

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EFECTO DE IRRADIACIÓN GAMMA EN LA ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE Y CALIDAD POSCOSECHA DE FRUTOS DE
MANGO (*Mangifera indica L.*) C.V. MANILA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

ISABEL JAQUELINE GUERRERO LÓPEZ

DIRIGIDA POR

Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2010.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EFECTO DE IRRADIACIÓN GAMMA EN LA ACTIVIDAD
ANTIOXIDANTE Y CALIDAD POSCOSECHA DE FRUTOS DE
MANGO (*Mangifera indica* L.) C.V. MANILA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

ISABEL JAQUELINE GUERRERO LÓPEZ

DIRIGIDA POR

Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA

SINODALES

Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA
DIRECTOR

Dra. MA. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS
SINODAL

Dra. SILVIA AMAYA LLANO
SINODAL

Dra. SANDRA MENDOZA DÍAZ
SINODAL

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas especiales a las que les gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mi, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones, siempre las llevaré en mis recuerdos y en el corazón.

Agradezco primeramente a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradezco con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias mamá y papá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado. Los quiero y este trabajo es para ustedes,

A mis hermanos, Fernando y Yazmin, gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A todas las personas que participaron e hicieron posible este proyecto, muchas gracias por su apoyo, confianza y enseñanza: Dr Edmundo Mercado Silva, director; Dra Estela Vázquez Barrios, Silvia Amaya Llano y Sandra Mendoza Díaz, sinodales. Sin ustedes no hubiera sido posible.

Gracias a todos los maestros que contribuyeron realmente en mi formación, por todos sus consejos, sus formidables clases, su paciencia y amistad como persona.

A mis amigos, los que han pasado y los que han quedado, porque todos ustedes han sido tantas veces parte aguas de mi vida, la han marcado de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo.

Alejandro, gracias por tu tierna compañía y tu inagotable apoyo. Gracias por compartir mi vida y mis logros, por ser alguien muy especial y por demostrarme que en todo momento cuento contigo, te amo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
II.1 Historia	3
II.2 Morfología del fruto	3
II.3 Información nutrimental y composición	4
II.4 Importancia económica del mango en México	5
II.5 Variedades cultivadas en México	6
II.6 Índice de cosecha y manejo poscosecha	8
II.7 Problemas en el manejo poscosecha	10
II.7.1 Enfermedades del mango	10
II.7.1.1 Antracnosis	10
II.7.1.2 Pudrición del pedúnculo	12
II.7.2 Plagas del mango	13
II.7.2.1 Mosca de la fruta (del género <i>Anastrepha</i>)	14
II.7.2.2 Control de la mosca de la fruta	14
II.8 Tratamientos cuarentenarios	15
II.8.1 Tratamiento hidrotérmico	15
II.8.2 Atmósferas modificadas y controladas	16
II.8.3 Tratamientos de radiofrecuencia	17
II.8.4 Irradiación	17
II.8.4.1 Efecto de la irradiación sobre la fisiología de frutas y hortalizas	19
II.8.4.2 Efecto de la irradiación sobre los nutrientes de los alimentos	20

II.8.4.2.1 Agua	20
II.8.4.2.2 Lípidos	21
II.8.4.2.3 Proteínas	21
II.8.4.2.4 Carbohidratos	22
II.8.4.2.5 Vitaminas	22
II.8.4.3 Efecto de la irradiación sobre aspectos de calidad	22
II.8.4.3.1 Propiedades físicas	23
II.8.4.3.1.1 Color	23
II.8.4.3.1.2 Textura	24
II.8.4.3.1.3 Tasa de respiración	25
II.8.4.3.2 Propiedades químicas	26
II.8.4.3.2.1 Acidez	26
II.8.4.3.2.2 Sólidos solubles totales	27
II.8.4.3.2.3 Ácido ascórbico	28
II.8.4.3.3 Actividad Antioxidante	29
II.8.4.3.3.1 Contenido de fenoles totales	30
III. HIPÓTESIS	32
IV. OBJETIVOS	33
IV.1 General	33
IV.2 Específicos	33
V. METODOLOGÍA	34
V.1 Materiales	34
V.1.1 Material biológico	34
V.2 Métodos	34
V.2.1 Transporte	34
V.2.2 Dosis y mapeo de la dosis de irradiación	35
V.2.3 Tratamiento de irradiación	36
V.2.4 Muestreo durante el almacenamiento	37
V.2.5 Transferencias	37
V.2.6 Calidad poscosecha	38

