, de la forma y densidad del producto. En muchas aplicaciones los valores de  $F$  pueden ser 0.40, 0.25 y 0.05 para instalaciones de acelerador de electrones, cobalto 60 y rayos X, respectivamente. El tamaño de las fuentes de cobalto 60 se mide normalmente en curios o becquerelios (Bq): los factores de conversión son  $1 \text{ Kw} = 67.300 \text{ curios} = 2.9 \times 10^{15} \text{ Bq}$  (Barbosa, 1998).

### 2.5.3 Dosis absorbida

La dosis de radiación ionizante, cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un alimento, materias primas y aditivo alimentario, a través del proceso de irradiación (SSA, 1993).



El grado de los cambios químicos y físicos producidos cuando un alimento se halla expuesto a una radiación de energía elevada viene determinado por la energía absorbida. En el proceso de irradiación, se describe como dosis absorbida, o simplemente dosis, y está medida en unidades de kilograys (kGy) en la que un gray (Gy, de L.H. Gray) es la absorción de energía de un julio por kilogramo. El rad (1 rad= 0.01 Gy) fue muy utilizada en el pasado (Barbosa, 1998).

Existe una clasificación de acuerdo a la OMS según la dosis, a continuación se describe cada una de ellas (Narvaiz, 2000):

**Dosis Baja (hasta 1 kGy):** es usada para demorar los procesos fisiológicos, como maduración y senescencia de frutas frescas y vegetales, y para controlar insectos y parásitos en los alimentos.

**Dosis Media (hasta 10 kGy):** es usada para reducir los microorganismos patógenos y de descomposición de distintos alimentos; para mejorar propiedades tecnológicas de los alimentos, como reducir los tiempos de cocción de vegetales deshidratados; y para extender la vida en anaquel de varios alimentos.

**Dosis Alta (superior a 10 kGy):** es usada para la esterilización de carne, pollo, mariscos y pescados, y otras preparaciones en combinación con un leve calentamiento para inactivar enzimas, y para la desinfección de ciertos alimentos o ingredientes, como ser especias. Dosis específicas de radiación destruyen las células en reproducción, lo que está vivo en un alimento: microorganismos, insectos, parásitos, brotes. Por otro lado, la energía ionizante produce poco efecto sobre el producto. Los cambios nutricionales y sensoriales son comparables a los de los procesos de enlatado, cocción y congelado, y muchas veces, menores.

Existe un límite en las dosis de radiación; el máximo actualmente fijado por el Codex Alimentario es 10.000 Grays (10 kGy), aunque puede haber cambios en un futuro cercano (Earle, 2003).





- ***Radicidación***

La radicación es un tratamiento de alimentos con una dosis de radiación ionizante suficiente para reducir el número de bacterias patógenas específicas que no estén en forma de esporas hasta una población tal que no se detecta ninguna en el alimento tratado cuando es examinado por los métodos de prueba biológica reconocidos. Es un tratamiento con dosis relativamente bajas (alrededor de 0.1-8 kGy) para eliminar organismos y microorganismos patógenos que no sean virus (Barbosa, 1998).

- ***Radurización***

La radurización es el tratamiento alimentario con una dosis de radiación ionizante suficiente para incrementar su mantenimiento de calidad a causa de una reducción sustancial del número de microorganismos de deterioro específicos. Es un tratamiento con dosis alrededor de 0.4-10 kGy para mejorar la vida comercial del producto (Barbosa, 1998).

- ***Radapertización***

La radapertización es el tratamiento alimentario con una dosis de radiación ionizante suficiente para reducir el número y/o la actividad de microorganismos viables (excepto virus) hasta un nivel tal que muy pocos, quizás alguno, son detectables por los métodos de prueba bacteriológico o micológico reconocidos aplicados al alimento tratado. Es un tratamiento de irradiación con dosis alrededor de 10-50 kGy para conseguir una esterilización virtualmente completa (Barbosa, 1998).

### **2.5.3.1 Ventajas de los alimentos irradiados**

Las principales ventajas de los alimentos irradiados se pueden resumir en los siguientes (Barbosa, 1998; Molins, 2003; Murray, 1990):

1. Conserva los alimentos en una amplitud variable, determinada por el tratamiento; la irradiación de alimentos es efectiva en el control de los microorganismos de deterioro resistentes.
2. Descontamina los alimentos de bacterias patógenas, levaduras, mohos e insectos; esta descontaminación puede mejorar la calidad higiénica de los alimentos y prevenir potenciales peligrosos para la salud.



3. Controla la maduración, senescencia y la formación de brotes de frutas y hortalizas frescas.
4. Puede alterar la composición química para mejorar la calidad.
5. No produce residuos tóxicos en los alimentos.
6. Retiene el valor nutritivo de los alimentos.
7. Mantiene la calidad sensorial o se obtiene generalmente una calidad mejor que la que se obtendría con procedimientos alternativos.
8. Capacidad de reemplazar los tratamientos químicos que están cayendo bajo sospecha o que incluso están siendo prohibidos.
9. Puede reemplazar, o reducir drásticamente, la utilización de aditivos alimentarios, fumigantes y conservantes alimentarios que representan peligros potenciales para el consumidor así como para el personal de la industria que procesa los alimentos.
10. En muchos casos el tratamiento tiene lugar después del envasado, así se evita la recontaminación.
11. Es un tratamiento para productos sujetos a infestación de plagas de insectos de importancia en la cuarentena.
12. Posee una gran versatilidad de aplicaciones, tales como envases pequeños o a granel, en estado congelado o a temperatura ambiente.
13. Disminuye la velocidad de deterioro de los alimentos, una ventaja que los consumidores con el tiempo pueden encontrar atractiva.
14. Inhibe algunos procesos bioquímicos tales como la actividad enzimática en el alimento, retrasando la maduración y senescencia, ampliando así el periodo hasta que el producto alimenticio está listo para su comercialización.
15. La irradiación no solo puede retardar la maduración, sino que también la puede detener.

### **2.5.3.2 Limitaciones de los alimentos irradiados**

Las principales limitaciones de los alimentos irradiados son (Barbosa, 1998):

1. No todos los alimentos son adecuados para un tratamiento con irradiación.
2. La cáscara de los huevos no se puede irradiar para inactivar *Salmonella* debido a que la viscosidad de las claras queda afectada significativamente a la dosis que elimina de modo efectivo a la *Salmonella*, haciendo los huevos procesados como huevos de mesa inaceptables.



3. Algunas frutas pueden ablandarse y decolorarse.
4. La leche cuando se irradia adquiere un sabor desagradable debido a que los productos lácteos son particularmente susceptibles a los cambios oxidativos del aroma durante el tratamiento con radiación ionizante.
5. Muchos productos alimenticios (por ejemplo, carne, pollo, pescado) presentan dosis límite de radiación para las alteraciones organolépticas. Sin embargo, algunas de estas alteraciones pueden ser compensadas si el alimento se irradia en estado congelado.
6. Ciertos alimentos proteicos son sensibles al aroma cuando se irradian y desarrollan aromas no naturales.
7. Para las dosis recomendadas en los alimentos tratados, la irradiación de ciertos alimentos, al igual que otros procesos alimentarios de subesterilización, no eliminarán todos los microorganismos o sus toxinas. Dosis bajas de irradiación no destruirán todas las esporas bacterianas. Así carne, pollo y pescado irradiados necesitarán un adecuado control de temperatura similar a la pasteurización o almacenamiento en atmósfera controlada de estos productos.
8. Las especies que forman esporas altamente resistentes a la radiación, tal como el *Clostridium botulinum*, sobreviven a las dosis máximas aprobadas, y esto es a menudo citado como una desventaja en la irradiación de alimentos.
9. La irradiación provoca la rotura de enlaces glucosídicos en la pared celular de las frutas. Pero, el ablandamiento no es significativo (Murray, 1990).

### 2.5.4 Irradiación de frutas y hortalizas

La irradiación de alimentos es un proceso <<frío>> de conservación de alimentos que ha sido estudiado extensamente por más de 45 años. Los resultados beneficiosos, incluyendo la ampliación de la vida de almacenamiento de cultivos de raíces, desinfección de especias, frutas y cereales, reducción de la población de muchos microorganismos responsables del deterioro; retraso en la maduración de frutas; mejora de las propiedades en algunos alimentos; y la destrucción o reducción de patógenos altamente inevitables que contaminan los alimentos, especialmente los alimentos crudos de origen animal, se pueden conseguir sin la producción de radioactividad o compuestos tóxicos y sin pérdidas vitales en la calidad nutricional del producto alimenticio. Los aspectos beneficiosos de este proceso están asociados con los temas de seguridad que están sujetos a muchos debates políticos y de seguridad pública, estimulados en una amplia extensión por



individuos que a menudo están desinformados, y siembran confusión, así como ciertos grupos de defensa del consumidor con experiencia y respetados (Barbosa, 1998).

La irradiación en frutas y hortalizas es cada vez más reconocida como un método para reducir la pérdida de alimentos postcosecha y garantizar su higiene. La irradiación de los alimentos es eficaz para asegurar la conservación a largo plazo de los alimentos a través de la inactivación de microorganismos. Las frutas pueden ser conservadas por la irradiación, lo que retrasa su maduración o brotes (Lozano, 2006).

La vida útil de muchas frutas y vegetales, carne, aves, pescados y mariscos, puede prolongarse considerablemente combinando la refrigeración y dosis bajas de irradiación que no alteran el sabor ni la textura. Muchos microorganismos alterantes se destruyen con dosis inferiores a 5 kGy. Varias frutas frescas, incluyendo fresas, mangos y papayas, se han irradiado, etiquetado y comercializado, observándose una gran aceptación de los mismos por parte de los consumidores (Morton, 1997).

### 2.5.5 Principales trabajos de investigación

En la siguiente tabla (7) se muestran diferentes estudios que se han realizado en frutos que fueron tratados con irradiación gamma ( $\gamma$ ):

**Tabla 7:** Estudios sobre el efecto de la irradiación gamma en diferentes frutos.

FRUTO	CONDICIONES DE IRRADIACIÓN	EFEECTO U OBJETIVO DEL TRATAMIENTO	REFERENCIA
Mangos	0.25-0.75 kGy	Incremento de la vida comercial por la ralentización de las velocidades de maduración y de senescencia.	Ahmed <i>et al.</i> (1973).
Aguacates Hass	0.1-0.15 kGy	Maduración de frutos de aguacate 'Hass' tratados con irradiación gamma.	Arévalo <i>et al.</i> (2002).



**Tabla 7:** Estudios sobre el efecto de la irradiación gamma en diferentes frutos  
(continuación).

<b>FRUTO</b>	<b>CONDICIONES DE IRRADIACIÓN</b>	<b>EFEECTO U OBJETIVO DEL TRATAMIENTO</b>	<b>REFERENCIA</b>
Plátanos	0.20-0.40 kGy	Retraso en la maduración y consecuente incremento de la vida comercial.	Aina <i>et al.</i> (1999).
Papayas	0.25-0.50 kGy	Aumento de la vida comercial mediante el retraso de la maduración y senescencia.	Akamine y Goo (1969).
Manzanas y peras	0.25-0.60 kGy	Provocar la muerte o inhibir el desarrollo larval de <i>C. Pomonella</i> en manzanas y peras.	Yusef <i>et al.</i> (2004).
Espárragos	1-3 kGy	Efecto de la Radiación Gamma en la Actividad Metabólica del Meristemo Apical de Espárrago ( <i>Asparagus officinalis</i> ).	Sánchez <i>et al.</i> , (2007).

### **2.5.6 Legislación sobre irradiación en México y Estados Unidos**

El uso de esta técnica, aunque está más bien limitada, se encuentra autorizado en muchos países, entre ellos México y Estados Unidos. La situación en algunos de ellos se indica a continuación:

El tratamiento con energía ionizante de un alimento específico sólo puede ser autorizado si: (1) hay una necesidad tecnológica razonable, (2) no presenta peligro para la salud, (3) resulta en beneficio para los consumidores y (4) no se usa como sustituto de prácticas de higiene y salud, de buena manufactura o de práctica agrícola.



Estados Unidos aprobó en el 2002 sus legislaciones de cuarentena por irradiación permitiendo la importación de cualquier producto frutihortícola irradiado para cuarentenar 10 especies de moscas de los frutos (*Ceratitis*, *Anastrepha*, *Bactrocera*), y el gusano de la semilla del mango. Los puntos críticos de control según sus protocolos son: la dosis de irradiación; la medición de esta dosis (dosimetría); y la documentación del proceso de irradiación (Narvaiz, 2000).

En Estados Unidos, las reglamentaciones sobre alimentos permiten el uso de la irradiación en el trigo y la harina de trigo, en las papas, en 38 especias y condimentos, y en frutas frescas.

México ya entró a la era de la irradiación como tratamiento de postcosecha a través del uso del cobalto 60, lo cual permite al país exportar frutas frescas que no tenían acceso al mercado de Estados Unidos. La utilización del cobalto 60 también permite exportar, por primera vez al mercado de Estados Unidos, el mango 'Manila', ya que el tratamiento de agua caliente que se aplica para las variedades que sí la resisten, no era compatible con la delicadeza de la piel y de la pulpa de este alimento (SAGARPA, 2007).

### **2.5.7 Normas de irradiación en México y Estados Unidos**

Cada temporada SAGARPA y USDA, APHIS-IS firman el plan de trabajo para el tratamiento y certificación de mangos mexicanos; en donde se establecen las obligaciones y responsabilidades de los actores involucrados en la agroindustria del mango.

Existen otros documentos normativos como la NOM-023-FITO-1995, la NOM-075-FITO-1997; y otros lineamientos y circulares los cuales son de cumplimiento obligatorio.

La Comisión conjunta de la FAO y la OMS del *Codex Alimentarius* y muchas otras autoridades reguladoras han establecido una serie de principios relativos a la irradiación de alimentos y unos procedimientos básicos de control. En todo el mundo, más de 41 países han aprobado el uso de la irradiación de alimentos para más de 60 productos alimentarios (Alcérreca, 2008).



En México, el 6 de septiembre de 2005 la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios dio aviso de la cancelación de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1- 1993, *Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios*, publicada en el diario oficial de la federación el 3 de julio de 1995. Esto se debe a que se encontró que las dosis que puede aplicarse en nuestro país, no representan un riesgo por sí mismas, y que no existe metodología analítica que permita demostrar que un producto ha sido irradiado. Esto provocaba un trato discriminatorio con respecto a otros países en los que se permite la irradiación de materias primas y productos a dosis mayores que las establecidas en dicha Norma Oficial Mexicana (Alcérreca, 2008).

El *Codex Alimentarius* presenta una normativa general para alimentos irradiados. En ella se describen las condiciones tecnológicas para alcanzar, en forma segura y económica, las finalidades del proceso de irradiación y se prevén los requisitos para las instalaciones, el control de procesos y el rotulado de los alimentos. Esta normativa es aceptada por los estados miembros, y por miembros asociados de la FAO y de la OMS (Antonio, 2007).

En la actualidad existen aproximadamente 160 instalaciones industriales de irradiación gamma funcionando en todo el mundo. En México, contamos con cuatro instancias que se dedican a la irradiación comercial: la planta del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), dos compañías privadas y el Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México (Antonio, 2007).





# OBJETIVOS





### **3. OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los parámetros relacionados con la calidad en mango de la variedad 'Manila' provenientes del estado de Guerrero que permitan establecer las condiciones para la aplicación del tratamiento de irradiación gamma a nivel comercial.

- **OBJETIVO PARTICULAR 1**

Evaluar el efecto del estado de madurez (100% verdes y 10% amarillos-90% verdes) de mango 'Manila' procedentes del estado de Sinaloa y Guerrero en la respuesta al tratamiento de irradiación gamma, que permita seleccionar el estado fisiológico necesario para la aplicación de estos tratamientos.

- **OBJETIVO PARTICULAR 2**

Determinar el efecto de la irradiación 'gamma' sobre los parámetros de calidad (pH, acidez, color, firmeza, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO<sub>2</sub>) y sensoriales (sabor, textura, color, aroma) del mango 'Manila' (100% verdes) procedentes del estado de Guerrero durante el almacenamiento en refrigeración y temperatura ambiente que permita seleccionar las dosis del tratamiento.

- **OBJETIVO PARTICULAR 3**

Evaluar el efecto de la irradiación gamma sobre la actividad enzimática de pectin metil esterasa (PME) del mango 'Manila' y relacionarlos con cambios en la firmeza durante su proceso de maduración del fruto.

# METODOLOGÍA





### 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 a continuación:

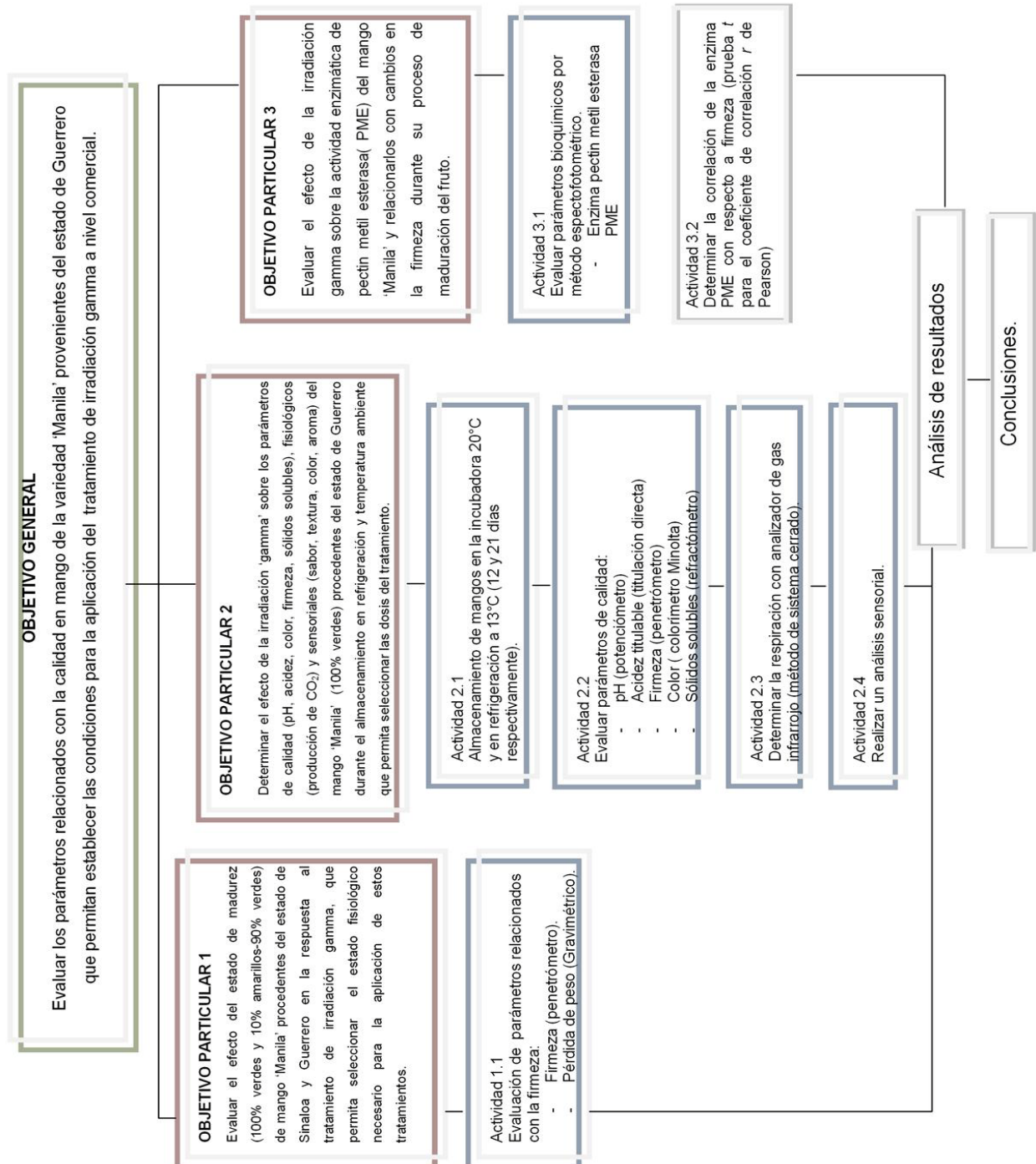


Figura 7. Cuadro Metodológico.



#### 4.2. Material biológico

Se utilizaron mangos de la variedad 'Manila' procedentes del estado de Guerrero y Sinaloa en su etapa pre-climatérica adquiridos directamente del productor, transportados por vía terrestre en cajas de cartón (31 x 28 x 11 cm) especial para almacenar mangos (figura 8). Los mangos fueron trasladados al Laboratorio de Postcosecha de Frutos y Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM.



Figura 8. Mango variedad 'Manila'.

#### 4.3 Tratamiento de las muestras

Para establecer las condiciones de los tratamientos los frutos fueron seleccionados de acuerdo a la longitud, peso, color, ausencia de enfermedades y daños mecánicos de acuerdo con la norma NMX-FF-058-SCFI-2006; para contar con lotes de características homogéneas (figura 9). Se trabajó con mangos cosechados dos días antes de la aplicación de los tratamientos. Los mangos fueron lavados y empacados en la planta empacadora de Integradora de Guerrero, y fueron transportados directamente a la planta de irradiación en Sterigenics Tepeji del Río, Hidalgo.



Figura 9. Selección de mango 'Manila'.



#### 4.4 Descripción del sistema de irradiación gamma ( $\gamma$ )

Los tratamientos por irradiación gamma ( $\gamma$ ) se llevaron a cabo en 'Sterigenic s' (figura 10). El irradiador consta de una sala que está hecha de paredes de hormigón y puertas diseñadas para impedir la liberación de la radiactividad; hay un centro de control donde se especifica la dosis y el tiempo en el cual permanece dentro de la cámara. La fuente de irradiación gamma ( $\gamma$ ) (es el Cobalto <sup>60</sup> depositados en una piscina de almacenamiento para proteger a los operadores cuando entran a la cámara. Los mangos pasan por el campo de irradiación dentro de la cámara a una velocidad controlada con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento.

Previo a la irradiación se realizó un mapeo para poder establecer la dosis máxima y mínima, asegurando así que no se dañaría el mango.

Se colocaron dosímetros para corroborar que los mangos hubieran sido irradiados con la dosis especificada.



**Figura 10.** Planta de irradiación gamma ( $\gamma$ ) 'Sterigenics', (A), piscina de almacenamiento de la fuente de irradiación (B) y pared de hormigón del irradiador (C).





#### 4.5 Tratamientos de irradiación

En la planta de irradiación (Sterigenics) se realizó un mapeo para garantizar que la irradiación fuera homogénea (150, 575, 1000 Gy) en cada caja (figura 11). Posteriormente se aplicaron los tratamientos a todos los lotes de mangos. Una vez terminado el tratamiento fueron trasladados al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales. Se almacenaron los frutos irradiados en una incubadora (marca Freas 1000) a 20°C y en una cámara de refrigeración (marca Ojeda) a 13°C ±85% H.R.

**A****B**

**Figura 11.** Aplicación de Irradiación (A) Mangos 'Manila' irradiados y (B) dosímetros de alanina utilizados en el mapeo de frutos.

#### 4.6 Caracterización física, química y fisiológica del mango a temperatura ambiente.

Se utilizaron mangos en estado de madurez comercial para evaluar las características físicas, químicas y parámetros de calidad. 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 y pH. Las características químicas evaluadas fueron: humedad, proteína, fibra cruda, carbohidratos, cenizas totales y grasa. Las evaluaciones de los distintos parámetros se realizaron de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.11 de este capítulo.



#### **4.7 Efecto del estado de madurez del mango en la respuesta al tratamiento de irradiación.**

Para determinar el efecto del estado de madurez del mango como respuesta al tratamiento de irradiación, Se llevó a cabo la selección de 240 mangos en 11 cajas las cuales se tomaron 2 cajas por dosis incluyendo el control, cada caja contenía 24 mangos con características homogéneas de peso, diámetro polar y ecuatorial con un estado de madurez correspondiente al 10% de color amarillo con 4 ó 5 días después de ser cosechados (figura 12). Por otra parte, se seleccionaron otro lote de mangos con dos días después de la cosecha correspondiente al estado preclimatérico con un 100% color verde en la piel.



**Figura 12.** Mango 'Manila'.

Las cajas con los mangos de ambos experimentos fueron expuestas al tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ ) de la siguiente manera: 150, 575 y 1000 Gy. Los mangos control no fueron expuestos al tratamiento. Posteriormente los mangos fueron almacenados a 20°C.

Se evaluaron los efectos de las diferentes dosis por el tratamiento de irradiación gamma ( $\gamma$ ) en los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza y color), fisiológicos (producción de CO<sub>2</sub>) y sensoriales (sabor, textura, color, aroma) de acuerdo a la técnica del apartado 4.11.

Una vez seleccionados los mangos se distribuyeron como se muestra en la Tabla 8.



**Tabla 8.** Distribución de lotes de acuerdo al diseño experimental 1.

Dosis de irradiación	Estado de Madurez	
	Estado 1	Estado 2
Control	2 cajas	2 cajas
Dosis baja (150 Gy )	2 cajas evaluación + 1 caja mapeo	2 cajas evaluación + 1 caja mapeo
Dosis media (575 Gy)	2 cajas evaluación + 1 caja mapeo	2 cajas evaluación + 1 caja mapeo
Dosis alta (1000 Gy)	2 cajas evaluación +1 caja mapeo	2 cajas evaluación + 1 caja mapeo
No. de cajas mangos	11	11

#### **4.8 Efecto del tratamiento por irradiación en los parámetros de calidad, fisiológicos, y sensoriales del mango almacenado a 20°C y 13°C**

Una vez seleccionadas las condiciones del tratamiento y el efecto del estado de madurez, se aplicaron nuevamente los tratamientos para mangos en estado de maduración 100% verde, y se distribuyeron en 8 lotes para ambas condiciones de almacenamiento (20 y 13°C) de la siguiente manera:

**Tabla 9.** Distribución de lotes de acuerdo al diseño experimental 2.

Dosis de irradiación	Temperatura de Almacenamiento	
	Ambiente (20°C)	Refrigeración (13°C)
Control	3 cajas	3 cajas
Dosis baja (150 Gy )	3 cajas evaluación + 1 caja mapeo	3 cajas evaluación + 1 caja mapeo
Dosis media (575 Gy)	3 cajas evaluación + 1 caja mapeo	3 cajas evaluación + 1 caja mapeo
Dosis alta (1000 Gy)	3 cajas evaluación 1 caja mapeo	3 cajas evaluación + 1 caja mapeo
No. de cajas de mangos	18 cajas	18 cajas

**Tabla 10.** Diseño de control de temperaturas.

Temperatura de almacenamiento	Dosis de irradiación			
	Control	150 Gy	575 Gy	1000 Gy
20°C				
13°C				

Los mangos variedad 'Manila' se irradiaron a 3 diferentes dosis (150, 575, 1000 Gy) en la planta irradiadora "Sterigenics"; posteriormente se almacenaron a 20°C (para simular la temperatura ambiente) y a 13°C a 85% H.R., simulando temperatura de transporte comercial (figura 13 y 14).