V.2.6.1	Propiedades físicas	38
V.2.6.1.1	Pérdida de peso	38
V.2.6.1.2	Firmeza	38
V.2.6.1.3	Calidad visual	38
V.2.6.1.4	Color	38
V.2.6.2	Propiedades químicas	39
V.2.6.2.1	Acidez	39
V.2.6.2.2	Sólidos solubles totales	40
V.2.6.2.3	Ácido ascórbico	41
V.2.7.3	Actividad antioxidante total	42
V.2.7.3.1	Compuestos fenólicos totales	43
V.3	Diseño experimental	44
VI.	RESULTADOS	46
VI.1	Dosimetría	46
VI.2	Calidad poscosecha	47
VI.2.1	Propiedades físicas	47
VI.2.1.1	Pérdida de peso	47
VI.2.1.2	Firmeza	50
VI.2.1.3	Calidad visual	51
VI.2.1.4	Color	56
VI.2.2.	Propiedades químicas	59
VI.2.2.1	Acidez	59
VI.2.2.2	Sólidos solubles totales	62
VI.2.2.3	Ácido ascórbico	66
VI.3	Actividad antioxidante	67
VI.3.1	Compuestos fenólicos totales	70
VII.	DISCUSIÓN	74
VII.1	Calidad poscosecha	74
VII.1.1.	Propiedades físicas	74
VII.1.1.1	Pérdida de peso	74

VII.1.1.2 Firmeza	74
VII.1.1.3 Color	75
VII.1.2. Propiedades químicas	76
VII.1.2.1 Acidez	76
VII.1.2.2 Sólidos solubles totales	77
VII.1.2.3 Ácido ascórbico	78
VII.2 Actividad antioxidante	78
VII.2.1 Compuestos fenólicos totales	79
VIII. CONCLUSIONES	82
IX. BIBLIOGRAFÍA	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Valor nutricional de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).	5
2	Dosis de irradiación para cada insecto.	19
3	Período de almacenamiento (días) a 10°C y 20°C de mangos transferidos antes de cada evaluación.	37
4	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso en mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	48
5	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso en mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	48
6	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	50
7	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	51
8	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de	58

almacenamiento sobre los valores de luminosidad (L^*) en pulpa de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.

- | | | |
|----|---|----|
| 9 | Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de luminosidad (L^*) en pulpa de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa. | 59 |
| 10 | Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de enrojecimiento (a^*) y amarillez (b^*) en pulpa de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa. | 60 |
| 11 | Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de enrojecimiento (a^*) y amarillez (b^*) en pulpa de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa. | 61 |
| 12 | Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) en mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa. | 62 |
| 13 | Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) en mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa. | 63 |

14	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	65
15	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	65
16	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) en mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	68
17	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) en mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.	68
18	Efecto de la dosis de irradiación sobre el índice de actividad antioxidante (% reducción DPPH/ g b.s.) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	70
19	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Morfología del mango.	4
2	Principales variedades de mango producidas en México: “Tommy Atkins”, “Kent”, “Haden”, “Kent”, “Manila” y “Ataulfo”.	7
3	Síntomas de Antracnosis en mango: a) flor, b) amarre de fruto, c) madurez, y d) poscosecha.	11
4	Pudrición del pedúnculo (<i>Dothiorella sp.</i>) en frutos de mango.	12
5	Mosca mexicana de la fruta.	13
6	Daños provocados en mango por moscas de la fruta.	14
7	Sistema de coordenadas CIELAB.	24
8	Estado de madurez fisiológico de mango cv. “Manila” seleccionados: a) 1/4 de madurez fisiológica (verde) y b) 3/4 de madurez fisiológica (maduro).	31
9	Distribución de cajas frente a la fuente de irradiación ^{60}Co y mapeo de la dosis de irradiación.	36
10	Curva estándar de fenoles totales (μg ácido gálico/ml).	44
11	Dosis máxima y mínima absorbida para los diferentes tratamientos de irradiación.	47

12	Efecto de la dosis de irradiación sobre el porcentaje de pérdida de peso registrado en mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	49
13	Efecto de la dosis de irradiación sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	52
14	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la calidad externa (piel) de mangos “Manila” almacenados 13 y 19 días a 90% de humedad relativa.	54
15	Efecto de la dosis de irradiación y estado de madurez fisiológica sobre la calidad externa (piel) de mangos “Manila” almacenados 13 días a 10°C + 6 días a 20°C (Mangos transferidos).	55
16	Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la calidad interna (pulpa) de mangos “Manila” almacenados 13 y 19 días a 90% de humedad relativa.	56
17	Efecto de la dosis de irradiación y estado de madurez fisiológica sobre la calidad interna (pulpa) de mangos “Manila” almacenados 13 días a 10°C + 6 días a 20°C (Mangos transferidos).	57

18	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	63
19	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en mangos “Manila” con 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	64
20	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en mangos “Manila” con 1/4y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	66
21	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	69
22	Efecto de la dosis de irradiación sobre la actividad antioxidante total (% reducción DPPH/g b.s.) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	71
23	Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).	73

RESUMEN

México ocupa el cuarto lugar en la producción mundial de mango y el primer lugar en exportaciones. Sin embargo, las zonas productoras muestran una alta incidencia de mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens*) que no se encuentra en los mercados de destino; por ello es preciso someter a los frutos a un tratamiento hidrotérmico aprobado por la USDA (sumergir en agua caliente a 46.1°C durante 70-110 minutos). La severidad de este tratamiento modifica la fisiología y disminuye la calidad sensorial del fruto maduro. Un tratamiento alternativo es la aplicación de una dosis mínima de 0.15 kGy de irradiación gamma, el cual tiene la ventaja de no elevar la temperatura de la fruta, con lo que probablemente se mejore la calidad sensorial del mango. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintas dosis de irradiación gamma en la calidad nutricional y antioxidante de mango. Para ello se realizó un experimento factorial de dos factores; temperatura de almacenamiento y dosis de irradiación. Los frutos tratados fueron analizados periódicamente evaluando pérdida de peso, parámetros de color, firmeza, acidez titulable, sólidos solubles totales, ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante. Los compuestos fenólicos aumentaron su contenido, preferentemente, en frutos de mango almacenados a 10°C e irradiados a una dosis de 0.6 kGy (22.4%) y 1.0 kGy (27.4%). Esta tendencia correspondió al aumento del índice de actividad antioxidante en los mangos, en donde al día trece y a una dosis de irradiación de 0.6 kGy (20.3 %) se presentó el mayor índice de actividad antioxidante. Los resultados obtenidos sugieren que una dosis menor de 0.6 kGy es el mejor tratamiento para mantener los atributos de calidad de los mangos, aumentar la vida útil y mejorar las propiedades antioxidantes.

I. INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica L.*) es una de las frutas tropicales más importantes con una producción global superior a 27 millones de toneladas, siendo la segunda cosecha tropical más grande, en términos de producción, superficie cultivada y popularidad. 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.

México es el principal exportador mundial de mango, siendo el cuarto país productor, antecedido por India, China y Tailandia. La producción nacional de esta fruta se localiza principalmente en los estados del pacífico del país desde Sinaloa hasta Chiapas y Veracruz en el Golfo de México. El principal mercado de las exportaciones mexicanas, lo constituye Estados Unidos. Sin embargo, una serie de requerimientos fitosanitarios impuestos por el gobierno de ese país está afectando las exportaciones de mangos que normalmente hace México a los Estados Unidos. Uno de los requisitos impuestos, es garantizar que la fruta vaya libre de plagas y/o enfermedades potencialmente dañinas a la agricultura de aquel país, para lo cual se da un tratamiento hidrotérmico a la fruta desde las empacadoras en México. Éste consiste en la inmersión de los frutos en agua a 46°C, durante 70 a 90 minutos dependiendo del tamaño de los mismos.

Las regiones tropicales donde el mango se produce son las más aptas para la producción de fruta dulce. Pero la mayoría de las regiones productoras también son hábitat para muchas plagas (en particular la mosca de la fruta del género *Anastrepha* y *Ceratitis*), lo cual significa que la fruta debe ser tratada para matar las plagas antes de exportarse a los Estados Unidos. Existen diversos tratamientos cuarentenarios, siendo el tratamiento hidrotérmico el más popular en América Latina que asegura el 100% de mortalidad de larvas de la mosca de la fruta (*Anastrepha obliqua* y *Anastrepha ludens*). Sin embargo, algunos miembros de la industria del mango han señalado que el tratamiento hidrotérmico es uno de los

factores por el cual, la calidad sensorial del mango a menudo es deficiente y no logra cumplir los estándares norteamericanos, resultando afectadas las exportaciones de mango hacia aquel país.