Para evaluar el efecto de los tratamientos por irradiación a 20°C se evaluaron los parámetros de calidad: pH, sólidos solubles, acidez titulable, firmeza, color, y la respiración, de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.11. Para cada dosis se tomaron muestras aleatorias de 3 mangos de cada caja y de realizaron las determinaciones anteriormente mencionadas durante el almacenamiento los días 1, 5, 8 y 12 (figura 13).

**Figura 13.** Mangos almacenados a 20°C.



Se seleccionó la temperatura de refrigeración (13°C) para poder observar el efecto de conservación combinándolo con la irradiación, si podía ser mayor aún la conservación con ésta temperatura. Se tomaron 3 mangos de manera aleatoria de cada caja por dosis, se realizaron las determinaciones anteriormente mencionadas durante el almacenamiento los días 1, 7, 14 y 21 (figura 14).



**Figura 14.** Mangos almacenados en la cámara de refrigeración.

#### **4.9 Efecto del tratamiento por irradiación gamma y en las actividades enzimáticas de Pectin metil esterasa (PME) y los cambios en la firmeza durante el proceso de maduración del mango 'Manila'.**

Para conocer la relación que existe entre la actividad de la enzima PME y de la firmeza, se evaluaron las diferentes muestras de mango irradiado en las diferentes dosis (150, 575 y 1000 Gy) incluyendo el control y separados por los diferentes estadios de maduración de acuerdo a la respiración del fruto. A estas muestras se les determinó la actividad de la enzima pectin metil esterasa (PME) únicamente en la pulpa de los mangos de acuerdo al método descrito en el apartado 4.11.4 de este capítulo.

El ablandamiento de los tejidos es uno de los principales cambios que se dan durante la maduración, este cambio se determinó por medio de la firmeza del fruto que generalmente está relacionada con las cantidades de polisacáridos estructurales, almidón y sustancias pécticas como lo es la PME encontradas en la pulpa y piel del mango (Luchsinger *et al.*, 2001).

Debido a que la acción de este tipo de enzima está asociada a la pérdida de firmeza en los mangos, se evaluó el efecto que tenía el tratamiento por irradiación gamma y



en estos dos importantes parámetros y se calculó la correlación entre firmeza y actividad de PME.

#### **4.10 Efecto de la irradiación gamma ( $\gamma$ ) sobre las características sensoriales en mango almacenado en refrigeración (13°C) y a temperatura ambiente (20°C).**

Como una forma de corroborar el efecto de la irradiación gamma ( $\gamma$ ) en el mango 'Manila', se llevó a cabo un análisis sensorial el cual demostró ser un instrumento de suma eficacia para conocer la calidad y aceptabilidad del fruto por parte del consumidor.

El análisis sensorial se realizó para interpretar las reacciones percibidas por los sentidos de un determinado número de personas hacia ciertos atributos organolépticos como son: el sabor, apariencia, aroma, color y textura y así evaluar el efecto del tratamiento en el mango almacenado a 13 y 20°C.

Cada atributo fue evaluado por 15 panelistas no-entrenados para simular a consumidores de mango, como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Atributos evaluados para cada tratamiento.

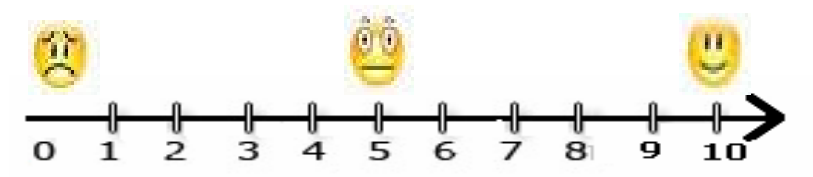
<b>Escala</b>	<b>Categoría</b>			
	<b>Apariencia/ color</b>	<b>Aroma</b>	<b>Textura</b>	<b>Sabor</b>
<b>1</b>	Muy desagradable	Sin aroma	Muy duro	Muy ácido
<b>2</b>	Desagradable	Ligeramente aromático	Duro	Ácido
<b>3</b>	Ni agradable ni desagradable	Ni agradable ni desagradable	Ni duro ni suave	Ni ácido ni dulce
<b>4</b>	Agradable	Aromático	Suave	Dulce
<b>5</b>	Muy agradable	Muy aromático	Muy suave	Muy dulce

También se realizó una prueba de aceptación entre los panelistas. La aceptación de cada muestra fue evaluada utilizando una escala hedónica de 0 al 10 como se muestra en la figura 15.



Donde cada número equivale a:

0: No me agrada 5: Ni agrada, ni desagrada 10: Me gusta mucho



**Figura 15.** Escala hedónica de prueba de aceptación.

### 4.11 Métodos analíticos.

#### 4.11.1 Parámetros químicos.

##### Determinación de Humedad.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa (marca Quince Lab, modelo 40 Lab Owen), 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.

##### 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.

##### Determinación de Proteína total.

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- Ciocalteau (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 de 720 nm. Los resultados se expresaron en mg de proteína/ml de extracto.

### **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).

### **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).

### **Determinación de Cenizas totales.**

Para la determinación de cenizas totales se realiza por 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).

#### **4.11.2 Parámetros de calidad.**

### **Determinación de sólidos solubles.**

Se determinó por medición directa del jugo del fruto con un refractómetro de 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 por triplicado (figura 16).



**Figura 16.** Refractómetro manual.

### **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 (figura 17).



**Figura 17.** Potenciómetro manual.

### **Determinación de acidez.**

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

### **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 (figura 18). Los resultados fueron expresados como la fuerza necesaria para penetrar el fruto en Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>.



**Figura 18.** Penetrómetro manual.

#### **Determinación de pérdida de peso.**

Se comparó el peso inicial del 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 Aventurer Pro AV812). Se expresó como el porcentaje del peso perdido del fruto.

#### **Determinación de 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 a pureza del color y el tono ( $^{\circ}$ Hue) que define el color (figura 19).

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 19. Colorímetro MINOLTA.

#### 4.11.3 Parámetros fisiológicos.

##### Respiración.

La respiración de los frutos se determinó tomando en cuenta la producción de  $\text{CO}_2$  generado por los frutos (figura 20). El registro de la producción de  $\text{CO}_2$  se realizó al conectar a la salida del contenedor con el fruto, un analizador de gas (marca ANALYZER Nitec, LLC). Los resultados de la producción de  $\text{CO}_2$  se expresaron en  $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$



Figura 20. Analizador de gas.

#### 4.11.4 Parámetros bioquímicos.

##### Determinación de la actividad de Pectinmetilesterasa (PME).

El extracto enzimático fue preparado de acuerdo al método descrito por Hagerman y Austin (1986). La actividad enzimática se llevó a cabo mezclando 600 ml de pectina 0,5% p/v, 150 ml de azul de bromotimol 0,01% en buffer fosfato 0.003 M pH 7,5; 100 ml de agua pH 7,5 y 200 ml de extracto enzimático. Se midió la reducción de la



densidad óptica a 620 nm a 37°C. Los resultados se expresaron como el cambio en la densidad óptica (DDO) en un minuto bajo las condiciones de ensayo, por gramo de fruto (figura 21).



**Figura 21.** Espectrofotómetro marca TERMO SPECTRONIC.

#### 4.12 Análisis Estadístico.

Con el fin de obtener resultados significativos y un análisis estadístico confiable y representativo, se aplicó a los datos obtenidos el análisis estadístico de varianza (ANOVA). Para establecer la relación entre la firmeza y actividad de PME se realizó por medio de una regresión lineal y se evaluó la diferencia significativa. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo por medio del programa SPSS 15.0 for Windows Student Version.

Para establecer posibles relaciones entre las actividades enzimáticas y la firmeza se realizaron correlaciones, las cuales se definieron como el cambio sistemático que da una variable con respecto a otra, a las cuales se les aplicó un análisis estadístico de significancia (prueba  $t$  para el coeficiente de correlación  $r$  de Pearson), utilizando la fórmula  $t_r = r(\sqrt{n-2}/1-r^2)$  para probar la existencia de una relación entre dos variables (Ritchev, 2005).

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN****5.1 Evaluación de las características físicas, químicas y fisicoquímicas del mango variedad 'Manila'**

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.

Se evaluaron las características físicas de mango variedad 'Manila' en su estado climatérico (tabla 12).

**Tabla 12.** Características físicas de mango 'Manila'.

<b>Característica</b>	<b>Madurez comercial</b>
Peso *(g)	200.19 ± 2.51
Longitud ecuatorial* (cm)	5.90 ± 0.15
Longitud polar* (cm)	11.10 ± 0.26

\* Los datos presentados son la media de 240 frutos ± sd.

Los mangos de la variedad 'Manila' utilizados fueron de tamaño medio con peso de 200 a 275 gramos, de forma elíptica y color amarillo, con cáscara y pulpa amarilla, firme, dulce, y sabrosa, con alto contenido de fibra. De acuerdo al peso estos mangos fueron de primera calidad y de calibre 18, según la norma NMX-FF-058-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2006).

Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional, destinándose al consumo fresco y a la industria. 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).

La composición química del mango 'Manila' en su madurez comercial se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 13.** Composición química del mango variedad 'Manila'.

<b>Componente</b>	<b>Madurez comercial (%)</b>
Agua	79.40 ± 0.82
Azúcares	6.10 ± 1.04
Proteínas	1.53 ± 0.26
Cenizas	0.60 ± 0.14
Grasa	0.21 ± 0.67
Fibra cruda	0.48 ± 0.80

\* Los valores presentados son la media de 3 repeticiones (n=3) ± sd.

El contenido en azúcar es muy importante, de acuerdo con Lakshminayana (1973). La conversión de almidón a sacarosa durante las últimas etapas de la maduración es la responsable del incremento en dulzor del mango (Jethro y Harvey, 1988). Sin embargo, no es determinante de una preferencia por parte del consumidor, pues hay otros aspectos en la pulpa asimismo de gran importancia como su consistencia, la intensidad del sabor terpénico, carácter subácido en el sabor de fondo de la pulpa.

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, en mangos maduros el contenido de este es bajo, pero son ricos en pro vitamina A y vitaminas B1 y B2. Es rico en fibra, por lo que es considerado una fruta altamente saludable, razones que lo convierten en una fruta imprescindible en una dieta balanceada (Mukherjee, 2000).

Los valores de pH indican la medida de la acidez o alcalinidad de un producto. En la tabla 14 se muestran los parámetros fisicoquímicos del mango 'Manila' en madurez comercial.

Al igual que en trabajos de González-Aguilar *et al.* (2001) en su estudio con mangos 'Kent' la disminución de 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.

**Tabla 14.** Parámetros fisicoquímicos del mango variedad 'Manila'.

<b>Parámetro</b>	<b>Madurez comercial</b>
pH*	3.90 ± 0.44
Acidez *(%ácido cítrico)	0.05 ± 0.92
Sólidos solubles*(°Bx)	17.50 ± 1.32
Firmeza *(kg/cm <sup>2</sup> )	6.80 ± 0.78

\*Los valores presentados son la media de 3 repeticiones (n=3).

El dulzor en el mango es presenciado debido al aumento en azúcares solubles mediante la hidrólisis de polisacáridos invertidos tales como almidones. En la astringencia, debido a la polimerización de fenoles de bajo peso molecular en formas solubles (Molins, 2003).

El aumento del sabor y aroma del mango durante su maduración se le atribuye a la producción de una mezcla compleja de compuestos volátiles (Lizada, 1993), y a la degradación de flavonoides, taninos y otros compuestos relacionados (Tucker y Grierson, 1987).

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 está relacionada con las cantidades de polisacáridos estructurales, almidón y sustancias pécticas encontradas en la piel del mango (Luchsinger *et al.* 2001).

## **5.2 Efecto del estado de madurez del mango de la variedad 'Manila' procedente del estado de Guerrero (100% verdes) y del estado de Sinaloa (10% amarillos-90% verdes) en la respuesta del tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ )**

### **5.2.1 Efecto en los parámetros de calidad**

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).



El estado de madurez de los frutos es muy importante porque es un factor que determina algunos parámetros como es la calidad, y ante un tratamiento postcosecha la calidad de los frutos es primordial ya que el objetivo es alargar su vida útil sin afectar sus propiedades.

Los mangos se recolectan inmaduros (verde maduro) antes de dispararse el climaterio, pero fisiológicamente maduros (Lakshminarayana, 1980). Frutos madurados en la planta presentan desigualdad en la madurez y tiene valores bajos en la relación azúcar/ácido pero pueden ser utilizados en los mercados locales (Lakshminarayana, 1975). Por lo general, los frutos destinados a los mercados locales y transportados por vía aérea son cosechados “pintones”, mientras que los frutos a ser transportados largas distancias deben ser cosechados firmes y verdes, pero fisiológicamente maduros (Briceño *et al.* 2005). Por lo anterior, el estado de madurez es de suma importancia ante un tratamiento postcosecha como es la irradiación gamma ya que se requiere determinar el efecto que provocará el tratamiento en el fruto.

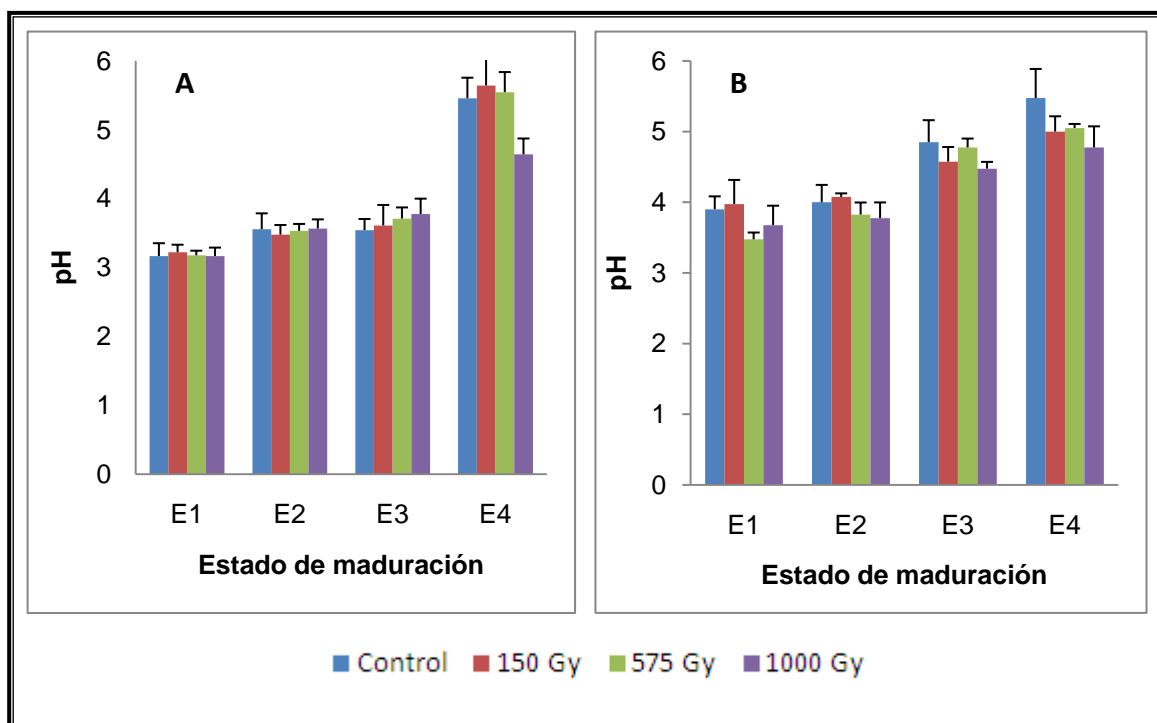
### ✓ pH

En la figura 22A se muestra el efecto del tratamiento por irradiación sobre el pH de los mangos ‘Manila’ en estado de madurez 100% verde (M1) almacenados a temperatura ambiente. Los frutos iniciaron en un pH de 3.17-3.22 hasta un pH de 4.6-5.6 en el postclimaterio, la tendencia fue semejante en los frutos tratados y los del control, ya que se observó un aumento del pH durante la maduración de estos. Cabe señalar que el valor de pH osciló entre 3.1 y 3.7 durante los primeros 3 estados de maduración, lo que hace notar un aumento en el postclimaterio que corresponde a la senescencia del mango, observándose que los mangos tratados a 1000 Gy presentaron el pH menor que los frutos control y el resto de los tratamientos, esto hace notar que hubo un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) por el tratamiento a esta dosis.

El incremento en el pH de la pulpa del mango está 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).



En la figura 22B se muestra el efecto del tratamiento por irradiación sobre el pH de los mangos 'Manila' almacenados a temperatura ambiente en estado de madurez 10% amarillo- 90% verde (M2). Los mangos tratados iniciaron en un pH de 3.4 para aumentar hasta un pH de 5.4 en el postclimaterio, además de mostrar un aumento conforme avanzó la madurez del mango para los diferentes tratamientos, presentando el mayor valor aquellos mangos que no fueron irradiados observándose una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a los mangos tratados en cada uno de los estados de maduración. Esto hace notar que hubo un efecto significativo por el tratamiento, sin embargo, todos conservaron la misma tendencia.



**Figura 22.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el pH de mango 'Manila' en diferente estado de madurez **(A)** 100% verde (Guerrero) y **(B)** 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.

Al comparar a los mangos en diferente estado de madurez (A y B) de la figura 22 se observa que en ambas gráficas existe un incremento del pH que va desde 3 hasta 5 en el postclimaterio al igual que en trabajos de Zambrano *et al.* (2000) donde se explica que este incremento en este punto de la maduración hay una mayor degradación de polisacáridos transformándose en azúcares por lo cual el pH va siendo menos ácido.





Aunque ambas figuras siguieron la misma tendencia de aumentar su valor de pH, los frutos 10% amarillos-90%verdes (M2) (figura 21B) presentaron valores más altos que los frutos en estado de madurez M1, sin embargo, estos últimos tuvieron un valor de pH superior a los frutos con madurez más avanzada en el postclimaterio. La diferencia anterior fue debida a la procedencia y el estado de madurez en el que se encontraban dichos frutos. Al contrario de Kalra y Tandon (1983) en frutos de la variedad 'Dashehari' y Cruz *et al.* (2001) en la variedad 'Tommy Atkins' no encontraron diferencias significativas en cuanto a los valores de pH.

### ✓ Acidez

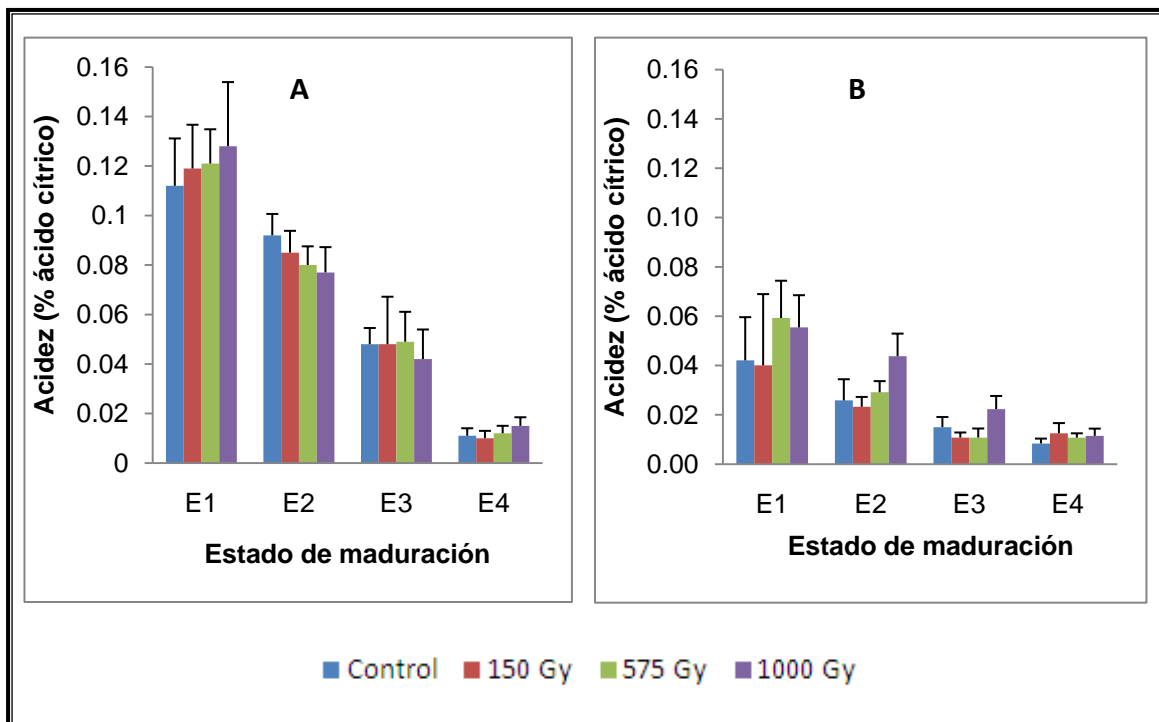
La acidez titulable brinda una medida de la cantidad de ácidos orgánicos presentes en un producto; estos compuestos contribuyen a la calidad postcosecha de los frutos, ya que su sabor está fundamentado en el balance que existe entre azúcares y los ácidos orgánicos (Guadarrama y Rivas, 1995).

En cuanto a la figura 23A se muestra el efecto de la irradiación sobre la acidez la cual presentó una disminución considerable conforme los mangos fueron madurando, desde el preclimaterio hasta el postclimaterio, dicha disminución fue desde un valor de 0.11 hasta 0.011% para los frutos control, 0.11 a 0.009% para los frutos tratados por 150 Gy, 0.12 a 0.012% para los frutos con dosis de 575 Gy y 0.12 a 0.015% de ácido cítrico para los frutos con dosis de 1000 Gy. Los mangos irradiados presentaron valores de pH más altos que los mangos del control en el preclimaterio y llegando al climaterio estos cambiaron ya que los mangos del control fueron los que presentaron un % de acidez mayor que los irradiados encontrándose una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre el control y los frutos tratados.

El contenido de ácido cítrico en el mango varía según la madurez. En la mayoría de los frutos la acidez decrece gradualmente con el proceso de maduración jugando un papel importante en el balance acidez / azúcar y por ende influyendo en el sabor y aroma de los frutos (Duckworth, 1968).



En la figura 23B se muestra el efecto de la irradiación sobre la acidez de mangos en estado de madurez M2, los mangos de las diferentes dosis y el control presentaron la tendencia esperada; es decir, esta disminuyó conforme avanzó la maduración desde 0.042 llegando a valores de 0.085% para los frutos del control, 0.040 a 0.012% para los frutos con dosis de tratamiento de 150 Gy, 0.059 a 0.010% para los frutos de 575 Gy y 0.055 a 0.011% de ácido cítrico para los frutos de 1000 Gy, esta última dosis presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el climaterio y máximo climaterio con respecto al control y las demás dosis. La disminución de acidez que se presentó puede deberse a que los ácidos cítrico, málico y ascórbico disminuyen considerablemente durante la maduración, y el primero en desaparecer es el ácido málico, seguido del cítrico, lo cual sugiere un posible catabolismo del citrato vía malato (Modi y Reddy, 1965).



**Figura 23.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la acidez de mango ‘Manila’ en diferente estado de madurez **(A)** 100% verde (Guerrero) y **(B)** 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.

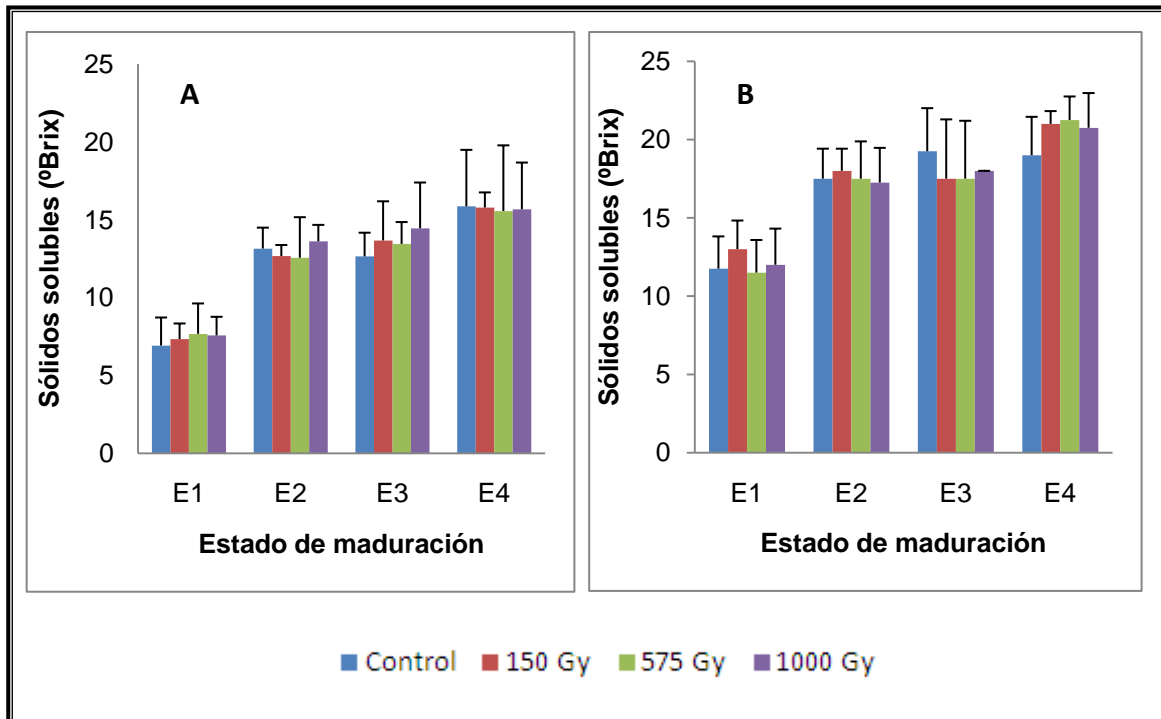


La comparación del comportamiento de mangos en diferente estado de madurez se muestra en la figura 23, los frutos en estado de madurez 10% amarillos-90% verdes (M2) presentaron valores de acidez del 0.042% mucho menores que los frutos en estado de madurez 100% verdes (M1), los cuales registraron valores de 0.11% durante el preclimaterio. Sin embargo, se puede notar que ambos siguieron la misma tendencia que fue la disminución de la acidez durante la maduración, por lo que se puede apreciar también que en el postclimaterio se presentaron valores de acidez muy similares (0.011-0.012%). Lo anterior se debe a que a medida que aumenta el periodo de conservación y el estado de madurez del fruto a temperatura ambiente, la acidez disminuye, lo cual concuerda con el aumento en el pH. Así mismo se pudo observar que la tendencia de la acidez fue la de disminuir conforme al estado de maduración más avanzado. La disminución progresiva de la acidez coincide con la tendencia observada por Ezzat (1974) en anonáceas que fueron evaluadas en distintas fechas de cosecha. Cuando se analizaron los frutos sometidos a maduración temprana se hallaron niveles de acidez titulable más altos que los obtenidos con los frutos de madurez avanzada.