La irradiación es una alternativa de tratamiento cuarentenario viable ya que presenta menor potencialidad de causar daño a la fruta. Las principales inquietudes con la irradiación tienen que ver con la rastreabilidad a lo largo de todo el proceso de tratamiento y la confianza entre proveedores. En este proceso, se utiliza la irradiación ionizante que modifica el DNA de las plagas y las hace estériles. El mango tratado con irradiación a dosis bajas se conserva bien y no muestra daño alguno. Pero mientras más alta sea la dosis de irradiación que se aplica a los frutos, mayor es el daño potencial para la fruta. Aunque la irradiación se aprobó en Estados Unidos para fruta importada en 2002, el producto irradiado no empezó a llegar a ese país hasta 2007. Sin embargo, investigadores han señalado que la irradiación se ha utilizado desde 2004 para erradicar mosca de la fruta en mango embarcado de Australia a Nueva Zelanda. Actualmente la India ha iniciado la exportación de mangos irradiados a Estados Unidos, obteniendo resultados satisfactorios en la eliminación de plagas de insectos asociadas a este fruto, sin causar graves daños en la calidad nutricia y sensorial del mismo.

En México este tratamiento está iniciando su aplicación de manera comercial aún cuando no se han establecido de manera clara los efectos de esa irradiación en la calidad de diferentes variedades de mango. El tratamiento de irradiación de la fruta puede actuar directamente sobre el tejido, afectando el DNA y otras biomoléculas. Por otro lado, los radicales libres, generados durante el proceso de ionización como consecuencia de la radiólisis del agua de la fruta, pueden interactuar con los componentes del alimento, causando cambios significativos tales como la formación de hidroperóxidos o especies reactivas de oxígeno. Por lo tanto, el presente trabajo pretende aportar información respecto de los niveles óptimos de irradiación que deben aplicarse a los frutos de mango de la variedad "Manila" para satisfacer el tratamiento fitosanitario o mantener su calidad sensorial.

II. ANTECEDENTES

II.1 Historia

Los mangos han sido cultivados en la India por más de 4,000 años. A partir del siglo XVI, este fruto fue distribuido gradualmente alrededor del mundo y llegó a América en el siglo XVIII. Los mangos se consideran universalmente como uno de los cultivos más importantes y de los frutos más finos en las áreas subtropicales y tropicales del mundo. Los principales países productores incluyen a la India, Pakistán, Indonesia, México, Brasil y Filipinas. Otros productores importantes son Australia, África del sur, Israel, Egipto y Estados Unidos (Mata y Mosqueda, 1995).

II.2 Morfología del fruto

El mango es un árbol de hojas perennes y de una altura que varía de mediana a grande (9.1 a 30.5 m). Las copas redondeadas y simétricas, pueden variar de bajas y densas a erguidas y abiertas. Las hojas son lanceoladas, se disponen alternadamente, tienen una textura áspera o correosa, y poseen una longitud de 15 a 40.6 cm. El color de las hojas es rosado, ámbar o verde pálido cuando son jóvenes, pero se transforma a verde oscuro cuando las hojas maduran.

Los frutos se clasifican como drupas, varían en forma (redondeada, oval u ovoide), tamaño y color en función de la variedad. Los mangos pueden ser verdosos, amarillo-verdosos, amarillos, rojos, naranjas o púrpuras. El peso va desde unos pocos gramos hasta más de 2.3 kg. El fruto (Figura 1) consta de pericarpo (epicarpo, mesocarpo, endocarpo) y semilla (tegumentos, cotiledón, radícula). El epicarpo se forma de células isodiamétricas con paredes duras y canales oleoresinosos en la parte inferior, que producen el típico sabor y olor a trementina (Flores, 1994).

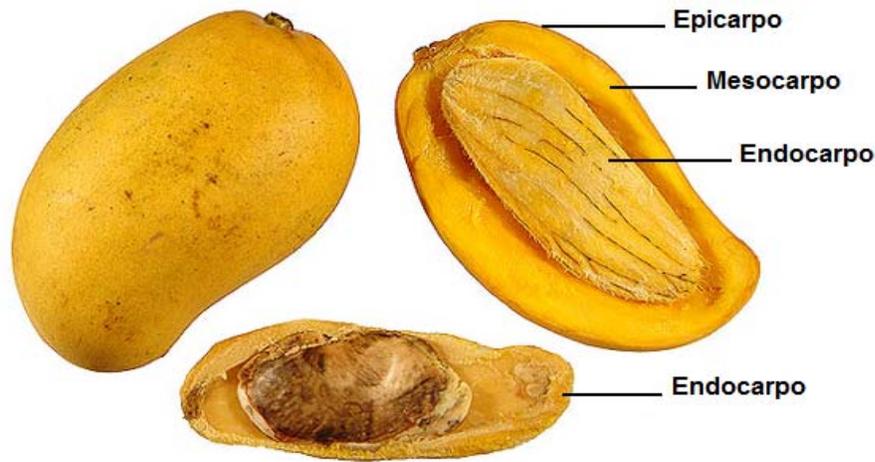


Figura 1. Morfología del mango (Flores, 1994).

El mesocarpo (parte comestible) es un tejido de parénquima suave, con abundantes cromatóforos que contienen los pigmentos responsables del color de la pulpa; la cual es rica en sólidos solubles totales (aproximadamente 20%) en su estado de madurez comercial o de consumo, su contenido de acidez varía entre 0.2% y el 0.5%; mientras que el de proteínas es alrededor del 0.5%; así mismo es una fuente aceptable de vitaminas A, B y C. Los taninos se encuentran en forma moderada al igual que las grasas, y su sabor se asocia al contenido de azúcares, ácidos y ciertas sustancias aromáticas (Hulme, 1971).

El endocarpo es un tejido duro que en su lado externo se prolonga en fibras numerosas, mientras que es liso en el interior. La cantidad y longitud de las fibras es un carácter varietal, de importancia en el valor comercial de la cosecha. Los mangos poseen una sola semilla grande, alargada, en forma de riñón y que posee una cubierta leñosa.

II.3 Información nutrimental y composición

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. Su valor calórico es de 62-64 calorías por cada 100 g de pulpa. En el Cuadro 1 se presenta la composición química del mango, calculada para 100 g de pulpa en peso neto.

Cuadro 1. Valor nutricional de mango (*Mangifera indica* L.).

Componente	Contenido
Grasas totales (g)	0.30
Calcio (mg)	10.0
Fósforo (mg)	11.0
Hierro (mg)	0.10
Magnesio (mg)	9.00
Sodio (mg)	2.00
Potasio (mg)	156
Zinc (µg)	0.04
Vitamina A (UI)	3.89
Vitamina C (mg)	28.0
Vitamina B1 (mg)	0.06
Vitamina B2(mg)	0.06
Vitamina B3 (mg)	0.60
Vitamina B6 (mg)	0.13
Vitamina E (mg)	0.10
Ácido fólico (µg)	14.0

(FAO/FOASTAT, 2002)

II.4 Importancia económica del mango en México

La producción nacional de mango en los últimos años ha oscilado alrededor de 1.5 millones de toneladas, los principales estados productores son Michoacán (55%), Sinaloa (7%), Nayarit (28%) y Chiapas (0.1%). Aunque el destino de la producción se enfoca principalmente al mercado interno, una parte importante de ella se destina al mercado de exportación, siendo los Estados Unidos el principal mercado de destino, ya que recibe un 56% del total de las exportaciones mexicanas (Huang y Huang, 2007).

Tan sólo en el 2008 se obtuvieron cerca de 110.5 millones de dólares por la exportación de este producto (SAGARPA-SIAP, 2009). Lo anterior coloca a México como el principal exportador mundial de mango en América, siendo el cuarto país productor.

En los últimos cinco años, Brasil, Ecuador y Perú han surgido como exportadores, hacia los Estados Unidos, compitiendo fuertemente con México en el inicio y final de la temporada de exportación, ya que estos países tienen su pico de exportación cuando en México no hay producción (Zarazúa y Ponce, 2005).

II.5 Variedades cultivadas en México

En México se produce un gran número de variedades destacándose el “Manila”, “Haden”, “Ataulfo”, “Tommy Atkins”, “Kent”, Criollo, “Keitt”, “Manililla” y “Paraíso” Siendo la variedad Manila la más importante, tan sólo en el 2005 se produjeron 286,881.37 toneladas. Sin embargo, los principales cultivares que se producen en el país con fines de exportación son “Tommy Atkins”, “Haden”, “Kent”, “Keitt” y “Ataulfo”; esto debido a sus características de sabor, aroma, tamaño, menor fibrosidad, mayor firmeza; además desarrollan un color más atractivo que el de otras variedades y son resistentes al transporte.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las variedades producidas en el país (Yahia y col., 1997).

Variedad Kent: Es de tamaño grande (500 a 800 gramos), posee un color amarillo-anaranjado adquiriendo en la madurez una chapa rojiza, es de forma ovalada orbicular, de agradable sabor, jugoso, de poca fibrosidad y alto contenido de azúcares.

Variedad Keitt: Posee un tamaño mediano grande (600 gramos), es de forma ovalada y posee una pulpa de poca fibrosidad, jugosa y muy firme.

Variedad Haden: Es de tamaño medio grande (380 a 700 gramos), adquiriendo en la madurez un color rojo-amarillo también con capa rojiza. Posee forma ovalada, de pulpa firme y de color y sabor agradable.

Variedad Tommy Atkins: Posee un tamaño grande (600 gramos), es de forma ovalada, resistente a daños mecánicos y con mayor periodo de conservación, pero no posee las mejores características en cuanto a sabor y aroma.