Este aspecto ya ha sido observado por otros investigadores en mangos 'Keitt' (Vázquez-Salinas y Lakshminarayana, 1985). En este parámetro tampoco se vio afectado por las dosis del tratamiento de irradiación.

### ✓ **Sólidos solubles**

En los mangos en estado de madurez 100% verdes (M1) (figura 24A) se observó un notable incremento de los sólidos solubles del preclimaterio al postclimaterio, este inició con valores de 6.9 hasta 15.8 °Bx para los frutos sin tratamiento, de 7.3 a 15.7 °Bx para los frutos tratados con dosis de 150 Gy y de 7.5 a 15.6 °Bx para los frutos de 575 Gy y de 1000 Gy. No se encontró diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en los frutos tratados y los testigos en los diferentes estados de maduración. El incremento del contenido de azúcares en los mangos puede atribuirse a la degradación de polisacáridos, particularmente almidón y pectinas durante la maduración (Roe y Bruemmer, 1981).



**Figura 24.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre los sólidos solubles (°Bx) de mango ‘Manila’ en diferente estado de madurez **(A)** 100% verde (Guerrero) y **(B)** 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estados de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.

En la figura 24B se muestra el efecto sobre los sólidos solubles expresados como °Bx, los mangos del control presentaron un incremento durante la maduración obteniendo valores que fueron desde 11.7 hasta 19.0 °Bx, los frutos de 150 Gy iniciaron con valores de 13.0 a 21 °Bx, para los frutos de 575 Gy de 11.5 a 21.2 °Bx y de 12.0 a 20.7 °Bx para los frutos de 1000 Gy. Los mangos tratados por las diferentes dosis en el inicio del climaterio y en el máximo climaterio se mantuvieron constantes con valores entre 17 y 18 °Bx, sin embargo, no existió diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en ninguno de los estados de maduración, así como tampoco entre el control y las diferentes dosis.

Al comparar el efecto del estado de madurez de los mangos ante el tratamiento por irradiación se puede notar claramente que el contenido de sólidos solubles fue muy diferente en ambos grupos de fruto y esto se esperaba, ya que los mangos en estado de madurez 100% verdes (M1) tenían 2 días después de la cosecha, por lo cual se encontraban en un estado de maduración más temprano que los mangos con madurez 10% amarillos-90% verdes (M2), como se observa en la figura 24.



Los mangos 10% amarillos-90% verdes (M2) presentaron valores iniciales de 11-13 °Bx cuando los mangos 100% verdes (M1) fueron de 6-7 °Bx, ambos estados de madurez siguieron la tendencia a aumentar este contenido de sólidos solubles debido a que con la maduración aumenta el contenido de hidratos de carbono sencillos y así mismo el dulzor típico de las frutas maduras. El contenido de los sólidos solubles fue menor en las frutas recolectadas más temprano. Resultados similares fueron reportados por Krishnamurthy y Subramayan (1970), en la variedad de mango 'Pairi' donde se encontró que tanto los mangos Kent como Haden en un estado de madurez más temprano, tenían al madurar, un menor contenido de sólidos solubles y necesitaron más tiempo para alcanzar su completa madurez. Al contrario de un estudio realizado por Díaz *et.al.*, (1999) en ciruela, el valor final de los sólidos solubles fue similar para dos diferentes estados de madurez (verde y maduro), los resultados mostraron que los frutos pueden alcanzar valores de pH y sólidos solubles similares a frutos cosechados en estado maduro.

La irradiación afectó el cambio en el contenido de sólidos solubles de los mangos en diferente estado de madurez, ya que mangos 100% verdes no alcanzaron los niveles de sólidos solubles (20°Bx) que los frutos que al inicio del tratamiento estaban en un estado de madurez más avanzado. Lo que indica, que el tratamiento por irradiación afecta el proceso normal de maduración de este fruto.

### ✓ Firmeza

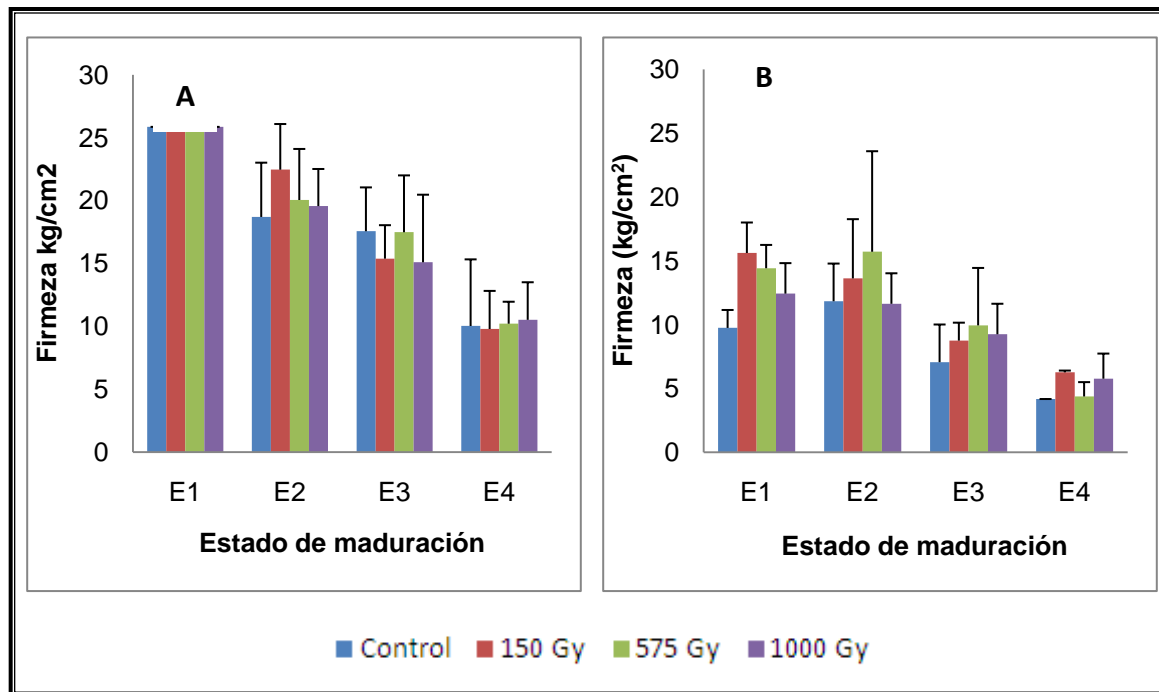
Uno de los cambios marcados en las frutas de tipo climatérico durante la maduración es los cambios textura, ya que sufren un ablandamiento debido a las alteraciones en los componentes pécticos desde protopectinas insolubles a pectinas y ácidos pécticos solubles (Molins, 2003).

En algunos estudios se ha investigado que la textura de los frutos está influenciada por varios factores tales como la integridad estructural de la pared celular primaria y de la lamela media, de la acumulación de polisacáridos y de la turgencia presión generada dentro de las células por ósmosis (Jackman y Stanley, 1995).



En la figura 25A se muestran los cambios en la firmeza de mangos en estado de maduración 100% verdes (M1). Los mangos presentaron una pérdida de firmeza la cual fue disminuyendo conforme fue avanzando la maduración desde el preclimaterio hasta el postclimaterio presentando valores que fueron desde 25.9 a 10.04 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos del control, de 25.9 a 9.8 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos de 150 Gy, de 25.9 a 10.2 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos de 575 Gy y de 25.9 a 10.5 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos de 1000 Gy. El porcentaje de pérdida de firmeza total desde el inicio hasta el final del almacenamiento fue de 38.8, 37.9, 39.5 y 40.7% para los frutos del control y los tratados por las dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, indicando que a mayor dosis de irradiación mayor fue la pérdida de firmeza de los frutos, sin embargo, no se presentó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en ninguno de los tratamientos y el control, por lo que no hubo efecto por el tratamiento.

Los cambios en la firmeza se muestran en la figura 25B de mangos en estado de maduración 10% amarillos-90% verdes (M2). La pérdida de firmeza se presentó a lo largo de la maduración de los mangos. En el preclimaterio todos los frutos mostraron una estructura firme, descendiendo de manera gradual conforme avanzó la maduración, esta disminución fue desde 9.7 hasta 4.2 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos sin tratamiento, de 15.6 a 6.3 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos de 150 Gy, de 14.4 a 4.4 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos de 575 Gy y de 12.4 a 5.8 Kg /cm<sup>2</sup> para los frutos de 1000 Gy. El porcentaje de pérdida de firmeza total desde el inicio hasta el final del almacenamiento fue de 42.9, 40.1, 30.3 y 46.4% para los frutos del control y los tratados por las dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Se presentó una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) al inicio en el preclimaterio entre los mangos del control y los irradiados, sin embargo en los siguientes estadíos no se mostró efecto significativo ( $P \geq 0.05$ ). Lo que indicó que el tratamiento no afectó la pérdida de firmeza del mango 'Manila' y que el estado de madurez no juega un papel importante en la respuesta al tratamiento por irradiación, contrario a lo que se esperaba.



**Figura 25.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la firmeza de mango ‘Manila’ en diferente estado de madurez **(A)** 100% verde (Guerrero) y **(B)** 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente durante los diferentes estadios de maduración: E1 preclimaterio; E2 inicio del climaterio; E3 máximo climaterio y E4 postclimaterio.

En los trabajos realizados por González-Aguilar *et al.* (2001) en mangos ‘Kent’, los cambios en el grosor de la pared celular son resultado de la disolución de la lámina 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. Por esta razón, los mangos en estado postclimaterio presentaron una mayor disminución de la firmeza.

Al comparar los frutos de los dos estados de madurez (figura 25), se observó que existe una diferencia en cuanto al valor de la firmeza que presentaron, ya que los mangos que se mantuvieron con valores de firmeza mayores fueron los mangos tratados 2 días después de la cosecha (mangos 100% verdes) al inicio y al final de la maduración. También se pudo observar que no existió un efecto de la irradiación sobre la firmeza de los mangos.



En todos los frutos que se han estudiado, la irradiación gamma induce un rápido ablandamiento que es diferente, en un sentido cualitativo, proveniente de la maduración. La irradiación provoca la rotura de los enlaces glucosídicos en todo tipo de polisacáridos de la pared celular (Murray, 1990). En este sentido, el efecto de la irradiación en la firmeza fue casi nulo en el mango 'Manila', siendo un aspecto favorable para este fruto, el cual es muy delicado y no soporta tratamiento postcosecha como el hidrotérmico, ya que afecta drásticamente su firmeza.

### 5.2.2 Efecto en los parámetros fisiológicos

#### ✓ Respiración

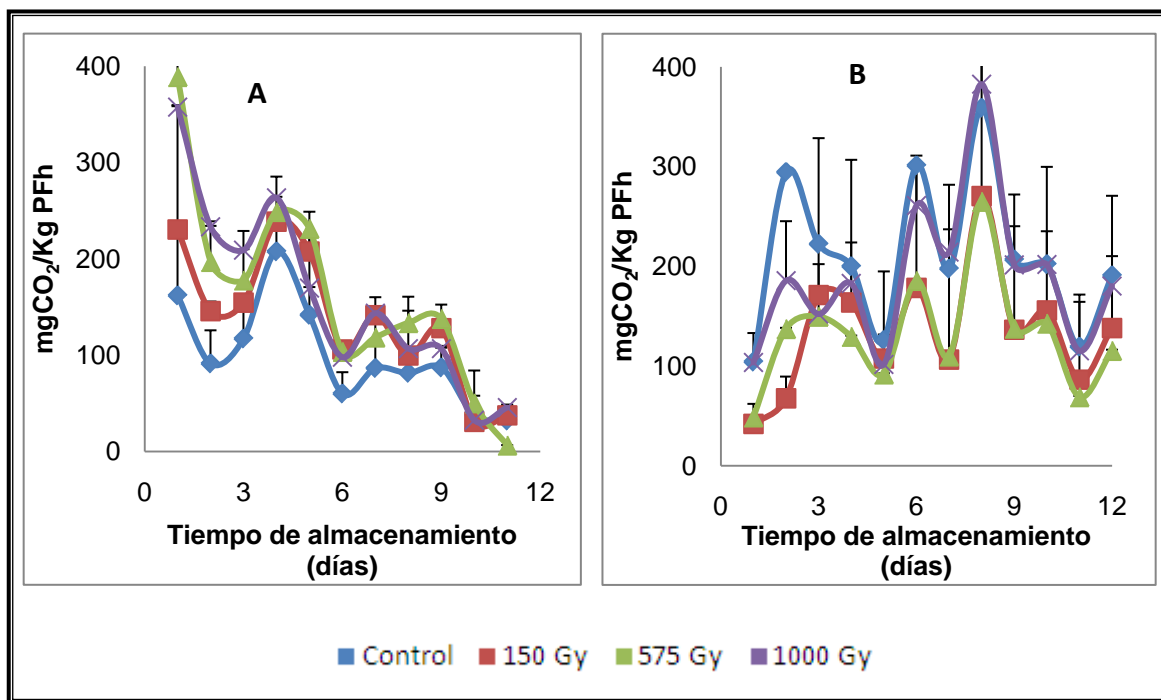
Los mangos correspondientes al estado de madurez 100% verdes (M1) (figura 26A), presentaron una producción de  $\text{CO}_2$  similar a lo largo de la maduración iniciando con una tasa de respiración de 162.07  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  hasta llegar a la senescencia con un valor de 32.16  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos sin tratamiento, para los frutos con tratamientos con dosis de 150 Gy el valor inicial fue de 230.50 hasta 37.6  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$ , para los frutos de 575 Gy la tasa de respiración inicial fue de 389.07 a 6.49  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  y para los frutos de 1000 Gy de 357.56 hasta 45.72  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$ . El pico climatérico tuvo lugar en el día 4 con un valor de 207.75  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos del control, 238.65  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos de 150 Gy, 248.93  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos de 575 Gy y 263.52  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos de 1000 Gy, observándose así que, los mangos del control siempre se mantuvieron por debajo de los mangos tratados, sin embargo, se mantuvo la tendencia que siguen este tipo de frutos climatéricos. Asimismo Singh (1990), reporta que mangos irradiados a 250, 750 y 1000 Gray, presentaron un incremento inmediato en la respiración.

En el comportamiento del patrón respiratorio, la producción de  $\text{CO}_2$  fue diferente entre los mangos irradiados y el control ya que los mangos control siempre permanecieron con una tasa de respiración más alta que los irradiados (figura 26B). El cambio más notable se observó en el segundo día de almacenamiento. Sin embargo, si hubo un momento en donde los mangos tratados y el control coinciden en un descenso muy similar de su tasa respiratoria, esto sucede en el quinto día. La tasa de respiración inició de 104.26 hasta llegar a 190.82  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  para los frutos testigo, en cuanto a los frutos de 150 Gy el valor inicial fue de 41.83 a 138.07  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$ , para los frutos de 575 Gy fue de 48.64 hasta 115.34  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$  y para los frutos de 1000 Gy fue de 103.5 a 180.19





mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh. El efecto anterior también fue observado en espárragos por Sánchez *et al.*, (2007) donde los espárragos que fueron tratados por la irradiación gamma mostraron valores menores de respiración con respecto al testigo. Lo anterior es muy característico de las frutas climatéricas como el mango, después de alcanzarse el mínimo se produce un nuevo incremento de la intensidad respiratoria hasta alcanzar el pico climatérico, después del cual la intensidad respiratoria disminuye de nuevo hasta el postclimaterio. Y fue así como la producción de CO<sub>2</sub> alcanzó el máximo pico al octavo día con un valor de 358.88 para los frutos del control, para los frutos de 150 Gy fue de 470.48 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh, para los frutos de 575 Gy fue de 264.93 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh y para los frutos de 1000 Gy 382.75 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh. Ésta última dosis y el control tuvieron una tasa de respiración similar como se observa en la figura 26B a partir del quinto día en adelante. La velocidad de respiración alcanzó un máximo, el <<pico del climaterio>>, en pocos días, el tiempo necesario para alcanzar este pico y la intensidad de respiración en este pico depende del tipo de fruta y de la madurez en el momento de la recolección (Molins, 2003).



**Figura 26.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la respiración de mango 'Manila' en diferente estado de madurez **(A)** 100% verde (Guerrero) y **(B)** 10% amarillos-90% verdes (Sinaloa) a temperatura ambiente.



Al comparar ambos estados de madurez (figura 26), se pudo observar que hubo una gran diferencia desde los primeros días hasta el final. Los mangos de madurez 100% verdes (M1) empezaron a producir  $\text{CO}_2$  con una tasa elevada esto se debe a que hubo un estrés previo y esto provocó que los mangos tuvieran valores iniciales arriba de los 200  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$ , lo que no sucedió en los mangos de estado 10% amarillos-90% verdes (M2) los cuales si iniciaron en valores debajo de 100  $\text{mgCO}_2/\text{Kg PFh}$ . Otra observación que se encontró fue que el comportamiento del control de los mangos fue diferente en ambas gráficas, ya que en los mangos 10% amarillos-90% verdes se mantuvo siempre arriba de los tratados y en los mangos 100% verdes (M1), el control estuvo siempre debajo de los mangos tratados. Otro aspecto que marcó la diferencia entre ambos estados de madurez fue que los mangos 100% verdes (M1) tuvieron una tasa de respiración menor a los mangos 10% amarillos-90% verdes (M2), incluso al final.

El mango presentó un comportamiento climatérico que se caracteriza por llevarse a cabo en cuatro etapas o estados de madurez: la primera corresponde al preclimaterio, en el cual el fruto presentó un color verde intenso y su respiración fue mínima; la segunda denominada inicio del climaterio donde se produjo un aumento del contenido de  $\text{CO}_2$ , y llega al máximo climaterio donde se presenta el pico máximo que corresponde a la madurez comercial del fruto en donde el mango desarrolla sus características que lo hacen apto para el consumo y posteriormente el postclimaterio que comienza con la disminución de  $\text{CO}_2$  característico de la senescencia del fruto tal y como sucedió en un estudio por Baquero-Duarte *et al.*, (2005) con pitayas amarillas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta primera parte, se pudo observar que el estado de madurez tuvo un efecto significativo en algunos de los parámetros de calidad, por lo que se puede deducir que el estado de madurez es parte de la apariencia y posee componentes que son propios, también es un indicador del sabor y aroma que ha de esperarse al consumir un fruto como el mango. La madurez también se refiere al punto de máxima calidad comestible, pero que en muchos casos se alcanza a nivel de puesto de venta o de consumo ya que en la mayor parte de las operaciones comerciales, los frutos se cosechan ligeramente inmaduros.

Se pudo observar que el mango es una fruta que también tiene su punto de cosecha basado en el cambio del color de la cáscara, siendo cosechado, normalmente, en el inicio del cambio del color. El grado de madurez ideal para la cosecha depende del tiempo que



la fruta llevará para ser cosechada, pudiendo ser totalmente madura, para consumo inmediato, o “de vez”, cuando es necesario período largo de transporte y almacenaje. Medina (1996) resalta que ninguna característica aislada es segura para la determinación del estadio de madurez del mango, siendo también necesaria la experiencia con la cultura. Teixeira *et al.* (2000) evaluaron seis cultivares de carambola producidas en Bebedouro- Brazil, constatando que las cultivares Arkin, Teanma y Nota-10 presentaron frutas más pesadas, con mayores grados brix, azúcares solubles y relaciones entre el contenido de sólidos solubles y acidez titulable.

Un trabajo extenso sobre las frutas tropicales como plátanos, mango y papaya ha establecido claramente que la madurez de las frutas en la recolección, el tiempo de retraso entre la recolección y la irradiación, y el estado fisiológico de la fruta como relacionado con su posición en el climaterio en el momento de la irradiación puede influir en el retraso de la maduración e incluso afectar directamente a las propiedades organolépticas de las frutas (Thompson, 1996) como la textura la cual disminuyó con la madurez del fruto, mientras que la producción de CO<sub>2</sub> se incrementó debido a que la irradiación provoca la acumulación de etanol en tejido vegetal, por un incremento en la glicólisis y metabolismo de acetato que derivan en piruvato, el cual se utiliza en el ciclo de Krebs (Massey y Bourke, 1967). Esto explica el incremento en la intensidad respiratoria y la acumulación de etanol; la activación de piruvato descarboxilasa (PDC) y alcohol deshidrogenasa (ADH), resulta de una disminución en el pH citoplasmático por el incremento en la producción de bióxido de carbono (Chang *et al.*, 1983; Ke *et al.*, 1995). También se pudo notar que a medida que se avanzó en la escala de madurez, los sólidos solubles (°Brix) y el pH se incrementaron en tanto que la acidez titulable disminuyó. En general, a partir del máximo climaterio los frutos parecen alcanzar su nivel óptimo de madurez para enseguida comenzar la fase de senescencia, reflejándose principalmente en menor actividad respiratoria y mayor pérdida de firmeza.

En base a los resultados anteriores podemos resaltar que el estado de madurez no afectó a los parámetros de pH y acidez de los mangos irradiados. Sin embargo si afectó al cambio en los sólidos solubles durante la maduración; se observó un importante efecto debido al tratamiento de irradiación sobre el efecto en la respiración de los frutos 100% verdes, ayudando a así a prolongar su vida útil.



### 5.3 Efecto del tratamiento por irradiación gamma ( $\gamma$ ) en los parámetros de calidad y fisiológicos en mango 'Manila' almacenados a 13°C y 20°C (100% verdes) procedentes del estado de Guerrero

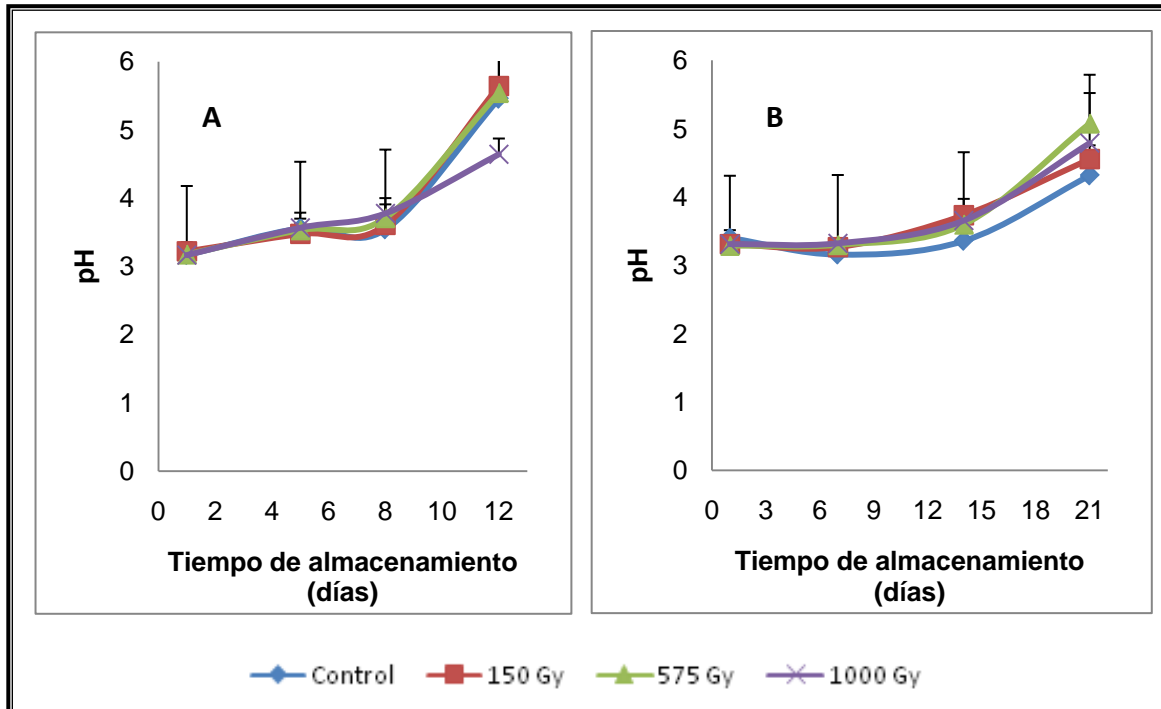
Una vez establecido el estado de madurez apropiado para los tratamientos por irradiación se procedió a evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en los frutos irradiados. Se almacenaron los frutos a temperatura ambiente y en refrigeración, simulando las condiciones de transporte.

#### 5.3.1 Efecto en los parámetros de calidad

##### ✓ pH

El efecto de las diferentes dosis de irradiación gamma sobre el pH de mangos almacenados a 20°C se muestra en la figura 27. Los mangos tratados y los testigos iniciaron el 1er día con un pH alrededor de 3 y al 12° día de almacenamiento alcanzaron un pH de 4.6-5. Se observó un aumento del pH durante la maduración de los frutos tratados y los del control marcándose una tendencia similar entre dichos frutos. El valor de pH osciló entre 3.1 y 3.7 durante los primeros 8 días de almacenamiento para todos los mangos tratados y los testigo, mostrando un aumento en el día 21 que correspondió a la senescencia del mango donde se observó que los mangos tratados a 1000 Gy presentaron un pH menor que los frutos control y el resto de los tratamientos, por lo que hubo un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) por el tratamiento a esta dosis.

El efecto de las diferentes dosis de irradiación gamma sobre el pH de mangos almacenados a 13°C, es decir, la temperatura de almacenamiento y transporte comercial se muestran en la figura 27B. El pH de los mangos inicialmente fue de 3.4 y conforme avanzó la maduración del fruto llegó a un valor final de 4.3 para los frutos del control, para los frutos tratados a 150 Gy fue de 3.3 a 4.5, para los frutos tratados a 575 Gy fue de 3.2 a 5.0 y para los tratamientos a 1000 Gy fue de 3.3 a 4.7. Se observó un efecto en los mangos tratados por la dosis de 575 Gy y los del control ya que presentaron una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a las demás dosis al final del almacenamiento, es decir a los 21 días, esto deduce que hubo un efecto por el tratamiento.



**Figura 27.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el pH de mango 'Manila' durante su almacenamiento a **(A)** 20°C y **(B)** 13°C.

El aumento del retraso de la maduración depende de la madurez de la fruta en el momento de la recolección y de la temperatura de almacenamiento. El retraso máximo de la maduración se ha observado con frutas de madurez más baja; a medida que la madurez de la fruta aumenta tiene lugar una progresiva disminución del retraso de la maduración y de la vida comercial, por lo que el pH es un parámetro de calidad que determina el grado de madurez de un fruto como lo menciona Molins (2003).

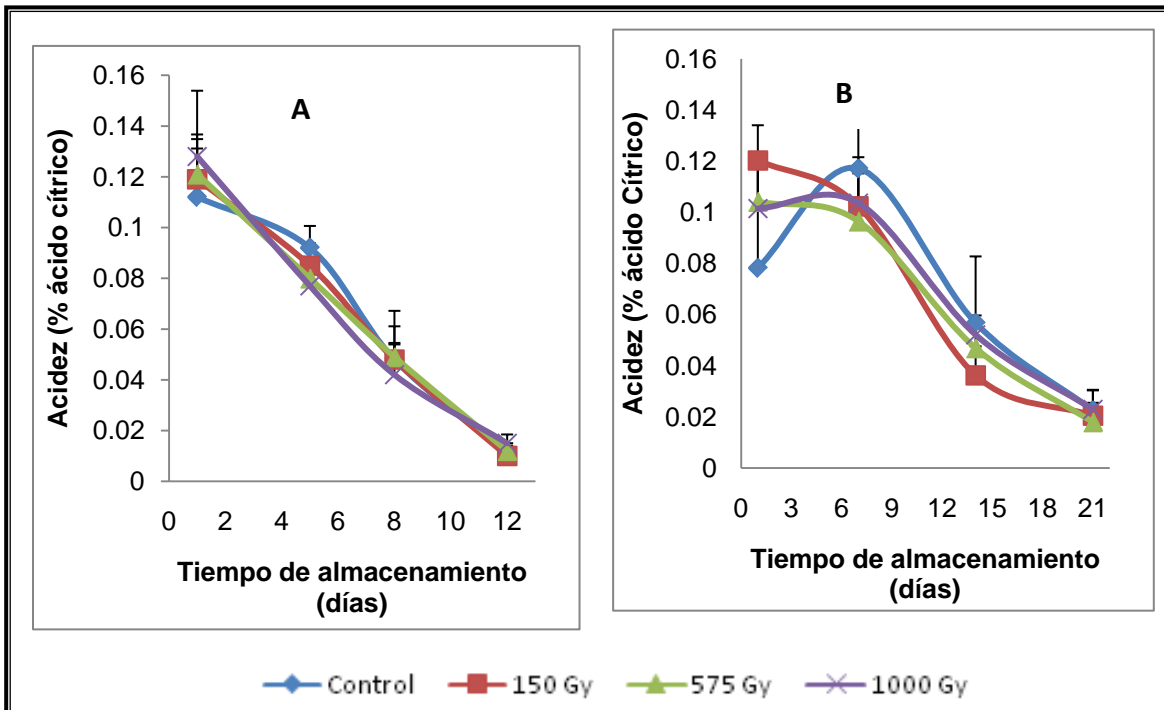
La comparación del efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre el pH de los mangos almacenados a diferente temperatura se muestra en la figura 27. El valor del pH para ambas condiciones de almacenamiento inició alrededor de 3 en todos los frutos tratados y los testigo, y éste valor fue incrementando conforme las etapas de maduración fueron presentándose llegando a un pH final entre 5 y 6, sin embargo los mangos sometidos a temperatura de refrigeración (13°C) mantuvieron siempre un pH menor a los almacenados a temperatura ambiente (20°C) debido a que la refrigeración ayudó al retraso de la maduración, lo cual coincide con lo mostrado por Russian y Manzano (2003) en su estudio sobre la influencia de la temperatura durante el almacenamiento de mango 'Pico de Loro'.



### ✓ Acidez

La acidez titulable es la forma de expresar la acidez. La relación sólidos solubles/acidez titulable es usada en cítricos fundamentalmente como un parámetro de madurez (Lacey *et al.* 2000). La figura 28A muestra el efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre la acidez de mangos almacenados a 20°C. Los mangos presentaron una disminución gradual de su acidez conforme los frutos maduraban, tal disminución registró valores para los frutos del control en el 1er día de almacenamiento de 0.11%, para el 5º día fue de 0.09%, 0.04% para el 8º día y finalmente en el día 12 del almacenamiento con un valor de 0.011%. Por otro lado, los frutos tratados tuvieron una disminución similar presentándose así valores al 1er día y al final del almacenamiento (día 12) de 0.11 a 0.009% para los frutos con tratamiento de 150 Gy, 0.12 a 0.012% para los de 575 Gy y 0.12 a 0.015% de ácido cítrico para los frutos tratados a 1000 Gy. Los mangos irradiados presentaron valores de acidez más altos que los mangos del control en el primer día y llegando al día 5 estos cambiaron ya que los mangos del control fueron los que tenían un % de acidez mayor que los irradiados encontrándose una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre el control y los frutos tratados.

En cuanto a la figura 28B se muestra el efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre la acidez durante su almacenamiento a 13°C. Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los frutos de la dosis de 150 Gy y los de control con respecto a las otras dosis en el primer día de almacenamiento donde los frutos de 150 Gy iniciaron con valores de acidez más altos 0.120%, de ahí los frutos con tratamientos de 575 Gy con 0.104% seguidos de los frutos de 1000 Gy con 0.101% y el valor más bajo fue el de los frutos control con 0.078% de ácido cítrico. Los mangos del control y los de la dosis de 1000 Gy presentaron un aumento en la acidez de 0.103%, mientras que para los frutos control fue de 0.117% en el día 7º, sin embargo esta no es la tendencia que siguen los mangos durante la maduración, lo que se deduce es que esto puede ser consecuencia de un lote no homogéneo de mangos. Sin embargo, los mangos siguieron la tendencia a disminuir gradualmente el valor de su acidez hasta finalizar con un valor de 0.022% para los frutos del control, 0.020% para los frutos de 150 Gy, 0.0179% para los frutos de 575 Gy y 0.023% de ácido cítrico para los frutos de 1000 Gy.



**Figura 28.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la acidez de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

En la Figura 28 se muestra la comparación de ambas condiciones de almacenamiento y el efecto de la irradiación sobre la acidez del mango 'Manila'. Los mangos almacenados a 20°C presentaron una acidez menor en comparación con los almacenados a 13°C aunque mostraron un contenido de acidez titulable similar a lo largo de del tiempo de almacenamiento. Existen reportes de pequeños cambios en la acidez de diferentes variedades de mangos almacenados a bajas temperaturas, pero no una afectación drástica en este importante parámetro (Ramírez, 2005). Al final se observó que la rapidez con que disminuye la acidez fue mayor en los mangos que fueron almacenados a temperatura ambiente que los que fueron almacenados a temperatura de refrigeración, esta disminución puede deberse a que los ácidos orgánicos son utilizados como sustrato para la respiración (Guadarrama y Rivas, 1995).

En su estudio de mangos irradiados con rayos gamma ( $\gamma$ ) y almacenados a bajas de temperaturas, Frylinck *et al.* (1987) reportó la disminución de la acidez debido a 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.

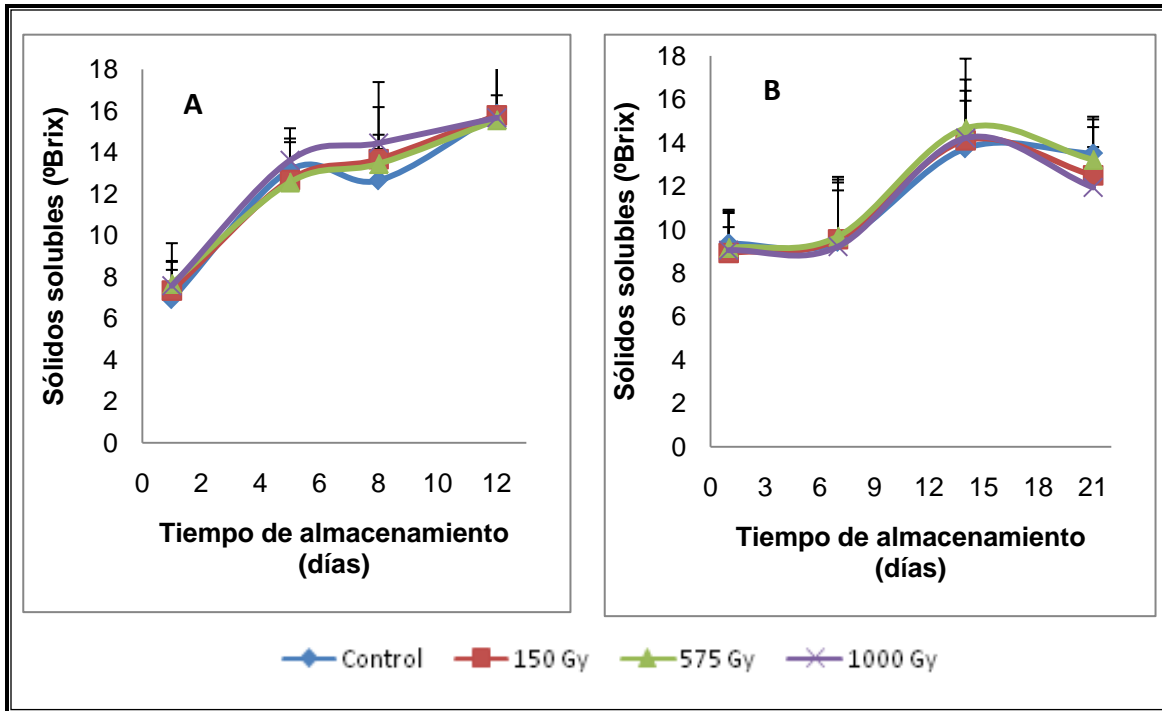
### ✓ **Sólidos solubles**

En la figura 29A se muestra el efecto sobre los sólidos solubles expresados como °Bx en mangos almacenados a temperatura ambiente (20°C). Los mangos muestran un notable incremento de sólidos solubles a lo largo de toda maduración, este aumento inició en el día 1 con valores de 6.9, 7.3, 7.6 y 7.5 °Bx hasta llegar al día 12 con valores de 15.8, 15.7, 15.5 y 15.6 °Bx para los mangos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. No se mostró diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en los frutos tratados y el testigo en los diferentes días de almacenamiento, por lo que no hubo un efecto por el tratamiento en este parámetro. El incremento del contenido de azúcares en los mangos puede atribuirse a la degradación de polisacáridos, particularmente almidón y pectinas durante la maduración (Roe y Bruemmer, 1981).

En cuanto al efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre los sólidos solubles del mango almacenado a 13°C se muestra en la figura 29B. Los mangos presentaron un incremento de sólidos solubles (°Bx) durante su maduración, dicho incremento inició con valores de 9.35, 8.92, 9.16 y 9.05 °Bx llegando al día 21 con valores de 13.50, 12.50, 13.22 y 11.94 °Bx para los mangos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. No se encontró diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) en los frutos tratados y el testigo en los diferentes días de almacenamiento. En este sentido, Mattoo *et al.* (1975) señalaron que en algunos frutos tropicales maduros, el contenido de azúcar total disminuye por que el fruto está usando los azúcares reductores para la respiración y otros procesos de la maduración que consumen energía. Por lo anterior, y debido al lote de los mangos que se tomaron para la medición de este parámetro, se presume que por tal motivo se efectuó tal disminución.

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





**Figura 29.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre los sólidos solubles (°Brix) de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

La comparación del efecto de las diferentes dosis de irradiación de ambas condiciones de almacenamiento se muestra en la figura 29. Los sólidos solubles se vieron afectados por la temperatura de refrigeración a la que fueron sometidos los mangos ya que se logró mantener más uniforme el aumento de estos azúcares que los almacenados a temperatura ambiente. Observándose así que los mangos almacenados a temperatura ambiente tuvieron un valor más alto de sólidos solubles que los almacenados en refrigeración a 13°C, esto indicó que la refrigeración provocó una disminución en la biosíntesis de las enzimas que hidrolizan el almidón y forman los azúcares simples. El comportamiento observado en los mangos almacenados en refrigeración, pudiera explicarse por el efecto que la temperatura produce en el retardo de la maduración. Sin embargo, al contrario de este comportamiento, un estudio sobre la sensibilidad del mango al frío ha sido realizado entre otros por Faroqui *et al.* (1985) quienes trabajando con las variedades 'Samar Bahisht' y 'Sensation' observaron una tendencia al incremento de los sólidos solubles de la fruta refrigerada.



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).

El contenido de sólidos solubles es una buena estimación del contenido de azúcares totales y muchos frutos deben contener un contenido mínimo de sólidos para ser cosechados. Los ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, tartárico) son el otro importante componente del sabor y tienden a disminuir a medida que el fruto madura por lo que la relación con los sólidos solubles tiende a aumentar (Díaz *et al.* 1999).

### ✓ Firmeza

La progresiva pérdida de firmeza en los mangos es consecuencia de la maduración normal, desde el pre climaterio hasta el postclimaterio, se debe a los cambios en la pared celular en polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa debido a las acciones enzimáticas. También a cambios en la permeabilidad de la membrana y la cantidad de espacios intercelulares. El principal fenómeno relacionado con el ablandamiento es la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular (Shaw *et al.* 1998).

El efecto de la irradiación gamma sobre la firmeza de los mangos almacenados a temperatura ambiente 20°C se muestra en la figura 30A. Los mangos presentaron una pérdida de firmeza la cual fue disminuyendo conforme la maduración se fue presentando. Al inicio del almacenamiento (día 1) se presentaron valores en la firmeza que van desde 25.9 Kg/cm<sup>2</sup> hasta llegar al día 12 con 10, 9.8, 10.2 y 10.5 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Se registró una pérdida de firmeza desde el inicio al final del almacenamiento del 38.8, 37.9, 39.5 y 40.6% para los frutos del control y los tratados por las dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Los tratamientos por irradiación no provocaron un efecto significativo en la firmeza ( $P \geq 0.05$ ) en ninguno de los tratamientos y el control así como tampoco en los diferentes estados de maduración, por lo que no hubo efecto por el tratamiento.

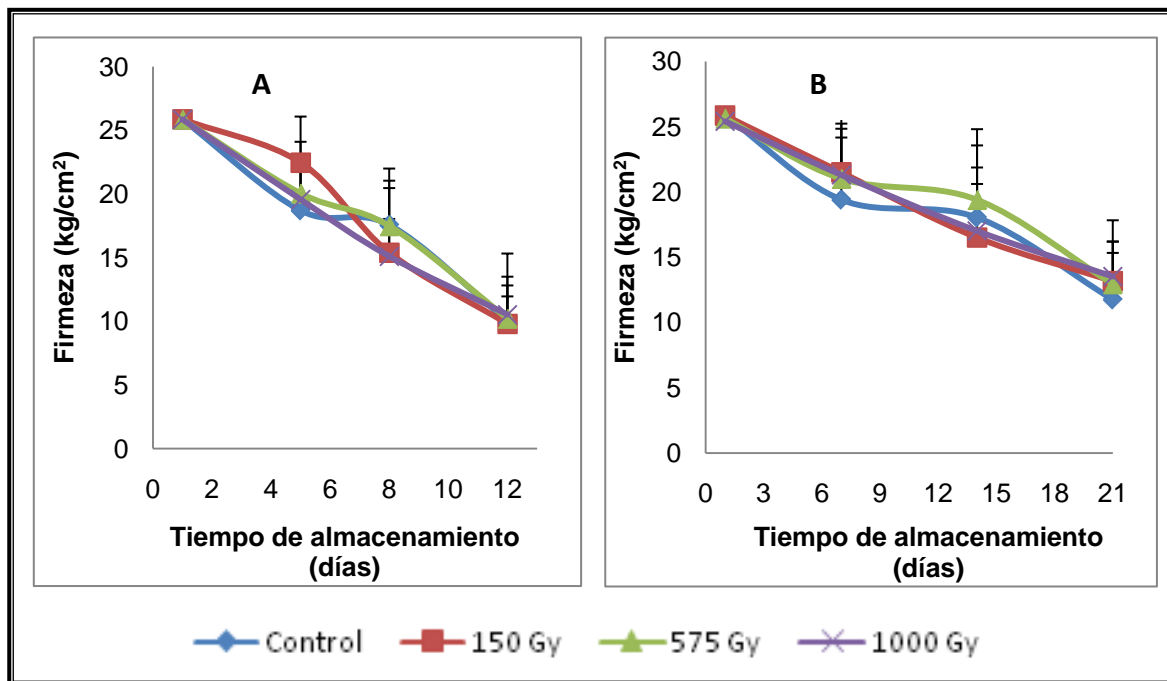
El efecto de la irradiación gamma sobre la firmeza de los mangos almacenados a 13°C se muestra en la figura 30B. El valor de firmeza de los mangos inició en 25 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente hasta llegar al final de la maduración con un valor de 11.76, 13.17,



12.95 y 13.52 Kg/cm<sup>2</sup> para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. El porcentaje de firmeza total desde el inicio hasta el final de la maduración fue de 45.5, 50.9, 50.5 y 53.2% para los frutos del control y los tratados por las dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Los tratamientos por irradiación no provocaron un efecto significativo en la firmeza ( $P \geq 0.05$ ). Sin embargo, se pudo notar que hubo una tendencia en las dosis de 150 y 1000 Gy, las cuales fueron similares desde el inicio al final del almacenamiento en comparación con los frutos testigo y los de la dosis de 575 Gy.

El ablandamiento de la pulpa en el proceso de maduración resulta de la desintegración de la pared celular, en parte, por el resultado de los cambios degradativos (solubilización) de las sustancias pécticas, que son estructuralmente necesarias a la pared celular tal y como lo describe Ashraf *et al.* (1981) en sus estudios realizados en algunos frutos.

La fracción de polisacáridos de los sólidos insolubles en alcohol origina compuestos simples durante el proceso de maduración y la velocidad de degradación de estos compuestos esta directamente correlacionada con el ablandamiento del fruto (Wills *et al.* 1984).



**Figura 30.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la firmeza de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.



Ambas temperaturas de almacenamiento mostradas en la figura 30, presentaron el mismo comportamiento en la disminución de la firmeza, la diferencia radica al final del almacenamiento a 13°C se registraron valores de firmeza más altos (11-13 Kg/cm<sup>2</sup>) que los mangos almacenados a temperatura ambiente (20°C). Laborem *et al.* (2002) reporta que algunas variedades tienen la tendencia a presentar la pulpa más firme al momento de alcanzar la calidad de consumo; tal es el caso de 'Parvin', 'Harders' 'Ford', 'Lippens' y 'Rubi'.

Una vez más se ha comprobado que la refrigeración es una herramienta muy útil para evitar que un fruto se madure rápidamente ya que la madurez es caracterizada por el ablandamiento rápido y extensivo, el cual está positivamente correlacionado con un incremento en la actividad enzimática y con la solubilización de las pectinas de la pared celular como lo describen Roe y Brummer (1981) en sus estudios con mangos de la variedad 'Keitt'.

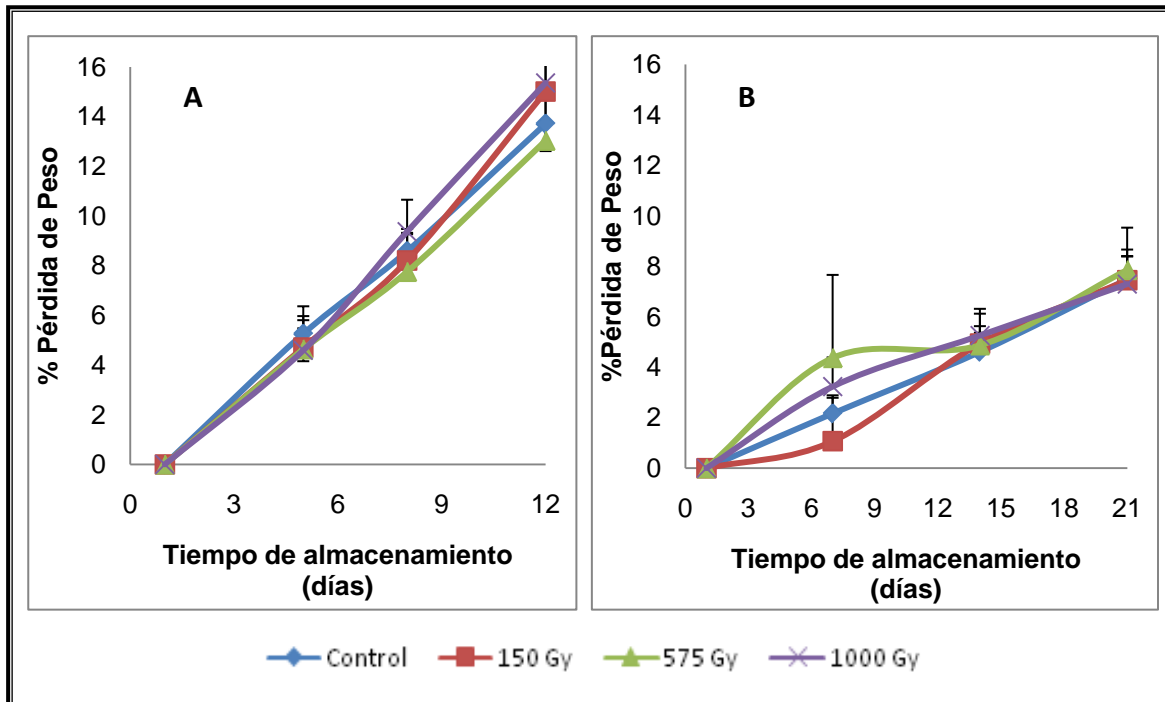
### ✓ Pérdida de peso

El efecto de la irradiación gamma sobre la pérdida de peso de mangos almacenados a temperatura ambiente 20°C se muestra en la figura 31A. Los mangos presentaron un aumento de la pérdida de peso a medida que avanzaba la maduración. La pérdida de peso en los mangos inicial es nula por ello el porcentaje de pérdida de peso al quinto día fue de 5.2, 4.7, 4.6 y 4.6% hasta alcanzar el día 12° porcentajes de 13.7, 15.0, 13.0 y 15.4% para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Se encontró una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el octavo día de almacenamiento con la dosis de 575 y 1000 Gy con respecto a las demás, por lo que hubo un efecto por el tratamiento a estas dosis ya que los mangos del control y la dosis de 150 Gy siguieron un mismo comportamiento. La pérdida de peso siempre fue menor en los frutos de 575 Gy durante toda la maduración.

El efecto de la irradiación gamma sobre la pérdida de peso de mangos almacenados a 13°C se muestra en la figura 31B. La pérdida de peso incrementó conforme los mangos fueron madurando. En el séptimo día, la pérdida de peso en los mangos fue de 2.2, 1, 4.4 y 3.2% hasta alcanzar el día 21 porcentajes de 7.5, 7.5, 7.9 y 7.3 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente.



La pérdida de peso es atribuida a la transpiración de agua a través de la piel, que está influenciada por el tamaño del fruto y temperatura de almacenamiento (Doreyappa y Huddar, 2001), por tal razón, la refrigeración a 13°C ayudó a obtener mantener los frutos con menor porcentaje de pérdida.



**Figura 31.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la pérdida de peso de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

La comparación de ambas condiciones de almacenamiento y el efecto de las diferentes dosis de irradiación se muestran en la figura 31. Los mangos en refrigeración mantuvieron una menor pérdida de peso que los almacenados a 20°C, esto debido a la reducción en la transpiración del mango, que es producto de la baja temperatura a la cual fueron sometidos, lo anterior ha sido observado por Laborem *et al.* (2002) en su estudio con mangos 'Pico de loro' durante su almacenamiento a baja temperatura en donde se controló mejor la pérdida de peso.

La pérdida de peso en frutos de mango se debe principalmente a la transpiración que ocurre a través del alto número de lenticelas, así como al metabolismo respiratorio acelerado por algún tratamiento estresante como la irradiación. Pérdidas de peso entre el 5 y 10% pueden originar un producto comercialmente inaceptable (Mitra y Baldwin, 1997).



La tendencia a tener menor pérdida de peso los frutos almacenados a 13°C, posiblemente se deba a la reducción en la transpiración de la baja temperatura a la cual fueron sometidos (Laborem *et al.* 2002).

### ✓ **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) está 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).

### **Luminosidad externa**

El efecto de las diferentes dosis de irradiación y el almacenamiento a 20°C se muestra en la figura 32A. La luminosidad de la piel de los mangos fue aumentando desde el primer día de almacenamiento con valores cercanos a L=50 hasta alcanzar la final del almacenamiento (12° día) valores de 98.29, 97.30, 97.53 y 96.20 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Lo anterior representa que a medida que el fruto madura se observa una mayor claridad del color. Únicamente al primer día se observó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la dosis de 1000 Gy con respecto a las demás y al control, estableciendo en este caso que el tratamiento por irradiación si tuvo efecto en el color de los frutos.