Variedad Ataulfo: Posee un tamaño pequeño (10 gramos), es de forma aplanada y alargada, con un sabor fuerte; el color de la pulpa es amarillo y no tiene fibra.

Variedad Manila: Son de tamaño medio con peso de 200 a 275 gramos, son de forma elíptica y color amarillo, con cáscara, pulpa amarilla, firme, dulce, con alto contenido de fibra.

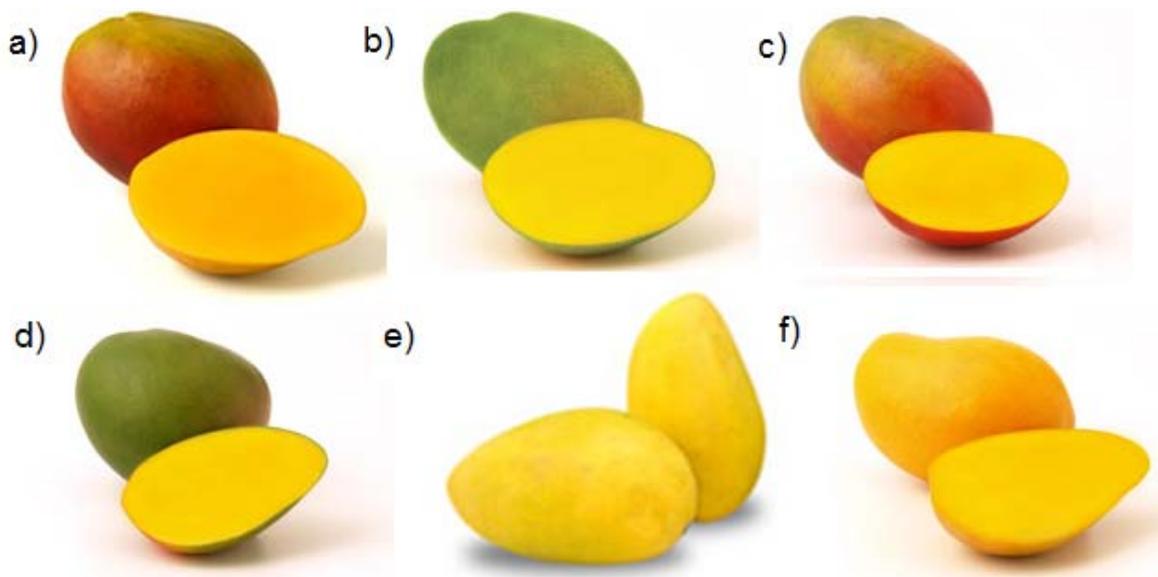


Figura 2. Principales variedades de mango producidas en México: a) “Tommy Atkins”, “Keitt”, “Haden”, “Kent”, “Manila” y “Ataulfo” (Bateman, 1972).

II.6 Índices de cosecha y manejo poscosecha

El mango es un fruto climatérico, lo que significa que tiene la capacidad de madurar después de que ha sido cosechado, por lo cual para poder manifestar todas las condiciones de calidad del mango es necesario llevar el proceso de maduración en condiciones óptimas, principalmente de temperatura.

Cuando el mango madura a temperaturas entre 15.5°C y 18°C desarrolla cualidades que le hacen tener la piel más atractiva, pero el sabor es agrio; esos mangos requieren 2 a 3 días adicionales entre 21°C y 23°C para obtener el sabor dulce. Cuando la maduración de los mangos se desarrolla a temperaturas entre 27°C y 30°C podría resultar en piel oscura y desagradable; a temperaturas mayores a 30°C se retrasa la maduración. Por lo anterior, las condiciones ideales para que se desarrolle la maduración del mango de manera homogénea y adecuada es someter el producto a temperaturas entre 21°C y 23°C a un rango de humedad relativa entre 90% y 95% (Kader, 2009).

La cosecha es una de las actividades más importantes dentro del proceso productivo, es considerada como una de las alternativas para ingresar al mercado en época temprana a fin de obtener mejores precios. Dada su característica climatérica, el fruto del mango para exportación como producto fresco, se debe cosechar fisiológicamente maduro. La madurez fisiológica, es un estado en el cual el fruto no ha desarrollado todos sus atributos de calidad, pero al cosecharse desarrollaría el proceso de maduración con toda normalidad, manteniendo un buen color, olor y características organolépticas (Sergente, 1999). En cambio, la madurez de consumo o comercial, es cuando el fruto ha pasado por un proceso de maduración y ha alcanzado sus mejores características organolépticas (Flores, 1994).