Por el contrario, el efecto de las diferentes dosis de irradiación y el almacenamiento a 13°C se muestra en la figura 32B. La luminosidad externa de los mangos incrementó conforme la maduración se fue dando, los valores iniciales fueron 81.98, 84.95, 85.02 y 86.58 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, Al final de la maduración (día 21), los valores de la luminosidad fueron 92.13, 93.86, 90.92 y 85.87 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la dosis de 1000 Gy con respecto al control y las demás dosis desde el inicio al final del almacenamiento. Los únicos mangos que no incrementaron su luminosidad mientras avanzaba la maduración fueron los tratados por la dosis de 1000 Gy esto debido a que posiblemente el proceso de



degradación del color verde fue más lento que el resto de los tratamientos, encontrándose menos amarillos.

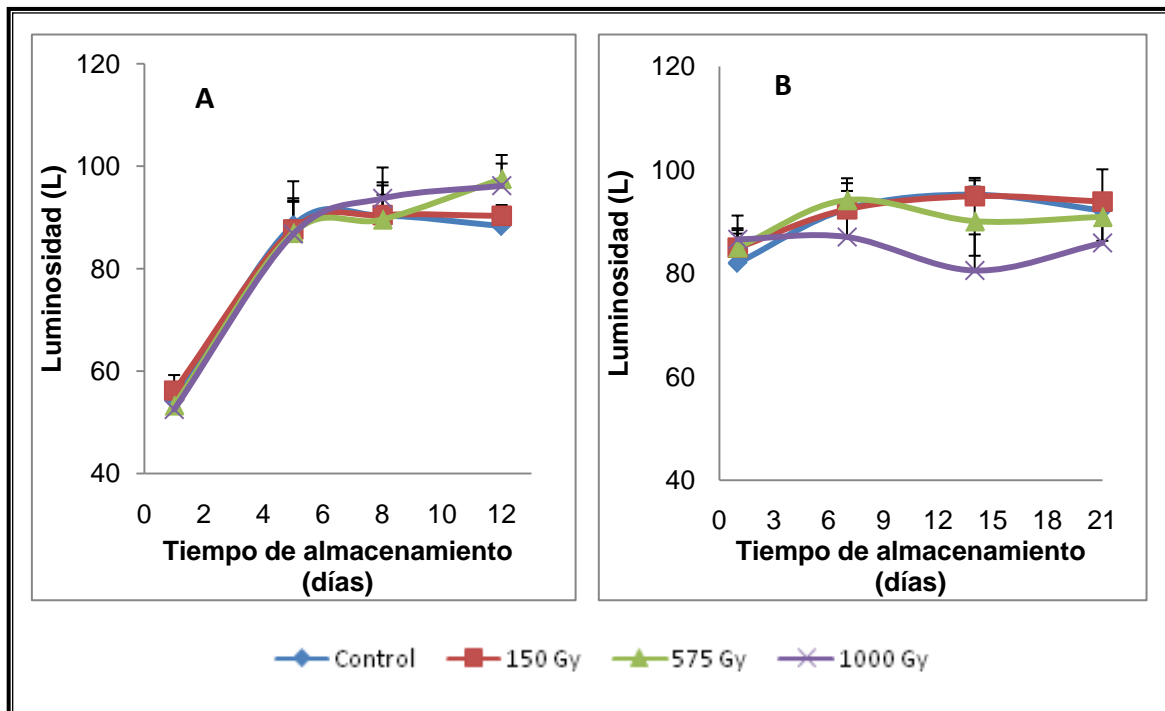


Figura 32. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la luminosidad externa (L) durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

Al comparar el efecto del tratamiento en ambas condiciones de almacenamiento (figura 32) se pudo observar una diferencia desde el primer día de almacenamiento en los frutos a temperatura ambiente los cuales iniciaron sus valores de luminosidad más bajos (52-56) en comparación con los frutos de 13°C (81-86) sin embargo, los frutos de ambas condiciones coinciden en la tendencia que tuvieron los mangos tratados por la dosis de 150 Gy y el control mostrando que las dosis de 575 y 1000 Gy presentaron un efecto en la luminosidad por el tratamiento. Por otro lado, el efecto de la temperatura también influyó en la brillantez de los frutos al final de la maduración manteniendo a los frutos de 13°C con una luminosidad menor.

El brillo realza el color de la mayor parte de los productos, pero es particularmente valorado en especies como manzana, pimiento, berenjena, tomate, uvas, ciruelas, cerezas, etc. En hortalizas el brillo está asociado en cierta manera a la turgencia: un verde brillante es uno de los indicadores de la frescura. También puede ser usado como índice



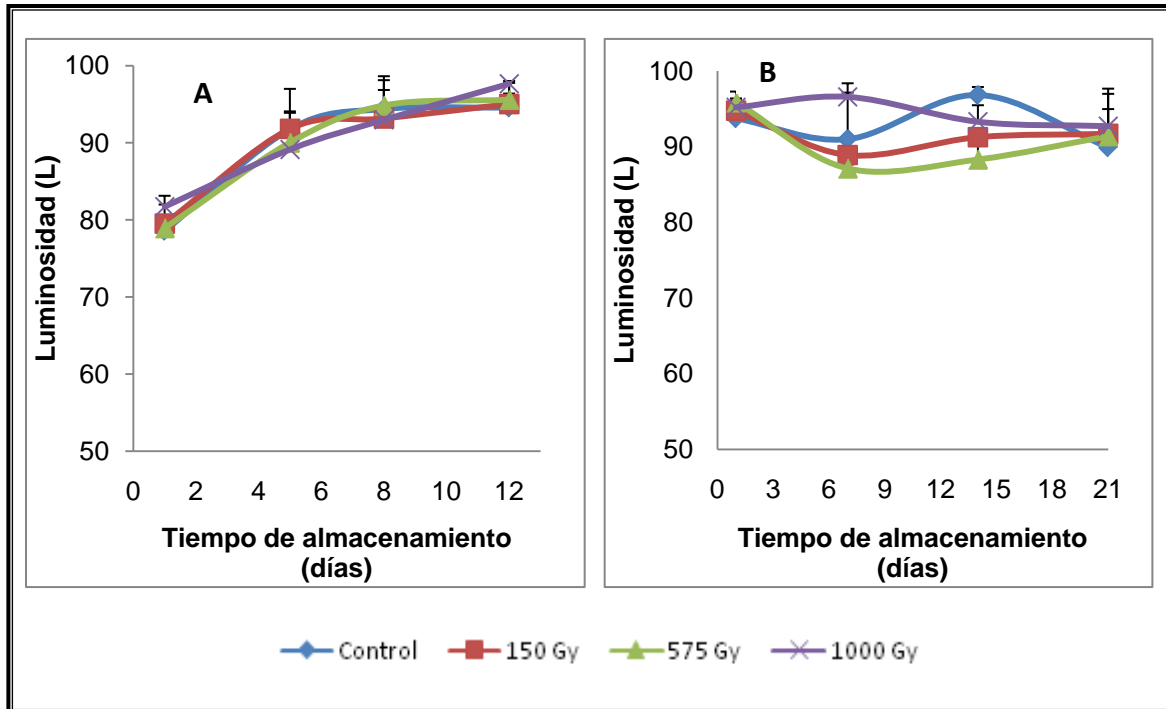
de cosecha en berenjena, pepinos, zapallitos y otros frutos que se cosechan inmaduros, en donde la disminución del brillo indica que se ha desarrollado demasiado y han perdido parte de sus características de sabor y textura. Por el contrario, en melón, palta y otras especies, es indicativo que ha alcanzado la madurez de cosecha como es el caso de los mangos (Thompson, 1996).

### ***Luminosidad interna***

La luminosidad interna está referida a la brillantez de la pulpa del mango. Se puede observar en la figura 33A que en los mangos almacenados a 20°C no presentaron diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre los diferentes tratamientos a lo largo de la maduración. Al inicio de la maduración existió un aumento de la luminosidad teniendo valores que van desde valores cercanos a los  $L = 80$  hasta llegar al final de la maduración con valores de 94.56, 95.02, 95.59 y 97.65 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Debido a que no se encontró diferencia significativa, el tratamiento por irradiación no afectó este parámetro en el interior del mango.

Por otro lado los mangos almacenados a 13°C (figura 33B) iniciaron sus valores de luminosidad interna en 94.47, 95.29, 96.09 y 95.57 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, no encontrándose diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ). Sin embargo, a lo largo de la maduración se registraron descensos e incrementos de la luminosidad interna de los frutos encontrándose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los días 7 y 14 con frutos del control y la dosis de 1000 Gy con respecto a las demás dosis, lo anterior supone un efecto del tratamiento por irradiación. Los frutos presentaron su luminosidad final con valores de 91.39, 92.34, 92.95 y 93.85 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, donde no se encontró diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ).





**Figura 33.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la luminosidad interna (L) durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

En la figura 33 se muestra la comparación del efecto de las diferentes dosis de irradiación y el almacenamiento a 20 y 13°C. Se observó que existió un efecto del tratamiento de irradiación en mangos refrigerados con dosis de 1000 G y los frutos del control. También hubo un efecto con la temperatura de 13°C, la cual logró mantener por más tiempo una brillantez más baja de los frutos (91-93).

### **Tono externo**

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).

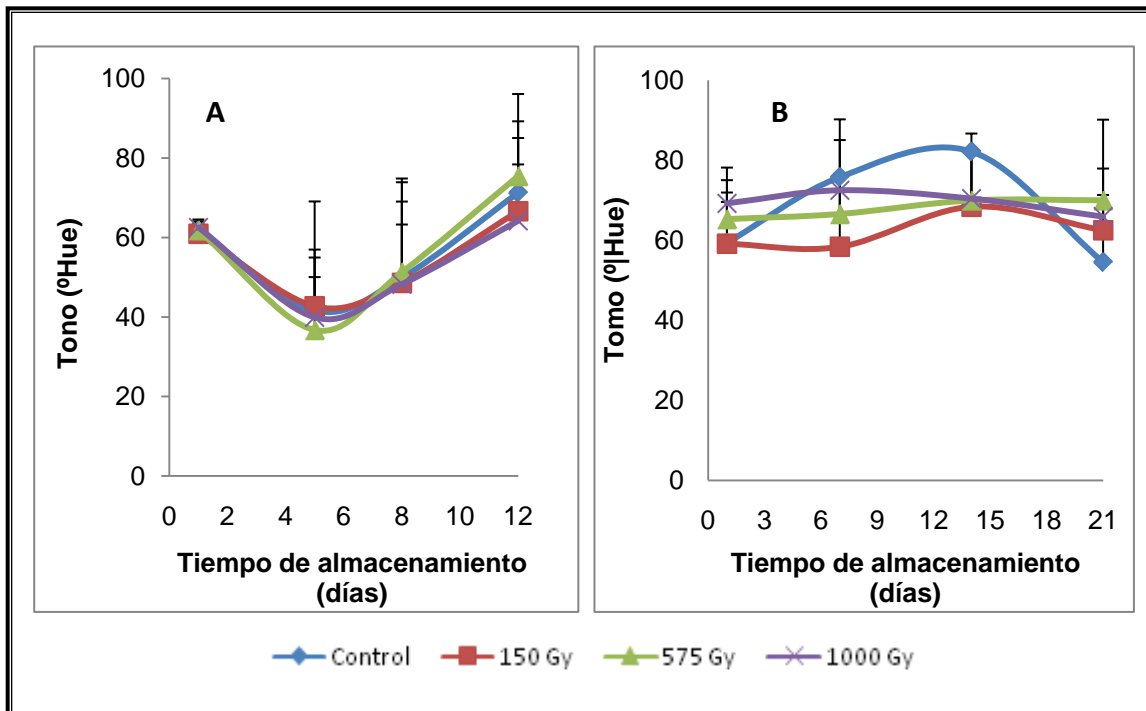
El color en la piel es un parámetro importante para que el fruto sea o no aceptado por el consumidor. Durante la maduración se desarrollan o degradan diferentes pigmentos que proporcionan las características finales del color. La inhibición de la pérdida de color verde de la piel y de una carencia del desarrollo del color amarillo en la maduración es un fenómeno común observado en muchas variedades de mango (Molins, 2003).



La variación del color que es lo que representa el tono en este caso el de la piel, se observa en la figura 34A que fue en aumento a medida que avanza la maduración, dando valores iniciales cercanos a 60°Hue para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Al quinto día se presentó una disminución en el tono (41.65, 52.94, 36.72 y 39.91 °Hue) en los mangos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, a pesar de esto, los frutos siguieron la tendencia a aumentar su tonalidad hasta llegar al final de la maduración presentando valores de 71.25, 66.60, 75.45 y 47.63 °Hue para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente presentando una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) solamente con la dosis de 1000 Gy con respecto a las demás y al control, lo que hace notar un efecto del tratamiento sobre este parámetro.

Para los mangos almacenados a 13°C (figura 34B) se fue manteniendo una variación del color a lo largo de la maduración iniciando valores de 59.37, 59.16, 65.31 y 69.24 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) a partir del 7° día de almacenamiento entre los mangos de dosis 150 Gy y el control con el resto de los tratamientos. Los mangos finalizaron sus valores de tonalidad al día 21 y estos fueron de 54.56 °Hue para los frutos del control, 62.50°Hue para los frutos de 150 Gy, 70°Hue para los frutos de 575 Gy y 65.92°Hue para los frutos de 1000 Gy donde hubo una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el control con respecto a las demás, haciendo que sufra un efecto por el tratamiento.

Al comparar ambas temperaturas de almacenamiento y el efecto de las diferentes dosis de irradiación (figura 34), se pudo observar que hubo un efecto por el tratamiento de irradiación en la tonalidad de los mangos en ambas condiciones de almacenamiento, así como un efecto de la baja temperatura, ya que al llegar al postclimaterio este disminuyó mientras que los de 20°C aumentaron. En un estudio realizado por Espinosa y Hernández (2006), los valores del ángulo Hue indicaron que los frutos pasaron de un color verde-amarillo durante la maduración del mango variedad 'Keitt' y se presentó un aumento en los valores del °Hue que se identificó con tendencias graduales hacia tonalidades amarillas.



**Figura 34.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el color externo (Tono) durante su almacenamiento a **(A)** 20°C y **(B)** 13°C.

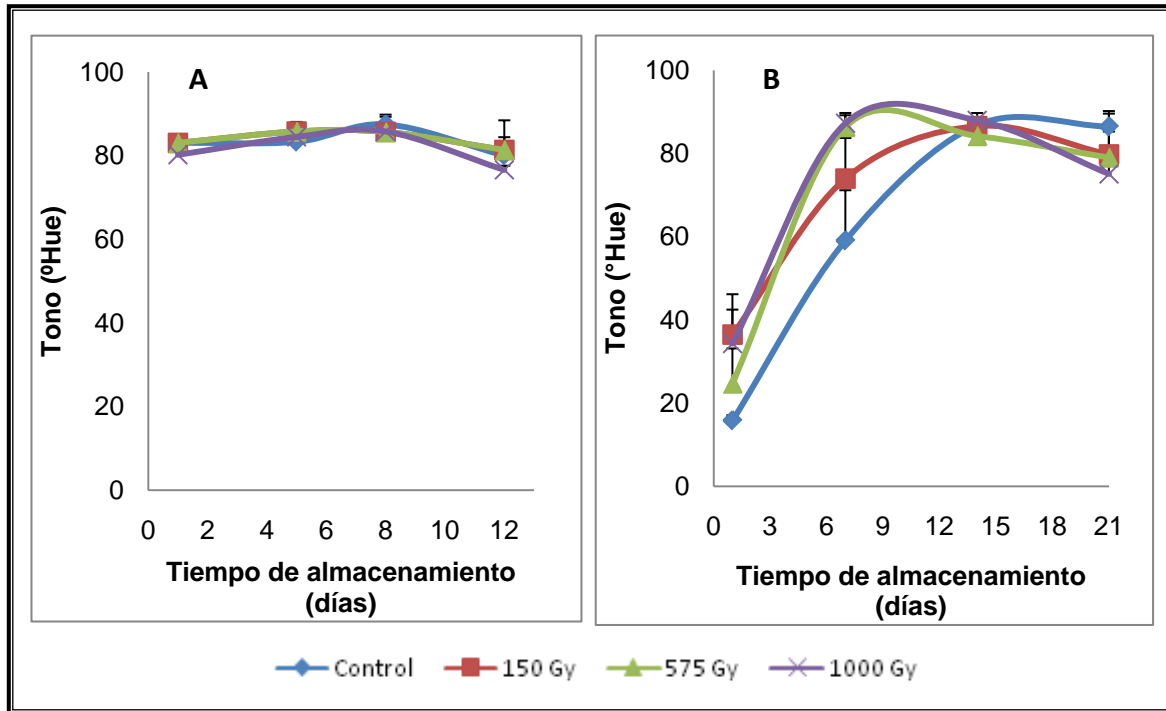
### **Tono interno**

La figura 35A muestra el efecto de la irradiación y el almacenamiento a temperatura ambiente (20°C) sobre el tono interno (pulpa del mango). Los frutos presentaron un aumento de su tonalidad desde el primer día (83.05, 82.61, 83.04 y 80.19 °Hue) para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Los frutos continuaron aumentando su tonalidad a medida que avanzaba la maduración, sin embargo, a partir del octavo día hubo un descenso que los llevó a obtener valores finales al día 12 de 80.02, 81.25, 81.36 y 76.58 °Hue para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, sin embargo, no se mostraron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos a lo largo de la maduración por lo que no hubo efecto del tratamiento sobre este parámetro.

En la figura 35B se muestra el efecto de la irradiación y el almacenamiento a 13°C sobre el tono interno. El tono representa el cambio de color característica del tono verde al amarillo cuando la maduración avanza y este aumentó de manera considerable en los mangos de un valor desde el primer día de 15.84, 36.48, 24.74 y 34.32 °Hue para los



frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, hasta llegar al final de la maduración con 86.47, 79.77, 79.02 y 75.09 °Hue. Se mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el control y la dosis de 150 Gy con respecto a las demás dando como hecho que hubo un efecto por el tratamiento sobre este parámetro.



**Figura 35.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el color interno (Tono) durante su almacenamiento a **(A)** 20°C y **(B)** 13°C.

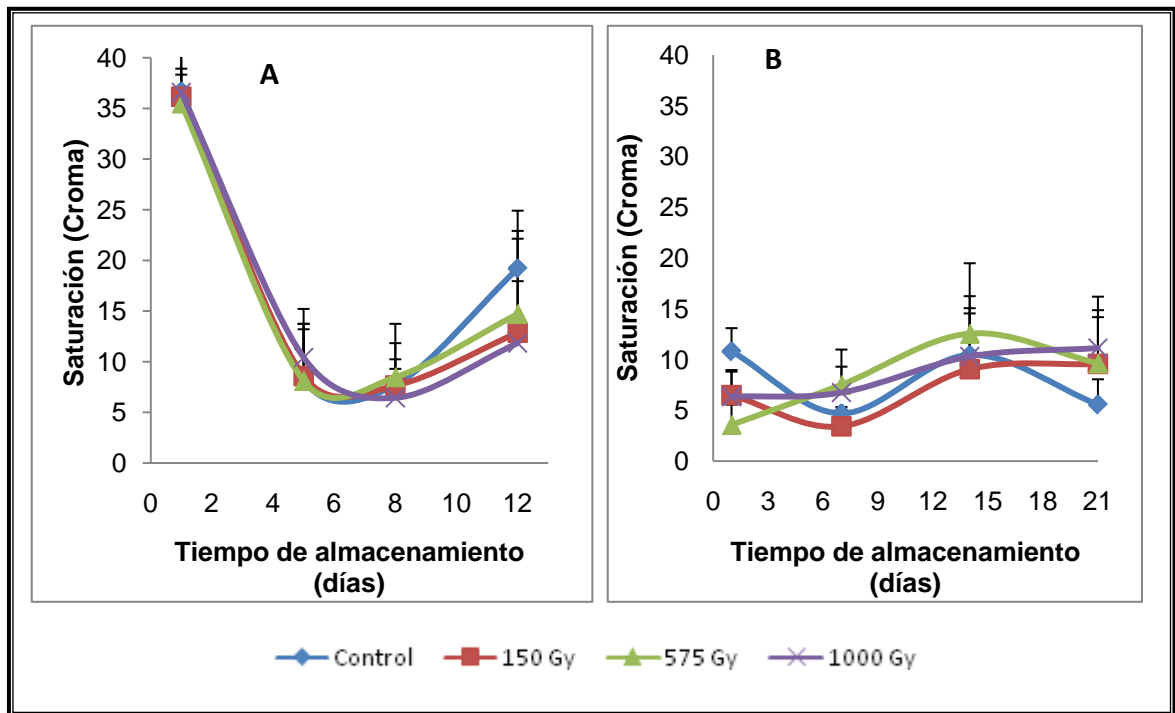
Al comparar los frutos almacenados a 20 y 13°C (figura 35), se muestra un efecto de las bajas temperaturas sobre el tono en el interior de los mangos, ya que desde el inicio este presentó tonalidades inferiores (rojo-púrpura), mientras que los de 20°C se mantuvieron en tonalidades amarillas. También pudo notarse que en los primeros días de almacenamiento se registraron los valores más altos de Hue, los cuales disminuyeron conforme transcurrió el almacenamiento como ocurrió en un estudio con mango 'Ataulfo' sometido a tratamiento hidrotérmico por Luna *et al.* (2006), donde el proceso de maduración de los frutos fue evidenciado debido al cambio de color verde a amarillo-naranja debido a la rápida degradación de la clorofila y al aumento de la biosíntesis de carotenoides, principalmente  $\beta$ -caroteno (Mattoo *et al.* 1975).



### Cromaticidad externa

Croma indica el grado de saturación del tono o la intensidad de éste, también muestra qué tanto un color difiere del gris (McGuire, 1992). La figura 36A muestra el efecto de las diferentes dosis de irradiación en mangos almacenados a 20°C. La cromaticidad exterior de los mangos disminuyó gradualmente desde el primer día con valores iniciales de cercanos a 36 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy. Al llegar al octavo día 8 de almacenamiento se volvió a presentar un ligero incremento que se manifestó en los frutos del control y los tratados para así llegar al final de la maduración con valores de 19.19, 12.86, 14.72 y 11.84. No hubo diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre las diferentes dosis y el control en ninguno de los días de almacenamiento por lo que no existió efecto del tratamiento sobre este parámetro.

En la figura 36B se muestra el efecto del tratamiento de irradiación que se presentó durante toda la maduración de los frutos en refrigeración. Se encontró una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el primer día con los frutos de la dosis de 575 Gy y el control con respecto a las demás, los valores iniciales del croma fueron 10.81, 6.50, 3.58 y 6.34 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. A partir del primer día los frutos presentaron diferentes tendencias como al disminuir e incrementar su cromaticidad, sin embargo al llegar al último día 21 de almacenamiento, los valores del croma fueron 5.56, 9.54, 9.64 y 11.14 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, encontrándose una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) de los frutos del control con respecto a las demás por lo que resaltó un efecto por parte del tratamiento.



**Figura 36.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el color externo (Croma) durante su almacenamiento a **(A)** 20°C y **(B)** 13°C.

En la figura 36 se muestra el efecto de las diferentes dosis de irradiación en mangos almacenados a 20 y 13°C. Se observó que existió un efecto importante de la irradiación sobre éste parámetro en el exterior de los mangos almacenados en refrigeración (13°C) así como también un efecto de la baja temperatura observándose que los valores del croma en los mangos se mantuvieron siempre debajo de 15 en comparación con los de frutos de 20°C.

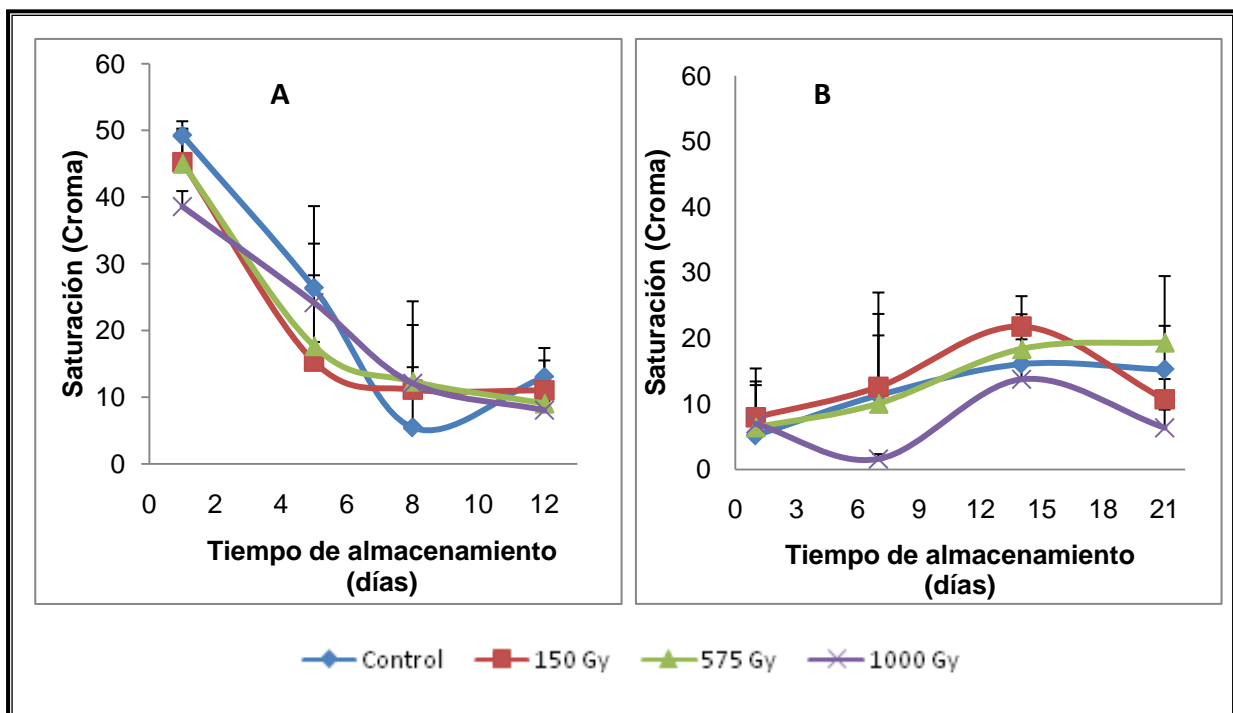
### **Cromaticidad interna**

El efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre la cromaticidad interna de los mangos almacenados a temperatura ambiente (20°C) se muestra en la figura 37A. Los valores del croma de los mangos disminuyeron conforme la maduración se fue presentando, se tuvieron valores desde 49.21, 45.22, 45.03 y 38.57 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente hasta llegar a valores finales de 12.99, 11.01, 9.06 y 8.04 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, lo que indicó un cambio en la pureza del color. Se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el primer día con los mangos tratados por la dosis de



1000 Gy y el control con respecto a las demás, pudo observarse un efecto claro de la irradiación sobre este parámetro. Sin embargo, al final en el día 12 no se presentó diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ). Los valores colorimétricos de croma disminuyeron durante la maduración, Un comportamiento similar fue reportado por McCollum *et al.* (1993) en la variedad Keitt según lo indicaron los valores a y b observados.