Por tanto, es importante llevar a cabo la cosecha de los frutos en el estado de madurez adecuado, porque al estado de madurez óptima sigue la desorganización

de los tejidos, ablandamiento excesivo, pardeamiento enzimático y, en general, el deterioro del producto. Los índices de cosecha que se manejan para el mango son: el cambio de la forma de la fruta (llenado de los hombros), el cambio del color de la piel de verde oscuro al verde claro y al amarillo (en algunos cultivares) y el cambio de color de la pulpa del amarillo verdoso al amarillo o al anaranjado, dependiendo de los cultivares. El cambio de la forma de la fruta es el índice más utilizado para la mayoría de las variedades, a excepción del “Keitt”, ya que resulta fácil su reconocimiento y ofrece una buena precisión para determinar la madurez fisiológica. El llenado de los hombros es de fácil reconocimiento, cuando el fruto está maduro, éstos están sobre el punto de inserción del pedúnculo, cuando está medio maduro se encuentran al mismo nivel del punto de inserción y cuando están inmaduros están por debajo (Kader, 2009).

Un buen manejo posterior a la cosecha consiste en proteger la integridad del fruto, conservando su calidad de acuerdo con las tecnologías desarrolladas, en atención a sus características físicas, químicas y biológicas. Así mismo, se busca obtener frutos de máxima calidad, evitar al máximo los descartes y/o pérdidas de frutos, conservar el producto por el tiempo deseado y obtener un buen precio en el mercado internacional. Lo anterior se reduce a la conservación de la calidad y a la preparación del producto para facilitar su distribución o transporte (Sergent, 1999).

La conservación de la calidad se logra mediante controles adecuados del proceso de maduración y evitando los daños físicos y las enfermedades. La maduración influye sobre algunos factores de calidad tales como: color de pulpa y piel; sabor y olor. Los cambios ocasionados durante este período de maduración dependerá del cultivar, estado o grado de maduración y clima circundante, variando su manejo según el período disponible entre cosecha y venta al consumidor.

Posterior a la cosecha, es necesario manejar la cadena de frío eficientemente a fin de retardar al máximo la maduración del fruto. El manejo del producto en condiciones refrigeradas exige un amplio conocimiento de la biología del fruto, ya

que éste responde de manera diferente de acuerdo con el cultivar, tamaño, grado de madurez, temperatura y tiempo de refrigeración. La mejor temperatura para almacenar mangos en estado sazón es de 13°C y 90-95% de humedad relativa, ya que muchos cultivares presentan daño por frío o manchas marrones grisáceas en la piel, cuando se refrigeran a temperaturas inferiores. Cabe resaltar que los mangos parcialmente maduros pueden conservarse a 10°C (Kader, 2009).

II.7 Problemas en el manejo poscosecha

Una problemática que presentan los cultivos de mango son las mermas a las que están expuestas, esto debido a un gran número de factores, que van desde los ambientales (cambios climáticos), fitopatologías por su susceptibilidad a organismos patógenos, fisiopatologías por tratamientos o prácticas poscosecha inadecuados como las altas o bajas temperaturas, entre otros.

II.7.1 Enfermedades del mango

Las enfermedades constituyen un grave problema a nivel mundial, están causadas por acciones de microorganismos, generalmente hongos o bacterias. Entre las más comunes se encuentran la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), cenicilla (*Oidium mangifera*), roña (*Elsinoe mangifera*), pudrición texana (*Phymatotrichum omnivorum*), entre otras (Fitzell y Peak, 1984).

II.7.1.1 Antracnosis

La antracnosis es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, la cual es una de las enfermedades más importantes del mango, sobre todo cuando se presentan condiciones de alta humedad relativa y lluvias frecuentes (Fitzell y Peak, 1984). Esta enfermedad se presenta en todas las etapas fenológicas del cultivo, y causa pérdidas considerables tanto en precosecha como en poscosecha (Cook, 1975). En México se reportan en todas las regiones productoras de mango;

particularmente en Veracruz, Tabasco, Chiapas y Guerrero. Así mismo, se han detectado ataques fuertes en la etapa de floración y cosecha en Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Michoacán principalmente; debido a que el proceso de inducción floral se inicia cuando termina la temporada de lluvias y existe alta humedad ambiental y en el suelo.

Su presencia se caracteriza por la aparición de manchas oscuras (Figura 3) en hojas, flores y pedúnculos, que se unen formando áreas necrosadas irregulares en forma y tamaño; son ligeramente sumergidas en relación con el tejido sano y con penetración a la pulpa del fruto. Las manchas oscuras aumentan durante la maduración de la fruta y se presenta la pudrición (Becerra, 1995).