En la figura 37B la cromaticidad interna de los frutos en refrigeración incrementó desde el primer día con valores de 9.80, 7.95, 6.44 y 6.94 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente, hasta llegar al día 21 con valores de 15.22, 10.69, 19.36 y 6.35 para los frutos del control y los tratados por 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. Hubo diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) muy notoria con la dosis de 1000 Gy con respecto a las demás a partir del séptimo día hasta el día 21, lo que deduce que el tratamiento tuvo un efecto sobre este parámetro.



**Figura 37.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre el color interno (Croma) durante su almacenamiento a **(A)** 20°C y **(B)** 13°C.

En la figura 37 se muestra el efecto de las diferentes dosis de irradiación sobre el color interno de los mangos almacenados a 20 y 13°C. En la saturación del color representado por el croma para el caso de los mangos almacenados a 20°C fue en descenso a lo largo



de la maduración, y para el caso de los mangos almacenados a 13°C se fueron manteniendo con valores debajo de 20 por el efecto de la temperatura de refrigeración por lo que en esta última condición se observó un efecto más notorio por el tratamiento de irradiación, sobre todo los frutos tratados por la dosis de 1000 Gy.

A continuación se muestran las figuras 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45 las cuales presentan las imágenes de los mangos de la variedad 'Manila' cerrados y abiertos almacenados a temperatura ambiente (20°C) y en refrigeración (13°C) a lo largo de diferentes días de almacenamiento.


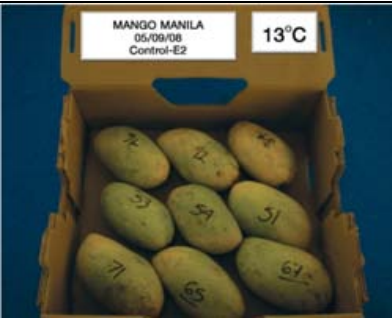
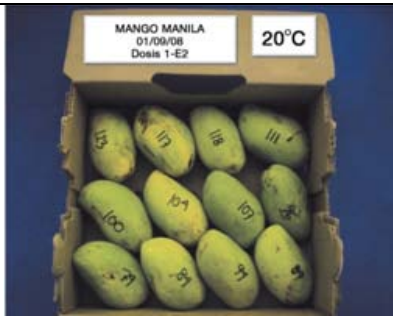









DOSIS	A) 20°C 1º día	B) 13°C 1º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 38.** Mangos variedad ‘Manila’ (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados: **A)** temperatura ambiente (20°C) y **B)** en refrigeración (13°C) el primer día posterior al tratamiento.



DOSIS	A) 20°C 5º día	B) 13°C 7º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 39.** Mangos variedad ‘Manila’ (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados a: **A)** temperatura de ambiente (20°C) y **B)** refrigeración (13°C).



DOSIS	A) 20°C 8º día	B) 13°C 14º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 40.** Mangos variedad 'Manila' (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados a: **A)** temperatura de ambiente (20°C) y **B)** refrigeración (13°C).













DOSIS	A) 20°C 12º día	B) 13°C 21º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		









**Figura 41.** Mangos variedad 'Manila' (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados a: **A)** temperatura de ambiente (20°C) y **B)** refrigeración (13°C).



DOSIS	C) 20°C 1º día	D) 13°C 1º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		









**Figura 42.** Mangos abiertos variedad 'Manila' (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados: **A)** temperatura ambiente (20°C) y **B)** en refrigeración (13°C) el primer día posterior al tratamiento.



DOSIS	C) 20°C 5º día	D) 13°C 7º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 43.** Mangos abiertos variedad ‘Manila’ (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados: **A)** temperatura ambiente (20°C) y **B)** en refrigeración (13°C).











DOSIS	C) 20°C 8º día	D) 13°C 14º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 44.** Mangos abiertos variedad ‘Manila’ (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados a: **A)** temperatura de ambiente (20°C) y **B)** refrigeración (13°C).





DOSIS	B) 20°C 12º día	B) 13°C 21º día
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		

**Figura 45.** Mangos abiertos variedad ‘Manila’ (100% verdes) provenientes del estado de Guerrero irradiados por las diferentes dosis y almacenados a: **A)** temperatura de ambiente (20°C) y **B)** refrigeración (13°C).



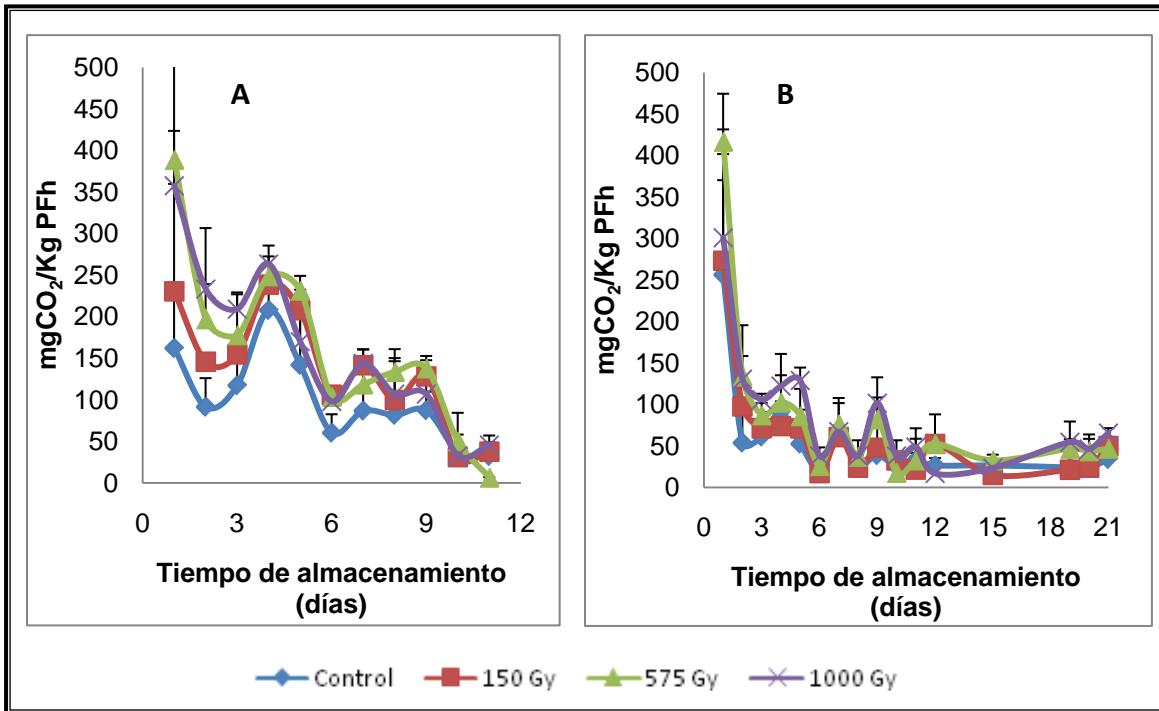


### 5.3.2 Efecto en los parámetros fisiológicos

#### ✓ Respiración

En la figura 46A se observó que inmediato al tratamiento por irradiación la respiración de los mangos se incrementó conforme aumentaron las dosis de irradiación. Los mangos presentaron una producción de CO<sub>2</sub> similar a lo largo de la maduración iniciando con una tasa de respiración de 162.1, 230.5, 389.1 y 357.6 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh hasta llegar al final de la maduración con un valor de 32.2, 37.6, 6.5 y 45.7 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh para los frutos del control y los tratados por las dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. El pico climatérico tuvo lugar al cuarto día con un valor de 207.7 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh para los frutos del control, 238.7 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh para los frutos de 150 Gy, 248.9 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh para los frutos de 575 Gy y 263.5 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh para los frutos de 1000 Gy, observándose así que, los mangos del control siempre se mantuvieron por debajo de los mangos tratados, sin embargo, se mantuvo la tendencia que siguen este tipo de frutos climatéricos. Al final del almacenamiento se observó una disminución del CO<sub>2</sub> producido, llegando a niveles mínimos.

En la figura 46B se observa que a lo largo de los días se produce, en primer lugar, un incremento de la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta el estado de maduración. Sin embargo, en frutas climatéricas como el mango, después de alcanzarse el mínimo se produce un nuevo aumento de la intensidad respiratoria hasta alcanzar un valor máximo, llamado pico climatérico que tuvo lugar en el día 7 con una tasa de respiración de 50 a 90 mgCO<sub>2</sub>/Kg PFh después del cual la intensidad respiratoria disminuye de nuevo. Este pico depende de la temperatura de almacenamiento como lo menciona Molins (2003).



**Figura 46.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la respiración de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

Al comparar ambas condiciones de almacenamiento de la figura 46, se aprecia que el pico del climaterio en los mangos almacenados a 20°C fue mucho más notorio que en los almacenados a 13°C, existe un claro efecto de la temperatura sobre la tasa de respiración en el caso de los mangos almacenados a 13°C, ya que fue mucho menor y por lo tanto su vida útil también aumentó en comparación con los almacenados a 20°C. La respiración inicial fue elevada en ambas condiciones de almacenamiento debido al estrés por el efecto del tratamiento de irradiación como sucedió en dosis de irradiación de 100 y 150 Gy aplicados en frutos de aguacate Hass, los cuales provocaron un incremento repentino en la producción de bióxido de carbono y etileno a temperatura de 20°C (Arévalo *et al.*, 2002).



### 5.3.3 Efecto de la irradiación gamma ( $\gamma$ ) en la actividad de la enzima Pectin metil esterasa (PME) en mango 'Manila' almacenados a 13°C y 20°C

#### ✓ Actividad enzimática PME

Los cambios más importantes de la textura durante el ablandamiento del mango son debido a las enzimas acompañados de las alteraciones en la estructura y composición de la pared celular, así como también de la solubilización de polisacáridos como pectinas y celulosas (Tucker y Grierson, 1987).

El efecto de la radiación en varias enzimas se ha estudiado con gran detalle. Uno de los principales problemas en este ámbito es el hecho de que la destrucción de las enzimas requiere mayor dosis de radiación que la destrucción de microorganismos (Reed, 1966).

La determinación de la actividad enzimática se evaluó de manera residual, es decir, la relación de la actividad de dicha enzima en los mangos tratados por irradiación gamma ( $\gamma$ ) con respecto a los mangos control a lo largo de la maduración.

Como se puede apreciar en la figura 47A la actividad residual de la enzima metil pectin esterasa (PME) almacenada a 20°C inmediato al tratamiento presentó una ligera activación, encontrándose valores de 189, 170 y 121% para los tratamientos de 150, 575 y 1000 Gy, también se presentó diferencia significativa entre las diferentes dosis en el primer día. Lo anterior tiene relación con este tipo de enzima que en estudios recientes por Riov *et al.*, (1968); Martínez-Téllez y Lafuente (1997), se ha visto que puede activarse como respuesta a condiciones de estrés, en este caso por el tratamiento de irradiación, lo cual es un mecanismo de defensa para el tejido vegetal. Sin embargo para el 5° y 8° día se observó una disminución de la actividad residual, encontrándose valores menores al control. Al final del almacenamiento la actividad de la enzima se recupera y llega a valores de 173, 172 y 125% para los tratamientos de 150, 575 y 1000 Gy respectivamente donde se encontró una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre la dosis de 150 Gy con respecto a las demás.

Parece ser que la reactivación de la pectinmetilesterasa es la causante de algunas alteraciones en la textura de muchas frutas, pues ocasiona una reducción de las pectinas solubles y un aumento de las insolubles. El ablandamiento de la pulpa del mango es

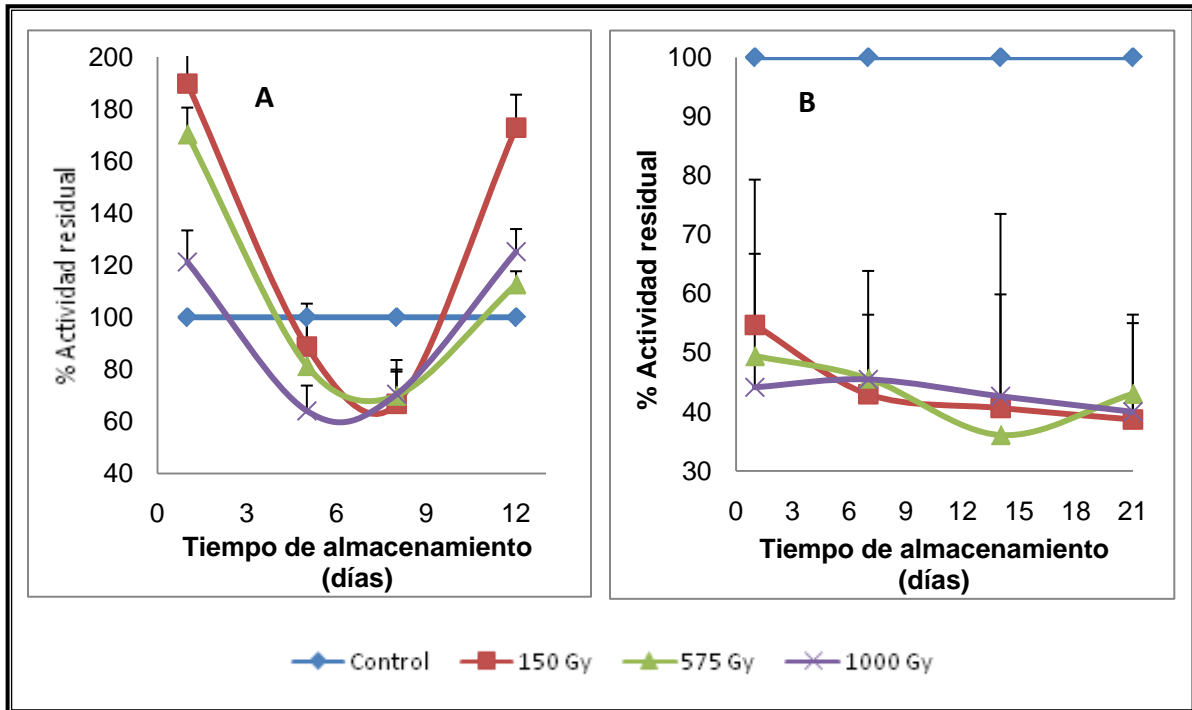


generalmente acompañado de cambios en la estructura de la pectina. Según Huber (1983) y Seymour y Gross (1996) estudios bioquímicos de la pared celular durante la maduración de muchos frutos indican que los cambios estructurales en pectina, hemicelulosa y celulosa juntos son responsables de la alteración de la estructura de la pared celular.

Según Awad y Young (1979), el incremento en la actividad enzimática tiene una relación muy estrecha con el aumento en la respiración, producción de etileno y ablandamiento de los frutos.

Por el contrario, en la figura 47B la actividad enzimática de los mangos almacenados a 13°C, se inhibió inmediato al tratamiento de irradiación y al efecto de la temperatura encontrándose que la menor actividad fue presentada por los mangos tratados a 1000 Gy, seguidos por los de 575 y 150 Gy. Durante todo el almacenamiento se observó una disminución del 40-54% de actividad con respecto a la actividad presentada por los mangos sin tratamiento.

Se observó un efecto de la combinación de la irradiación gamma $\gamma$  y la temperatura de 13°C en la actividad de esta enzima como ocurrió en estudios realizados por Wills *et al.* (1984) donde la respiración de algunas frutas climatéricas implica muchas reacciones enzimáticas y la velocidad con que estas reacciones transcurren depende de la temperatura. La actividad de pectinmetilesterasa disminuye conforme va madurando el mango como ocurrió en estudios realizados en frutas tropicales por Abu-Sarra y Abu-Goukh (1992) y Ketsa *et al.* (1998).



**Figura 47.** Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma sobre la actividad residual de Pectinmetilesterasa (PME) de mango 'Manila' durante su almacenamiento a (A) 20°C y (B) 13°C.

Al comparar el efecto de la irradiación gamma y las dos diferentes condiciones de almacenamiento sobre la actividad enzimática de pectin metil esterasa (figura 47), se observó que efectivamente al someter los mangos a una temperatura de refrigeración de 13°C se logró mantener una actividad enzimática mucho más baja que los mangos a temperatura ambiente, lo anterior fue esperado ya que se logró reducir la producción de etileno, el cual está asociado con el incremento de las tasas de síntesis de las principales enzimas responsables de catalizar las reacciones bioquímicas que dan lugar a la parte visible y mensurable de los cambios implicados en la maduración (Murray, 1990).

Existió un efecto de la irradiación gamma en ambas condiciones de almacenamiento sobre la enzima PME porque logró reducir su actividad enzimática. Encontrándose al inicio un efecto en la actividad enzimática por la dosis de irradiación aplicada.

**5.3.3.1 Correlación entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 20 y 13°C**

Como se puede observar en la tabla 15, la dosis de mayor correlación fue la de 575 Gy seguida de la dosis de 1000 Gy. Los mangos de dichas dosis disminuyeron su actividad enzimática conforme avanzó la maduración al igual que la firmeza del mango, esto se debe a los cambios en la pared celular en polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosas debido a acciones enzimáticas. El principal fenómeno relacionado con el ablandamiento del fruto es la solubilización progresiva y despolimerización de las sustancias pécticas de la pared celular, tales pectinas solubles son modificadas y despolimerizadas bajo la acción de algunas enzimas pectinolíticas como: pectinesterasas (PE), pectatoliasas (PEL), poligalacturonasas (PG), entre otras como la actividad celulolítica (CEL) (Shaw *et al.* 1998).

El coeficiente de correlación que se utilizó fue el de Pearson, el cual es un índice cuyos valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Cuanto más cerca a 1 mayor es la correlación, y menor cuanto más cerca de cero. De acuerdo a la significancia estadística del coeficiente de correlación se pudo observar que las correlaciones fueron significativas, exceptuando a los mangos del control y a los tratados por la dosis de 150 Gy. .

**Tabla 15.** Correlaciones entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 20°C.

	<b>PME (R<sup>2</sup>)</b>
<b>Dosis</b>	<b>Pulpa</b>
<b>Control</b>	N.P.
<b>150 Gy</b>	N.P.
<b>575 Gy</b>	*0.93
<b>1000 Gy</b>	*0.73

\* = Correlación significativa al nivel de  $\alpha = 0.05$

R<sup>2</sup> = Firmeza vs PME

N.P.=No presentó correlación

Los resultados obtenidos en comparación con otros frutos como el chicozapote (Bautista *et al.* 2005) fueron similares ya que en este fruto se encontró también una correlación en la que la actividad PME disminuyó al igual que la firmeza conforme avanzó la maduración, no siendo así para otros frutos como el plátano (Hultin y Levine, 1965), pera (Nagel y



Patterson, 1967), naranja (Tahir *et al.* 1975) y papaya (Lazan *et al.* 1995) presentaron un comportamiento inverso al de estos, ya que en ellos se presentó que la actividad de PME aumenta y la firmeza disminuye en el proceso de maduración.

La relación del ablandamiento de frutos con el incremento de la actividad de enzimas ha estado mostrada en varios frutos (Knee, 1991). En duraznos Buescher y Furmanski (1978) consideran que las enzimas PME y PG son responsables del ablandamiento de este fruto.

En la tabla 16 se presenta la correlación entre firmeza y la actividad de la enzima PME en pulpa de mangos almacenados en refrigeración a 13°C, se puede observar que hubo una mayor correlación significativa en los mangos del control seguida de los tratados por la dosis de 1000 Gy. Los mangos de dichas dosis disminuyeron su actividad enzimática conforme avanzó la maduración al igual que la firmeza del mango. Se pudo observar que de acuerdo a la significancia estadística del coeficiente de correlación, las correlaciones fueron significativas a excepción de los mangos tratados por la dosis de 150 y 575 Gy que no la presentaron. Similar a los trabajos de Roe y Brummer (1981) quienes realizaron un estudio con mangos de la variedad 'Keitt', encontraron una correlación significativa de  $R^2=0.99$  entre la actividad de la enzima poligalacturonasa PG y la firmeza, esto también ocurrió en guayaba con  $R^2=0.987$  (Abu-Bakr *et al.*, 2003) en dátil (Hasegawa *et al.* 1969), durazno (Pressey *et al.* 1971), tomate (Hobson, 1993), manzana (Knee *et al.* 1978), aguacate (Awad y Young, 1979), mango (Abu-Sarra y Abu-Goutch, 1992) y papaya (Lazan *et al.* 1995).

**Tabla 16.** Correlaciones entre firmeza y la actividad enzimática de PME en pulpa de mango variedad 'Manila' almacenado a 13°C.

	<b>PME (R<sup>2</sup>)</b>
<b>Dosis</b>	<b>Pulpa</b>
<b>Control</b>	*0.85
<b>150 Gy</b>	N.P
<b>575 Gy</b>	0.24
<b>1000 Gy</b>	*0.69

\* = Correlación significativa al nivel de  $\alpha = 0.05$

R<sup>2</sup> = Firmeza vs PME

N.P.=No presentó correlación



De acuerdo a los resultados obtenidos de la actividad de la enzima PME y su correlación con la firmeza, se observó que tanto mangos almacenados a temperatura ambiente y en refrigeración, disminuyen su actividad enzimática y firmeza a medida que va madurando el mango como ocurrió en estudios realizados en frutas tropicales por Abu-Sarra y Abu-Goukh (1992) y Ketsa *et al.* (1998). Por otro lado, se observó que también la firmeza y la PME sufren un efecto debido al tratamiento por irradiación ya que se encontró que a dosis altas se mantiene una actividad menor.

### 5. 4 Análisis sensorial

La evaluación de los parámetros sensoriales después de un tratamiento postcosecha como lo es la irradiación gamma es de suma importancia ya que las frutas son apreciadas por su delicado sabor y aroma; de este modo la conservación de las típicas calidades sensoriales de las frutas irradiadas con propósitos de ampliar su vida comercial o de cuarentena es un requisito importante en términos de aceptabilidad por parte del consumidor. Es por eso que la calidad depende de características fisicoquímicas, microbiológicas bromatológicas y sensoriales; estas últimas, están integradas por atributos que influyen directamente en la apreciación del consumidor y comprenden aspectos como el sabor, color, olor y textura (Anzaldua, 1994).

Por lo anterior, el análisis sensorial se transforma es una herramienta de suma utilidad dado que permite encontrar los atributos de valor importantes para los consumidores, que sería muy difícil de medir de otra manera (Picallo, 2002).

La importancia relativa de los diferentes atributos de la calidad pueden ir cambiando a medida que el producto va pasando por distintos estadios desde la cosecha hasta el consumidor (Shewfelt, 1993), para demostrar lo anterior, se realizó un análisis sensorial de mangos almacenados a temperatura ambiente (20°C) y refrigeración (13°C) e irradiados por las diferentes dosis (150, 575 y 1000 Gy) incluyendo a los del control (figura 48 y 49).





### ***Evaluación de los atributos a 20°C***

#### **Apariencia:**

La apariencia es la primera impresión que el consumidor recibe y el componente más importante para la aceptación y eventualmente la compra. Distintos estudios indican que casi el 40% de los consumidores toma la decisión de compra en el interior del supermercado. La apariencia de los frutos con tratamiento de 1000 Gy tuvieron una mejor evaluación (3.6) a diferencia de los tratados a 575 Gy que tuvieron una menor evaluación (3.1) por parte de los panelistas como se observa en la tabla 17 y figura 48. Los frutos del control se mantuvieron en el tercer lugar de aceptación, por lo que se deduce que el tratamiento mejoró la apariencia de estos frutos.

#### **Color:**

La maduración de las frutas generalmente va unida a una variación del color. La transición más habitual, de verde a otro color, está relacionada con la descomposición de la clorofila, de modo que quedan al descubierto otros colorantes que antes enmascaraba dicho compuesto. Además, aumenta la producción de colorantes rojos y amarillos característicos de las frutas maduras. El contenido de carotenos, por ejemplo, se incrementa fuertemente en los cítricos y el mango durante la maduración. El color de los mangos con tratamiento a 1000 Gy presentaron una mejor evaluación (3.5) y como en segundo lugar los frutos del control quienes también tuvieron una mayor aceptación, por lo contrario, los mangos tratados a 575 Gy tuvieron una menor evaluación (3.2) (tabla 17 y figura 48).

#### **Aroma:**

Durante la maduración se producen ciertos compuestos volátiles que son los que proporcionan a cada fruta su aroma. La formación de aromas depende en gran medida de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche. Así, por ejemplo, los plátanos con un ritmo día/noche de 30/20°C, producen un 60% más de compuestos volátiles responsables de aroma que a temperatura constante de 30°C (Thompson, 1996). El aroma tuvo una mejor evaluación (3.3) con los frutos que no fueron tratados y los frutos que presentaron una menor evaluación fueron los tratados por la dosis de 575 Gy como se muestra en la tabla 17 y figura 48. La irradiación tuvo un efecto en el aroma en los frutos, los mangos tratados por las diferentes dosis presentaron menor



evaluación que los mangos del control y esto puede ser debido a que una de las alteraciones organolépticas más características es la aparición de un olor y/o sabor típico a radiación. Esto es debido principalmente al efecto de los radicales libres sobre los lípidos y las proteínas. Este aroma es más pronunciado inmediatamente después de la irradiación y decrece e incluso desaparece durante el almacenamiento o después de cocinar el producto (Narvaiz, 2000).

### Textura:

La textura está referida a la consistencia que presenta la pulpa del fruto cuando está maduro. La textura sufrió un efecto por el tratamiento, ya que los frutos tratados por la dosis de 150 Gy y los frutos del control presentaron una mejor evaluación (4.44) en comparación con los frutos de 575 Gy, los cuales tuvieron una menor evaluación (4.16) (tabla 17 y figura 48). Al comparar los resultados obtenidos al evaluar la firmeza del mango, se pudo observar que la dosis de 1000 Gy provocó una mayor pérdida de firmeza, esto concuerda con estudios realizados con fresas y manzanas irradiadas con rayos gamma donde se reveló que en ambas frutas la textura se ablanda al aumentar la dosis de tratamiento (Wills *et al.* 1981). Lo anterior demostró que tanto la percepción de los panelistas y los resultados obtenidos al evaluar dicho parámetro mostraron cierta relación.

### Sabor:

El sabor es la combinación de las sensaciones percibidas por la lengua (sabor o gusto) y por la nariz (aromas) (Wills *et al.* 1981). Sin bien son perfectamente separables unas de otras, por estar tan cerca los órganos receptores, simultáneamente al acto de acercar a la boca, morder, masticar y degustar, estamos percibiendo los aromas, particularmente aquellos que se liberan con la trituración de los tejidos. También es posible, sin embargo, hablar de un sabor/aroma visual, esto es, determinado aspecto externo, particularmente la madurez, permiten anticipar el sabor y/o aroma que se debe esperar al consumir el producto. El sabor de los frutos sin tratamiento fueron los que tuvieron una mejor evaluación (3.92), por el contrario, los frutos con tratamiento de 575 Gy tuvieron una menor evaluación (3.08) (tabla 17 y figura 48).



Lo anterior concuerda con Antonio (2007) que afirma que la utilización de dosis elevadas de radiación puede modificar su sabor, color y textura. También puede presentarse la aparición de un olor y/o sabor típico a radiación debido al efecto de los radicales libres sobre los lípidos y las proteínas. El aroma es más pronunciado justo después de la radiación. Disminuyendo, incluso desapareciendo, durante el almacenamiento o después de cocinar el producto.

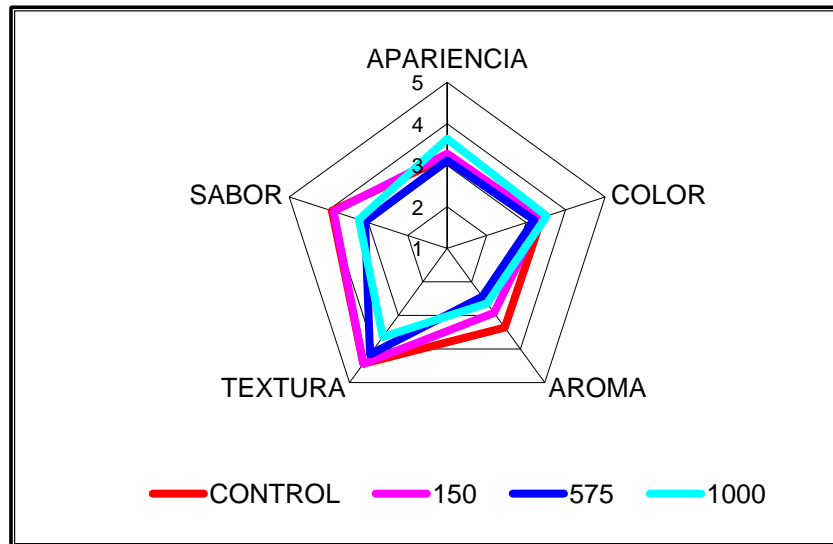
En la tabla 17 se muestran los resultados que se obtuvieron en el análisis sensorial de mangos almacenados a 20°C.

**Tabla 17.** Parámetros sensoriales evaluados en el mango 'Manila' almacenados a 20°C.

<b>MANILA 20 °C</b>				
<b>TRATAMIENTO/ ATRIBUTO</b>	<b>CONTROL</b>	<b>150 Gy</b>	<b>575 Gy</b>	<b>1000 Gy</b>
<b>APARIENCIA</b>	3,20 ± 1.25 a	3,28 ± 1.10 a	3,12 ± 0.97 a	3,64 ± 0.63 a
<b>COLOR</b>	3,40 ± 1.08 a	3,36 ± 0.81 a	3,20 ± 0.76 a	3,52 ± 1.12 a
<b>AROMA</b>	3,36 ± 1.18 a	2,92 ± 1.07 abc	2,44 ± 1.08 c	2,64 ± 1.15 c
<b>TEXTURA</b>	4,44 ± 0.65 a	4,44 ± 0.58 a	4,16 ± 0.68 a	3,64 ± 0.90 b
<b>SABOR</b>	3,92 ± 0.71 a	3,88 ± 0.66 a	3,08 ± 0.75 b	3,24 ± 1.09 b

Filas con letras diferentes indican diferencia significativa.

Los consumidores demandan un fruto de apariencia impecable, que sea inocuo, nutritivo y con la textura y el sabor típico del cultivar. La textura y el sabor (flavor) son las características claves que influyen en la aceptabilidad de los frutos como el mango, algunos test realizados con consumidores confirmaron que la aceptación puede predecirse mediante las determinaciones de sólidos solubles, acidez titulable y firmeza (Calvo y Candan, 2000). La evaluación de los atributos sensoriales se muestra en la siguiente figura 48:



**Figura 48.** Atributos sensoriales de los mangos irradiados a diferentes dosis y almacenados a 20°C.

### ***Evaluación de los atributos a 13°C***

Apariencia:

La apariencia de los frutos es un atributo muy importante ya que es la evaluación final en donde se confirman las sensaciones percibidas al momento de la compra y es la guía inmediata de la calidad de un alimento. Como se puede observar en la tabla 18 y en la figura 49, la apariencia de los frutos del control y los tratados a 575 Gy presentaron una mayor evaluación (3.84) a diferencia de los frutos con tratamientos de 150 y 1000 Gy que presentaron una menor evaluación (3.68).

Color

El color, tanto en intensidad como en uniformidad, es el aspecto externo más fácilmente evaluado por el consumidor. Es decisivo en aquellos productos como las hortalizas de hoja o frutos inmaduros tales como pepino, chaucha, etc. en donde un verde intenso está asociado a una mayor frescura. La pérdida del color verde es un indicador de senescencia. De acuerdo al análisis que se realizó (tabla 18 y figura 49), los frutos del control tuvieron una mayor evaluación del color (4.04) a diferencia de los tratados por la dosis de 1000 Gy que tuvieron una menor evaluación (3.32), esto indicó que hubo un efecto del tratamiento sobre este parámetro. Se ha visto que en algunas variedades de mangos, cuando se exponen a dosis bajas de radiación (0.25-0.75 kGy), que son óptimas



para retardar la maduración, pueden dar como resultado la degradación incompleta de la clorofila en la maduración, que puede afectar su atractivo visual (Molins, 2003).

### Aroma

El aroma de las frutas y hortalizas está dado por la percepción humana de numerosas sustancias volátiles. Es común que especies de un mismo género posean aromas similares. La palabra aroma normalmente se utiliza para olores agradables, mientras que olor se denomina al resto (Martens y Baardseth, 1987). El aroma de los mangos del control presentaron una mejor evaluación (3.80), por el contrario, los frutos tratados por 1000 Gy tuvieron una menor evaluación (2.32), la irradiación tuvo un efecto sobre este parámetro sobre todo porque los frutos expuestos a dosis más altas presentaron evaluaciones menores. Frutas y hortalizas refrigeradas poseen menos aroma pues la liberación de volátiles disminuye con la temperatura. Al igual que el sabor, muchos aromas son liberados cuando se pierde la integridad de los tejidos.

### Textura

La firmeza y la apariencia son los principales parámetros para estimar el grado de madurez de un fruto ya que la maduración inicialmente mejora y ablanda la textura del fruto, lo que asociado a los cambios en el sabor y color, hace que alcance la máxima calidad comestible. Sin embargo, a medida que este proceso continúa, se produce la sobremaduración, que conduce en última instancia a la desorganización de los tejidos y descomposición del producto. La textura de los mangos sin tratamiento tuvieron una mayor evaluación (4.12) a diferencia de los frutos con tratamiento de 1000 Gy, los cuales tuvieron una menor evaluación (3.60). La irradiación tuvo un ligero efecto en la textura, como se puede observar en la tabla 18 y figura 49. Anzaldúa (1994), sostuvo que los consumidores están cada vez más conscientes de la textura, y que los nuevos productos basan su atractivo en nuevas y diferentes texturas, más que en nuevos sabores u otras propiedades sensoriales. A su vez, define a la textura como la propiedad sensorial de los alimentos, que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación.

**Sabor**

En frutas y hortalizas, el sabor se expresa normalmente en términos de la combinación de principios dulces y ácidos, la que es un indicador de la madurez y de la calidad gustativa. El sabor de los mangos tratados por la dosis de 575 Gy presentó mejor evaluación (3.44) a diferencia de los frutos sin tratamiento que tuvieron una menor evaluación (2.84) tal y como se muestra en la tabla 18 y figura 49. Lo anterior concuerda con diversos estudios donde el efecto de la irradiación sobre los factores organolépticos puede provocar, en caso de dosis inadecuadas, un rechazo del alimento por parte del consumidor. Después de la irradiación pueden aparecer sabores desagradables resultantes de la producción de radicales libres. Un estudio sobre el impacto de la irradiación aplicada al zumo de naranja demostró la aparición de estos sabores, sin que se pudiera identificar la causa.

En la tabla 18 se muestran los resultados que se obtuvieron en el análisis sensorial de mangos almacenados a 13°C.

**Tabla 18.** Parámetros sensoriales evaluados en el mango ‘Manila’ almacenados a 13°C.

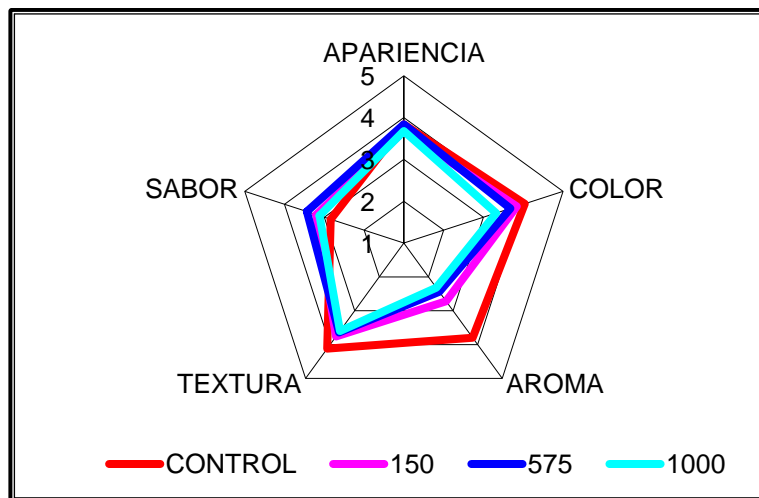
<b>MANILA 13 °C</b>				
<b>TRATAMIENTO/ ATRIBUTO</b>	<b>CONTROL</b>	<b>150 Gy</b>	<b>575 Gy</b>	<b>1000 Gy</b>
<b>APARIENCIA</b>	3,84 ± 0.89 a	3,68 ± 0.55 a	3,84 ± 0.68 a	3,68 ± 0.80 a
<b>COLOR</b>	4,04 ± 0.67 a	3,84 ± 0.74 a	3,68 ± 0.74 abc	3,32 ± 0.74 c
<b>AROMA</b>	3,80 ± 0.86 a	2,72 ± 1.17 b	2,44 ± 1.32 b	2,32 ± 1.31 b
<b>TEXTURA</b>	4,12 ± 0.72 a	3,76 ± 0.52 abc	3,64 ± 0.56 c	3,60 ± 0.86 c
<b>SABOR</b>	2,84 ± 1.10 a	3,20 ± 0.57 abc	3,44 ± 0.76 c	3,12 ± 1.01 abc

Filas con letras diferentes indican diferencia significativa.

Un ejemplo de utilización de análisis sensorial en hortalizas puede ser el realizado en Nueva Zelanda con Espárragos para exportación. Ahí, espárragos almacenados a 1°C durante 4 semanas fueron evaluados para medir su sabor, textura y color a través de un panel de jueces inmediatamente después de su almacenamiento y una vez más luego de 3 días a 20° C. En el mismo concluyen que los parámetros sensoriales descritos deben ser considerados cuando los espárragos frescos son manipulados, transportados y comercializados. Los cambios rápidos iniciales en sabor y color pueden ser tolerados pero la mayor pérdida de coloración con el almacenamiento prolongado (3 semanas) no sería



comercialmente aceptable y es acompañado por otros aspectos de deterioro. (King, *et al.* 1987). La evaluación de los atributos sensoriales de mangos a 13°C se muestra en la siguiente figura 49:



**Figura 49** . Atributos sensoriales de los mangos irradiados a diferentes dosis y almacenados a 13°C.

Al respecto, Chaplin (1988), señaló que hay múltiples factores que influyen en el agrado de la parte comestible del mango, lo cual podría explicar porqué la evaluación de la preferencia no reflejó, las diferencias en las características químicas, que a su vez deben haber generado diferentes sabores para cada material evaluado.

De acuerdo a lo anterior se puede deducir que la irradiación gamma $\gamma$ ) puede impedir la normal síntesis de compuestos responsables de aroma en frutos climatéricos como el mango, donde la producción de compuestos volátiles sigue el aumento de la frecuencia respiratoria. En segundo lugar, puede destruir componentes existentes del sabor. En tercer lugar, la irradiación provoca generalmente la producción de sabores extraños en los alimentos. Estas pueden ser evidente inmediatamente después de la irradiación e intensificarse cada vez con mayor tiempo de almacenamiento. La mayoría de las frutas estudiadas han sufrido efectos adversos sobre el sabor, de acuerdo con la dosis de irradiación absorbida (Murray, 1990).

También existe una creciente demanda de una calidad superior tanto externa como interna. Los aspectos externos (presentación, apariencia, uniformidad, madurez, frescura) son los componentes principales de la decisión de compra, la que normalmente es tomada cuando el consumidor ve la mercadería exhibida en el local de venta. Esto es



particularmente importante en los sistemas de autoservicio en donde el producto debe «autovenderse» y aquel que no es seleccionado, representa una pérdida para el comerciante. La calidad interna (sabor, aroma, textura, valor nutritivo, ausencia de contaminantes bióticos y abióticos) está vinculado a aspectos generalmente no perceptibles pero no por ello menos importante para los consumidores. Se puede decir que dentro de una tendencia general a un mayor consumo y variedad, el consumidor demanda calidad en términos de apariencia, frescura, presentación así como valor nutritivo e inocuidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos, hemos visto que el mango después de cosechado tiene una vida de almacenamiento muy corta, la cual oscila entre los 10 y 12 días a temperatura ambiente (Lakshminarayana, 1973); por este motivo es importante establecer métodos y condiciones óptimas para su conservación. El estado de madurez 100% verdes (M1) de los mangos permitió establecer las mejores condiciones para evaluar el efecto del tratamiento porque maduraron más lento que aquellos con un estado más tardío.

Los frutos de origen tropical como el mango desarrollan un conjunto de desórdenes fisiológicos conocidos como daños por el frío (Faroqui *et al.* 1985). Los frutos de mango están sujetos a sufrir daños por el frío cuando se almacenan a temperaturas menores de 13°C. (Couey, 1986), por lo tanto el almacenamiento prolongado es difícil, sin embargo, Salunkhe y Desai (1984) consideran que el almacenamiento prolongado a bajas temperaturas retarda la maduración de los frutos. Temperaturas comprendidas entre 12° y 13°C generalmente son consideradas óptimas para el almacenamiento de estos frutos (Kalra y Tandon, 1983).

El efecto del tratamiento sobre la pérdida de peso de los mangos fue notoria ya que se encontró que las dosis de 575 Gy para los frutos almacenados a temperatura ambiente y 1000 Gy para los frutos en refrigeración fue menor en comparación al resto de las demás dosis y los del control. Cabe señalar que también el empleo de la baja temperatura (13°C) logró mantener un porcentaje de pérdida de peso menor que los frutos de 20°C. A diferencia de un estudio por Luna *et al.*, (2006) en mango 'Ataulfo', el tratamiento hidrotérmico aplicado no mostró diferencias significativas entre los mangos tratados y los testigo, sin embargo, la mayor pérdida de peso se encontró cuando los frutos con tratamiento fueron almacenados en frío y posteriormente a temperatura ambiente.





La irradiación y la baja temperatura redujeron los sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) con respecto a los frutos que fueron almacenados a temperatura ambiente. Hubo un incremento paulatino conforme transcurrió el almacenamiento; esto indica un proceso de maduración normal, ya que se alcanzaron niveles similares en los frutos que maduraron a temperatura ambiente.

Al igual que los parámetros anteriores, la acidez y el pH fueron afectados por la temperatura de almacenamiento, se observó que los mangos disminuyeron su acidez y pH conforme fueron madurando y que al llegar al final del almacenamiento estos mantuvieron una acidez y pH mayores en comparación con los frutos almacenados a temperatura ambiente. Por otro lado, también sufrieron un efecto por el tratamiento los mangos en ambas condiciones ya que se pudo observar que la dosis que mantiene a los frutos con una acidez mayor fue la de 1000 Gy y esto es favorable porque la acidez influye en el sabor y aroma (Ruiz y Guadarrama, 1992).

Los patrones respiratorios de los frutos cambian dependiendo del momento en que fueron cosechados y del origen de los mismos. Sin embargo, hay que tener en cuenta otros factores que pueden influir en la velocidad de respiración de los frutos como la temperatura de almacenamiento, y condiciones de cultivo del fruto. Los mangos tratados por irradiación gamma de dosis de 150 y 575 Gy y almacenados en refrigeración a 13°C contribuyeron a prolongar la vida útil de los frutos a nivel comercial, también permitieron obtener mejores resultados en cuanto los parámetros de calidad, fisiológicos y bioquímicos.

El tratamiento por irradiación gamma (y la temperatura de almacenamiento fueron factores determinantes en la firmeza del mango 'Manila', variable que es considerada como uno de los principales atributos de calidad. Además hubo una interacción entre la temperatura de almacenamiento y el tratamiento. Si bien la degradación de la pared celular y el desprendimiento de monosacáridos del complejo péctico se reducen a bajas temperaturas, la interacción con el tratamiento contribuye a reducir la firmeza debido a la activación de enzimas hidrolíticas (Mattoo *et al.*, 1975; Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992).



El color fue el más notorio entre los cambios experimentales que ocurrieron en los frutos durante la maduración, y con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si el fruto está o no maduro. En ciertos casos puede constituir un buen indicador de madurez el desarrollo del color según lo expresado por Medicott *et al.* (1986).

Durante la maduración del mango ocurrieron cambios importantes en las sustancias pécticas, tales cambios le confirieron al fruto características sensoriales como la textura y esto fue el resultado de la actividad de numerosas enzimas principalmente hidrolíticas, entre este grupo se encuentra la pectin metil esterasa (PME) que fue la enzima que se determinó en la pulpa de los frutos. La actividad de PME en pulpa de mango muestra un comportamiento similar a los trabajos de Roe y Bruemer (1981) ya que al utilizar la misma fuente de estudio (mango), muestran también que la actividad PME desciende conforme avanza la maduración dando como resultado el ablandamiento del fruto. Los tratamientos por irradiación gamma permitieron disminuir la actividad enzimática de PME durante el proceso de maduración de los mangos, siendo la dosis de 1000 Gy la que mejores resultados mostró.

Para finalizar se deduce que los cambios que tienen lugar como consecuencia de la irradiación se puede deber tanto al efecto directo de la radiación sobre los constituyentes químicos de la fruta como al efecto indirecto resultante de los cambios inducidos por la radiación en la fisiología y maduración de las frutas. La mayoría de los componentes químicos de las frutas pertenecientes a la clase climatérica experimentan marcados cambios durante la maduración, y tales cambios son más pronunciados que los inducidos por la irradiación. También, una adecuada comparación y evaluación de los resultados de varios estudios es difícil debido a la variabilidad en las variedades ensayadas, en el estado de madurez y fisiológico de la fruta en el momento de la irradiación, en las dosis utilizadas, en la duración y condición del almacenamiento después de la irradiación, y en el estado de madurez de las frutas en el momento de analizarlas. Además, las variaciones biológicas dentro de las variedades y entre muestras a menudo son más grandes que los cambios observados siguientes a la irradiación. La tolerancia de la fruta a la dosis de radiación aplicada también es una consideración crítica. Si la dosis utilizada produce una fruta no comercializable por cualquier razón, los cambios en los componentes nutritivos no son de importancia práctica (Molins, 2003).



En el presente trabajo se observó finalmente que al evaluar el efecto de los tratamientos por irradiación gamma ( $\gamma$ ) permitió establecer las condiciones sobre los parámetros relacionados con la calidad, así como los parámetros fisiológicos y bioquímicos del mango de la variedad 'Manila' que no dañaran al fruto y que prolongaran su vida útil con ayuda de la refrigeración a 13°C. También se pudo evaluar el efecto del tratamiento sobre dos diferentes estados de maduración de mango 'Manila' de diferente procedencia.



# CONCLUSIONES





## 6. CONCLUSIONES

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

- El estado de madurez de los mangos que permitió establecer las mejores condiciones para evaluar el efecto del tratamiento por irradiación fue el estado preclimatérico.
- Las dosis de irradiación gamma que permitieron establecer las condiciones del tratamiento que no afectara la calidad fueron las dosis de 150 y 575 Gy para ambas condiciones de almacenamiento. Por otro lado, el costo del tratamiento fue de 1 a 2.5 dólares, dependiendo de la dosis administrada ya que entre más alta sea la dosis mayor costo tiene.
- La dosis de irradiación gamma que presentó un efecto superior sobre el pH, pérdida de peso y color de los mangos fue la de 1000 Gy para ambas condiciones de almacenamiento.
- Las dosis de 150 y 575 Gy no provocaron un efecto significativo sobre los parámetros de calidad, sin embargo, provocaron un incremento en la respiración que no afectó la vida útil de los frutos almacenados a 20 y 13°C.
- Los mangos tratados por irradiación gamma almacenados en refrigeración a 13°C contribuyeron a prolongar la vida útil del mango y permitieron obtener mejores resultados en cuanto los parámetros de calidad, fisiológicos y bioquímicos.
- Los mangos tratados por irradiación gamma almacenados a temperatura ambiente (20°C), tuvieron una vida útil menor de 12 días en comparación con aquellos frutos que fueron sometidos a refrigeración.
- Los tratamientos por irradiación gamma permitieron disminuir la actividad enzimática de PME durante el proceso de maduración de los mangos, siendo la dosis de 1000 Gy la que mejores resultados mostró.



- El efecto de la irradiación gamma sobre la evaluación de atributos de calidad mejoró la apariencia y el color de los mangos tratados por la dosis de 1000 Gy en mangos almacenados a 20°C, sin embargo, el aroma, textura y sabor de los mangos tuvo una mayor evaluación por la dosis de 150 Gy y los que no fueron tratados en ambas temperaturas de almacenamiento.
- Las condiciones recomendadas para la aplicación del tratamiento que no afecte la calidad de los mangos de variedad 'Manila' son las dosis de 150 y 575 Gy manteniendo una temperatura de refrigeración de 13°C para prolongar la vida útil de los frutos a nivel comercial.





# RECOMENDACIONES



## **7. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el efecto de la irradiación gamma sobre la actividad de la enzima Fenilalanina amonioliasa (PAL), como enzima clave en la síntesis de compuestos fenólicos en los mangos.
- Evaluar el efecto de un tratamiento combinado de irradiación gamma a 0.2 ó 0.75 kGy más agua caliente (53°C) para el control de antracnosis y podredumbre del mango.
- Evaluar el efecto de la irradiación gamma almacenado a temperatura ambiente y a baja temperatura, sobre la actividad de las enzimas poligalacturonasa (PG), polifenol oxidasa (PDO) y peroxidasa (PPO).
- Estudiar el efecto de la irradiación gamma sobre las enzimas de mayor importancia en el mango: Poligalacturonasa (PG) y Pectinmetilesterasa (PME) en diferentes variedades de mango durante su maduración.
- Aplicación del tratamiento con irradiación gamma y refrigeración a otros frutos susceptibles a alteraciones por microorganismos y pérdidas postcosecha.

# REFERENCIAS





## 8. REFERENCIAS

1. Abeles, F.; Morgan, P.; Saltveit, M. (1992). *Ethylene in Plant Biology*. Academic Press. Second Edition. New York, pp 414.
2. Abu-Bakr, A.; Abu-Goukh, A. y Hind, A. (2003). Changes in Pectic enzymes and Cellulose activity during guava fruit ripening. *Food Chemistry*. **83**: 213-218.
3. Abu-Sarra, F. y Abu-Goukh, A. (1992). Changes in the Pectinesterase, Polygalacturonase and Cellulase activity during mango fruit ripening. *Journal of Horticultural Science*, **67(4)**: 561-568.
4. Ahmed, M.; Naqvi, M.; Hussain, M.; Mohyuddin, M.; Sattar, A. y Mumtaz, A. (1973). Induction of ripening delay in mangoes (var. Dusheri) by gamma irradiation and refrigeration. *Pak. J. Sci. Ind. Res.* **15**: 314-319.
5. Aina, O.; Adesiji, O. y Ferris, S. (1999). Effect of gamma irradiation on postharvest ripening of plantain fruit (*Musa paradisiaca*) cultivars. *Journal of the Science Food Agriculture*. **79**: 653-656.
6. Akamine, E. y Goo, T. (1969). Effect of Gamma Irradiation on Shelf Life Extension of Fresh Papayas. *Atomic Energy Commission Report NVO*. U.S, **93(1)**: 1977.
7. Alcérreca, S.M. (2008). La irradiación de alimentos, su normativa y etiquetado. *Entorno Nuclear*, pp. 13.
8. Allende, R.; García, S. y Carrillo, A. (2002). *Enfermedades postcosecha en Mangos cultivados en Sinaloa*. Boletín del CIAD, Mayo-Junio. Departamento de Protección y nutrición vegetal, CIAD-Unidad Culiacán. Disponible en: <http://www.ciad.mx/boletin/mayjun02/mangos.pdf>.



9. Antonio, S. O. (2007). Alimentos irradiados, una alternativa de conservación. *Revista Imagen Agropecuaria*. Núm. 1, pp. 4.
10. Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Editorial Acribia S.A. Chihuahua, pp. 198.
11. AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, food composition; additives; natural contaminants*. Volumen II, publicado por the association of official analytical chemist, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15a edición, pp. 1298.
12. APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service. USDA). 2003. Irradiation as a phytosanitary treatment of imported fruits and vegetables. *Proposed rule. Red. Fed.* **65**:103.
13. Arévalo, G.; Saucedo C.; Ramírez, E. y González, H. (2002). Maduración de frutos de aguacate Hass. *Agrociencia*. **36 (6)**: 1-7.
14. Ashraf, M.; Khan, N.; Ahmad, M. y Elahi, M. (1981). Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **29**: 526-528.
15. Askar, A. y Treptow, H. (1993). *Quality Assurance in Tropical Fruit Processing*. Springer Laboratory. Germany, pp. 43.
16. Awad, M. y Young, E. (1979). Postharvest variation in cellulase, Poligalacturonase and Pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana Mill. cv. Fuentes*) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology*, **9**: 306-308.
17. Badui, S. (2006). *Química de alimentos*. 4ª ed. Pearson Educación. México, pp. 736.
18. Baker, R. (1997). Reassessment of some fruit and vegetable pectin levels. *Journal of Food Science*. **62(2)**: 225-229.



19. Baquero-Duarte, L.; Castro-Rivera, J. y Narváez-Cuenca, C. (2005). Catalase, Peroxidase and Poliphenol oxidase from Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Fruits: Ripening and Senescence. *Acta Biológica Colombiana*, **10(2)**: 49-59.
20. Barbosa, G. V. (1998). *Conservación no térmica de alimentos*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España, pp. 294.
21. Barret, D.; Somogyi, L. y Ramaswamy, H. (2005). *Processing Fruits, science and technology*. CRC Press. USA, pp. 841.
22. Bautista, B.; Arévalo, M.; Saucedo, C. y Martínez. M. (2005). Proceso de maduración de frutos de Chicozapote (*Manilkara Sapota L. P. Royent*) tipo fino. *Revista Chapingo*. **11**: 387-391.
23. Becerril, R. y Flores, A. (1994). Análisis de la situación frutícola en México. *VII Censo Agropecuario*. INEGI-CP. México, D.F., pp. 171.
24. Belloso, O. y Soliva, R. (2006). Effect of modified atmosphere package on the quality of fresh-cut fruits. *Rev. Stewart Postharvest* **1**:1-8.
25. Ben-Arie, R. y Lavee, S. (1971). Pectic changes occurring in Elberta Peaches suffering from woolly breakdown. *Phytochemistry*, **10**: 531-538.
26. Ben-Arie, R. y Sonego, .L. (1980). Pectolytic enzyme activity involved in woolly breakdown of stored peaches. *Phytochemistry*. **19**: 2553-2555.
27. Bowers, J. (1992). *Food theory and applications*. Macmillan Pub. Int. Ed. Nueva York, EEUU, pp. 952.
28. Briceño, S.; Zambrano, J. y Materano, W. (2005). Calidad de los frutos de mango 'bocado', madurados en la planta y fuera de la planta cosechados en madurez fisiológica. *Agronomía Tropical*. ISSN 0002-192X. **55(4)**: 461-473.



29. Buescher, R.; y Furmanski, R. (1978). Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. *Journal of Food Science*. **43**: 264-266.
30. Calvo, G. y Candan, A. (2000). Relación entre los parámetros de madurez y el análisis sensorial de manzanas. *Técnica INTA*, pp. 33.
31. Carpita, N. y Gibeaut, D. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The plant journal*. **3**: 1-30.
32. Chang, L.; Hammett L. y Pharr D. (1983). Carbon dioxide effects on ethanol production, pyruvate decarboxylase, and alcohol dehydrogenase activities in anaerobic sweet potato roots. *Plant Physiology*. **71**: 59-62.
33. Chaplin, G. (1988). Advances in postharvest physiology of mango. *Acta Horticulturae*. **231**: 639-648.
34. Chatpar, S.; Mattoo, A. y Modi, V. (1971). Biochemical studies on chilling injury in mangoes. *Phytochemistry*, **10**: 1007-1009.
35. Couey, M. (1986). Chilling injury in crops of tropical and subtropical origin. *Horticulturae Science*. **17**: 162-165.
36. Cruz, R.; Fortiz, J.; Ruiz S.; Zavaleta, R. y González, G. (2001). Efecto del Metil Jasmonato en la fisiología postcosecha de Mango 'Tommy Atkins'. En: *Reunión Interamericana de Ciencias Hortícolas*. **8(3)**: 206.
37. Desrosier, N. (1978). *Conservación de los Alimentos*. CECSA. México, pp. 468.
38. Díaz, J.C.; Zavaleta, R., Bautista, S.; Aguilar, B. y Sebastián, V. (1999). Cambios físicoquímicos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea L.*) cosechada en dos



- diferentes estados de madurez. *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha*. **2(1)**: 19-24.
39. Doreyappa, N. y Huddar, G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera Indica L.*) Fruits. *Journal of Food Science and Technology*, **38**: 135-137.
40. Duckworth, R. (1968). Frutas y Verduras. Acribia. Zaragoza, España, pp. 304.
41. Earle, M. (2003). *Fundamentals of food reaction technology*. Ed. Leatherhead Food International. UK, pp. 153.
42. Espinosa, G. y Hernández, V. (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.
43. Ezzat, H. (1974). Evaluation and Determination of the Maturity Stage of the Fruits of some Annona Varieties. *Agri. Res. Rev.* **52**: 7-17.
44. Faroqui, Q.; Sattar, A.; Daud, A. y Hussain, M. (1985). Studies on the postharvest chilling sensitivity of mango fruit (*Mangifera indica L.*) *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **98**: 220-221.
45. Fennema, R. (2000). *Química de los Alimentos*. 2ª Ed. Acribia S.A. España, pp.1280.
46. Flores, A. (2000). *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela*. Ed. UNILLETZ, Venezuela, pp. 224.
47. Food and Agricultural Organization (FAO) (2002). Base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <http://www.apps.fao.org/faostat/>.





48. Food and Agricultural Organization (FAO) (2005). Base de datos de producción mundial y comercio internacional de mango. Disponible en: <<http://www.apps.fao.org/faostat/>>.
49. Food and Drug Administration (FDA) (1997). *Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food*. Department of health and human services public health service U. S. Washington, **62**: 232.
50. Food y Water Watch (2006). *Status of food irradiation around the world*. Disponible en: <[http://www.foodandwaterwatch.org/world/publications/reports/food-irradiation\\_status-2006](http://www.foodandwaterwatch.org/world/publications/reports/food-irradiation_status-2006)>.
51. Fox, P. (1991). *Food Enzymology*. Elsevier Applied Science, London, pp. 636.
52. Frylinck, L.; Scharbort, D. y Johannes, C. (1987). Biochemical changes involved in stress response and ripening behavior of  $\gamma$ -irradiated mango fruit. *Phytochemistry*. **23(3)**: 681-686.
53. García, E. y Peña, C. (1995). La pared celular: componente fundamental de las células vegetales. *Universidad Autónoma de Chapingo*. México, pp. 75.
54. Gómez-Lim, A. (2000). *Postharvest Physiology*. En: *The mango Botany, Production and Uses*. Ed. CAB International, USA, pp. 587.
55. González-Aguilar, A.; Ayala-Zavala, F.; Rivera-López J.; Zavaleta-Gatica, R.; Villegas-Ochoa, A. y Tejedor- Espinoza, W. (2005). Reducción de deterioro en frutos de mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). *Ciencia de la Frontera* **3**: 49-57.
56. González-Aguilar, A.; Buta, G. y Wang, Y. (2001). Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances color development of 'Kent' mangoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **81**: 1244-1249.



57. González-Aguilar, A.; Villegas-Ochoa, A.; Cuamea-Navarro, F. y Ayala-Zavala, F. (2006). Efecto de la irradiación UV-c sobre la calidad de mango fresco cortado. *Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD, AC)*. **22**: 59-64.
58. 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.
59. Guevara, Y.; Rondón, A. y Solórzano, R. (1980). Bacteriosis del mango (*Mangifera indica L.*) en Venezuela. *Agronomía tropical*. **30**: 65-76.
60. Hagerman, E. y Austin, J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methylesterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **34**: 440-444.
61. Hasegawa, S.; Maier, P.; Kaszycki, P. y Crawford, K. (1969). Polygalacturonase content of Date and its relation to maturity and softness. *Journal of Food Science*. **34**: 527-529.
62. Herrero, A. y Guardia, J. (1992). *Conservación de frutos: Manual técnico*. Ed. Mundi-Prensa. España, pp. 409.
63. Hobson, E. (1993). *Maduración del fruto, en: Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Mc Graw Hill Interamericana, España, pp. 463-478.
64. Huber, J. (1983). The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticultural Reviews*. **5**: 169-219.
65. Hultin, O. y Levine, S. (1965). Pectin methylesterase in ripening banana. *Journal of Food Science*. **30**: 917-921.
66. Jackman, L. y Stanley, W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology*, **6**: 187-194.



67. Janick, J. y Paul, R. (2008). *The Encyclopedia of fruits and nuts*. Cambridge University Press. United Kingdom, pp. 16.
68. Jethro, J. y Harvey, T. (1988). *Tropical fruit processing*. Food Science and Technology. Academic Press Inc, pp. 184.
69. Jonh, W. (1972). *Principles of enzymology for the food science*. Marcel Dekker Inc. New York, USA, pp. 654.
70. Kalra, K. y Tandon, K. (1983). Screening of some north Indian non- commercial mango varieties for processing. *Journal of the Indian Society for Horticultural Science*. **51**: 136-140.
71. Kaupert, N.I. (1992). La irradiación como método cuarentenario eficaz para el tratamiento de frutas frescas. *Comisión Nacional de Energía Atómica*. Disponible en: <<http://www.caebis.cnea.gov.ar>> pp 1- 3.
72. Ke, D.; Yahia, E.; Hess, L. y Kader, A. (1995). Regulation of fermentative metabolism in avocado fruit under oxygen and carbon dioxide stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **120**: 481-490.
73. Ketsa, S.; Chidtragool, S.; Klein, J. y Lurie, S. (1998). Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of Polygalaturonase, Pectinesterase and  $\beta$ -Galactosidase of ripening Mango. *Journal Plant Physiology*, **153**: 457-461.
74. King, A; Henderson, G. y Lill, E. (1987). Sensory Analysis of Stored Asparagus. *Scientia Horticulturae*, **31**: 11-16.
75. Knee, M. (1978). Metabolism of polymethylgalacturonate in apple fruit cortical tissue during ripening. *Phytochemistry*. **17**: 1261-1264.



76. Knee, M.; Paull, E.; Ben-Aire, R. y Hawker, S. (1991). Enzymes in fruits. *En: Fox, PF., (ed.) Food Enzymology*. Elsevier Applied Science, London, pp. 598.
77. Krishnamurthy, S. y Subramanyam, H. (1970). Respiratory climateric and chemical changes in the mango fruit (*Mangifera indica L.*) *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **95 (3)**: 333-337.
78. Laborem, G.; Marín, C.; Rangel, L. y Espinoza, M. (2002). Influencia del pre enfriamiento sobre la maduración de 27 cultivares de mango. *Bioagro*. **14**: 113-118.
79. Lacey, K.; McCarthy, A. y Foord, G. (2000). Maturity testing of citrus. Farmnote 3/00. *Agriculture Western Australia*.
80. Lakshminarayana, S. (1973). Respiration and ripening patterns in the life cycle of the mango fruits. *Journal of Horticultural Science*. **48(3)**: 227-233.
81. Lakshminarayana, S. (1975). Relation of time of harvest on respiration, chemical constituents and storage life of mangoes. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. **88**: 447-480.
82. Lakshminarayana, S. (1980). *Tropical and Subtropical Fruits*. AVI Publishing Co., Wesport, Connecticut, pp. 187-257.
83. Lamikanra, O. (2002). Fresh-Cut. *Fruits and Vegetables (Science, Technology and Market)*, CRC Press. USA, pp.157.
84. Lazan, H.; Selamat, K. y Ali, M. (1995). B-Galactosidase, Polygalacturonase and Pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Physiologia Plantarum*. **95**: 109-112.
85. Lizada, C. (1993). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman y May. Londres, pp. 255-271.



86. Lozano, J. (2006). *Fruit Manufacturing. Scientific Basis. Engineering Properties and Deteriorative Reactions of Technological Importance*. Ed. CRC Press LLC, USA, pp. 196.
87. Lowry, H.; Rosebrough, A.; Farr, L. y Randall, J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biology and Chemistry*. **193**: 265-275.
88. Luchsinger, L.; Miranda, P. y Reginato, G. (2001). Tasa de producción de etileno y su relación con la maduración del fruto en variedades tempranas de nectarinos. *Tecnología postcosecha*, **2**: 185-194.
89. Luna, E.G.; Arévalo, M.G.; Anaya, S.R.; Villegas, M.A.; Acosta, R.M. y Leyva, R.G. (2006). Calidad de Mango 'Ataulfo' sometido a Tratamiento hidrotérmico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Sociedad mexicana de fitogenética A.C. Chapingo, México, **29(2)**: 123-128.
90. Martens, M. y Baardseth, P. (1987). Sensory quality. En: *Postharvest physiology of vegetables*. J. Weichmann (Ed.) Marcel Dekker, Inc., New York. **21**: 427- 454.
91. Martínez-Téllez, M. y Lafuente, M. (1997). Effect of high temperature conditioning on ethylene, Phenylalanine Ammonia-lyase, Peroxidase and Polyphenol oxidase activities in Flavedo of chilled (*Fortune*) mandarin. *Journal Plant Physiology*. **150**: 674-678.
92. Massey, M. y Bourke, J. (1967). *Some radiation-induced changes in fresh fruits and vegetable*. En: Gould, R. F. (ed), Radiation Preservation of Foods. Am. Chem. Soc. Publications, pp. 1-11.
93. Mattoo, K.; Murata, B.; Pantástico, K.; Chachin, K.; Ogata, C. y Phan, T. (1975). *Chemical changes during ripening and senescence in post harvest physiology handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables*. AVI, Westport, Conn, pp. 127.



94. McCollum, G.; D'aquino, S. y McDonald, E. (1993). Heat treatment inhibits mango chilling injury. *Horticultural Science* **28(3)**: 197-198.
95. McGuire, G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science*. **27**: 1254-1255.
96. Meddicott, A.; Bhogal, y Reynolds, S. (1986). Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. *Tommy Atkins*). *Annals of Applied Biology*. **109**: 651-656.
97. Medina, M. (1996). Fisiología postcosecha de mango. En: São José, A.R.; Souza, I.V.B.; Martins Filho, J.; Morais, O.M. (eds.) *Mango: Tecnología de producción de Mercado*. pp. 202-222.
98. Mestiza, M. y Escalante, R. (2003). Exportaciones hortofrutícolas mexicanas en el TLCAN: ¿ventaja comparativa? *Cuadernos de desarrollo rural*. México. Vol. 50 pp. 3.
99. Miller, L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. **31**: 426-428.
100. Mitra, K. y Baldwin, A. (1997). *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. CAB International. Inglaterra, pp. 85-122.
101. Modi, V. y Reddy, V. (1965). Carotenogenesis in ripening mangoes. *Indian J. Exp. Biol.* **5**: 233-235.
102. Molins, Ricardo A. (2003). *Irradiación de alimentos*. Principios y aplicaciones. Editorial Acribia, Zaragoza España, pp. 217-230.
103. Morton, J. (1997). *La irradiación de los alimentos*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza España, pp. 77.



104. Mukherjee, K. (2000). Mango botany and importance. En: . Litz, R.E. (ed). *The mango botany, production and uses* CAB International, USA, pp. 25.
105. Murray, R. (1990). *Biology of food irradiation*. Ed. Research Studies Pres LTD. UK, pp. 48-66.
106. Nagel, W. y Patterson, E. (1967). Pectic enzymes and developments of the pear (*Pyrus communis*). *Journal of Food Science*. **32(3)**: 292-297.
107. Nagodawithana y Reed (1993). *Enzymes in food processing*. Ed. Academic Press. 2ª ed. UK, pp. 363-391.
108. Narvaiz, Patricia (2000). *Irradiación de los alimentos*. Tecnológicas y agropecuarias. Centro Atómico Buenos Aires Argentina, pp. 1-4.
109. Natividad, F. (2003). Factores que influyen la maduración del fruto. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*, pp. 129.
110. Norma Oficial Mexicana (1995). (NOM-023-FITO-1995). Por la que se establece la Campaña Nacional contra Moscas de la Fruta.
111. Norma Oficial Mexicana (1997). (NOM-075-FITO-1997). Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta.
112. Ornelas, I. y Araiza, R. (2006). *El Mango*. Ed. Trillas. México, pp. 95.
113. Pantastico, B. (1987). *Fisiología de la post-recolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. C.E.C.S.A., México, pp. 663.
114. Paquetes tecnológicos para cultivos agrícolas en el estado de Colima, N° 3, Febrero 2005. Disponible en: <<http://www.colima-estado.gob.mx>>.



115. Parrotta, A. (1993). Mango (*Mangifera indica* L). *Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station*. New Orleans, LA: U.S, pp. 6.
116. Pearson, D. (1998). Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, pp. 331.
117. Picallo, A. (2002). El análisis sensorial como herramienta de calidad carne y productos cárnicos de cerdo. *Jornadas Regionales de Actualización en el Sector Lácteo y Porcino*. Tandil, Argentina, **14**: 215-217.
118. Pierre, B. y Carro, J. (2006). Simulación de la transferencia de calor durante el tratamiento hidrotérmico de mango. *Universidad Nacional Autónoma de Sinaloa*. Disponible en: <[http://www.pncta.com.mx/pages/pncta\\_investigaciones](http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones)>.
119. Pressey, R.; Hinton, M. y Avants, K. (1971). Development of Polygalacturonase activity and solubilization of pectin n peaches during ripening. *Journal of Food Science*. **36**: 1070-1073.
120. Prieto, J.; Covarrubias, J.; Romero, A. y Figueroa, J. (2005). *Paquete Tecnológico para el cultivo de mango en el estado de Colima*. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Gobierno del estado de Colima, pp. 50.
121. PROSERCO. (2006). Diagnóstico del sistema producto mango. Campeche. Disponible en:<[http://www.campeche.gob.mx/campeche/gobierno/organismos/proserco/diagnostico\\_archivos/diagnostico%20mango](http://www.campeche.gob.mx/campeche/gobierno/organismos/proserco/diagnostico_archivos/diagnostico%20mango)>.
122. Ramírez, G. (2005). *Efecto de las bajas temperaturas sobre aspectos fisiológicos y bioquímicos relacionados con los síntomas de daño por frío en mango (Mangifera Indica, L.)*. Tesis Licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM.
123. Reed, G. (1966). *Enzymes in food processing*. Ed. Academic Press. 2a. ed. UK, pp. 463.





124. Riov, J.; Monselise, P. y Kahan, R. (1968). Effect of gamma radiation on phenylalanine ammonialyase activity and accumulation of phenolic compounds in citrus fruit peel. *Radiat. Botany* **8**: 463- 466.
125. Ritchey, J. (2005). *Estadística para las ciencias. El potencial de la imaginación estadística*. McGraw Hill, México, pp. 609.
126. Roe, B. y Bruemmer, H. (1981). Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of 'Keitt' mangos. *Journal of Food Science*, **46**: 186-189.
127. Russian, T. y Manzano, J. (2003). Influencia de la temperatura sobre la calidad del fruto del mango 'pico de loro' durante el almacenamiento. *Agronomía Tropical*, **53**: 59-72.
128. Ruiz, M. y Guadarrama, A. (1992). Comportamiento postcosecha del mango (*Mangífera indica* L.) tipo bocado durante maduración controlada. *Revista Facultad de Agronomía (Luz)*, **18**: 79-93.
129. Sacher, A. (1973). Senescence and postharvest physiology. *Ann. Rev. Plant Physiology*. **24**:197-224.
130. Salunkhe, K, y Desai, B. (1984). Mango. En: *Postharvest biotechnology of Fruits*. C.R.C. Press Inc. Boca Raton, Florida. **1**: 77-94.
131. Sánchez, A.; Orozco, J.; Troncoso, R.; Ojeda, J.; Mercado, N.; Gardea, B. y Tiznado, E. (2007). Efecto de la Radiación Gama en la Actividad Metabólica del Meristemo Apical de Espárrago (*Asparagus officinalis*). *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Congreso Internacional Conjunto Cancún*. Hermosillo, Sonora, México, pp. 641.



132. 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 (*Mangifera indica* L.). especificaciones. Disponible en: <<http://www.economia.gob.mx/work/normas/nmx/2000/nmx-ff-058-scfi-200.zip>>
133. Seymour, G. y Gross, G. (1996). Cell wall disassembly and fruit softening. *Postharvest News and Information*, pp. 7: 45-52.
134. Shahina, N. (2002). *Enzymes and Food*. Oxford. Pakistan, pp 145.
135. Shashirekha, S. y Patwardhan, V. (1976). Changes in amino acids, sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. *Badami* variety). *Lebensmittel Wissenschaft Technology*. 9: 369-370.
136. Shaw, E.; Chan Jr., T. y Nagy, S., (1998). *Tropical and Subtropical Fruits*, A.G. Science Inc., USA, pp. 1-77.
137. Shewfelt, L. (1999). What is quality? *Postharvest Biology and Technology* 15:197-200.
138. SIAP-SAGARPA. (2007). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en: <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>>.
139. SIAP-SAGARPA. (2009). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Análisis de estacionalidad de la producción y precios en el mercado de productos hortofrutícolas y frijol. Disponible en: <<http://www.siap.sagarpa.gob.mx>>.
140. Singh, H. (1990). *Chemical aspects of irradiated mangoes*. A review. Whiteshell Nuclear Research Establishment. Pinawa, Manitoba, pp. 4-8.



141. NOM-033-SSA1 (1993). Norma Oficial Mexicana. Bienes y servicios. Irradiación de alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios.
142. Suresh, N.; Zora, S. y Tan, C. (2003). Chilling injury in relation two ethylene biosintesis in 'Kensington Pride' mango fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **79**: 82-90.
143. Tahir, A.; Chaudhry, S. y Malik, A. (1975). Improvement of quality and storability of orange cv. Aroma by adjustment of some pre-harvest conditions. *Pakistan Journal of Scientific Research*. **27(1-4)**: 9.
144. Teixeira, H.; Duringan, F.; Alves, E.; Figueiras, C. y Moura, F. (2000). Almacenamiento de los frutos de Bacuri en tres estados de maduración: Evaluación física, química y del color. *Tecnología Postcosecha*, **3**: 39-47.
145. Thompson, K. (1996). *Postharvest technology of fruits and vegetables*. Blackwell Science Ltd. U.K., pp. 410.
146. Tucker, A. y Grierson, D. (1987). *Fruit ripening, biochemistry of plants*. Academic Press Inc., New York. **12**: 265-319.
147. Vázquez-Salinas, C. y Lakshminarayana, S. (1985). Compositional changes in Mango fruit during ripening at different storage temperatures. *Journal of Food Science*, Chicago. **50(6)**: 1646-1648.
148. Verheij, M. y Coronel, F. (1992). *Edible fruits and nuts*. Plant resources of South East Asia No. PROSEA, Foundation, Bogor, Indonesia, pp. 446.
149. Whitaker, R. (1972). *Principles of enzymology for the food science*. Ed. Marcel Detitler Inc. New York pp. 469-471.
150. Wiley, C. y Lee, S. (1970). Modifying texture of processed apple slices. *Food Technology*, **4**: 1168-1170.



151. Wills, H.; Lee, H.; Graham, D.; McGlasson, B. y Hall, G. (1984). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. *New South Wales University Press Limited*. Kensington, Australia, pp.150.
152. Wood, L. (2007). *Bark and ambrosia beetles of South America*. Brigham Young University, Provo Utah. USA, pp. 506.
153. Yusef, M.; Quintana, G. y Kaupert, N. (2004). Estudio preliminar para el tratamiento cuarentenario por radiación gamma para carpocapsa (*cydia pomonella*) en manzanas y peras. *Comisión Nacional de Energía Atómica, Sector Alimentos*, pp. 4.
154. Zambrano, J.; Materano, W. y Briceño, S. (2000). Influencia del periodo de alacenamiento en las características postcosecha de cinco variedades de mango (*Mangífera indica L.*). *Agronomía Tropical*. **17**: 164-172.



# ABREVIATURAS



**ABREVIATURAS**

<b>APHIS-IS</b>	Animal and Plant Health Inspection Service-International Services
<b>CO-60</b>	Cobalto 60
<b>DGSV</b>	Dirección General de Sanidad Vegetal
<b>E<sub>1</sub></b>	Preclimaterio
<b>E<sub>2</sub></b>	Inicio del climaterio
<b>E<sub>3</sub></b>	Máximo climaterio
<b>E<sub>4</sub></b>	Postclimaterio
<b>γ</b>	Gamma
<b>ININ</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
<b>kGy</b>	Kilograys
<b>n</b>	Tamaño de la muestra
<b>PAL</b>	Fenilalanina Amonio Lisasa
<b>PME</b>	Pectin Metil Esterasa
<b>PF</b>	Peso Fresco
<b>PG</b>	Poligalacturonasa
<b>PDO</b>	Peroxidasa
<b>PPO</b>	Polifenol Oxidasa
<b>SST</b>	Sólidos Solubles Totales
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>UV</b>	Radiación Ultravioleta