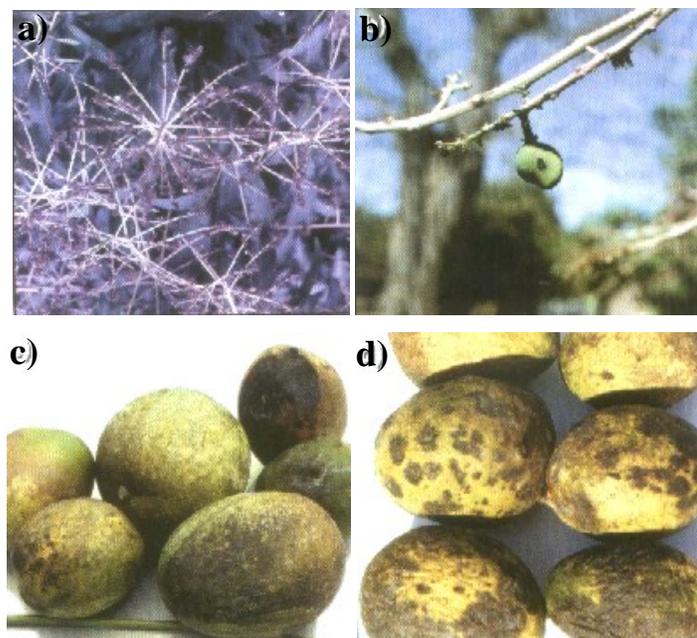


Figura 3. Síntomas de Antracnosis en mango: a) flor, b) amarre del fruto, c) madurez, y d) poscosecha (Becerra, 1995).

Para el control de la enfermedad se recomienda podar las ramas enfermas y eliminar los residuos infectados, con el fin de bajar al máximo la cantidad de inóculo presente. Establecer programas de combate químico que mantengan a la enfermedad bajo control por medio de aspersiones con *Bacillus subtilis* (AgroBacilo,

1 litro en 100 de agua) captafol (Difolatan), folpet (Folpan), clorotalonil (Bravo 720), mancozeb, maneb o captan (7 gr por litro de agua), benomil (Benlate o promil) o carbendazim (Bavistin1-2 gr por litro de agua) (Becerra, 1995).

II.7.1.2 Pudrición del pedúnculo

La pudrición del pedúnculo o pudrición basal del mango es una enfermedad que puede ser ocasionada por una variedad de hongos, entre los que se encuentran *Lasiodiplodia* sp., *Dothiorella* sp., *Citosphaera mangiferae* y *Pestalotiopsis* sp. Se considera la enfermedad más importante a nivel poscosecha después de la antracnosis (Johnson y col., 1990; Sharma y col., 1994). Los síntomas dependen del hongo involucrado; sin embargo, la lesión se ubica principalmente en el pedúnculo (Figura 4) que llega a causar la pérdida total del fruto, por lo que a pesar de que su incidencia es menor a la de antracnosis, su severidad en frutos individuales es mayor (Arauz y Umaña, 1986).



Figura 4. Pudrición del pedúnculo (*Dothiorella* sp.) en frutos de mango mostrando afecciones en la epidermis y manchas oscuras (Arauz y Umaña, 1986).

Los síntomas incluyen áreas difusas de aspecto húmedo que crecen a partir del pedúnculo en proyecciones en forma de dedo, las que rápidamente se tornan a un color oscuro y coalescen en lesiones circulares con márgenes irregulares. Es común

que la epidermis afectada se rompa y un líquido de color café fluya del pedúnculo o de las heridas abiertas.

Algunas de las prácticas que se han utilizado para combatir el hongo van dirigidas a bajar el inóculo del hongo, para que éste no alcance el pedicelo de la fruta antes de la cosecha (Johnson, 1994). La aplicación de fungicidas como Benomyl (Johnson y col., 1990), Captan, compuestos de cobre y tiabendazol en precosecha y poscosecha sigue siendo una forma común y efectiva para combatir dichas enfermedades (Yahia y col., 1997).

II.7.2 Plagas del mango

El mango es una fruta perecedera que enfrenta serios problemas de plagas, lo que hace difícil su comercialización. Existen diversas especies de insectos que se han reportado como plagas serias del mango, especialmente insectos de las órdenes *Diptera* y *Homoptera*, entre los cuales se incluyen varias especies de moscas de la fruta como *Anastrepa obliqua* y *A. ludens* (Figura 5), que son nativas de América tropical, esto ha creado un problema cuarentenario para proteger las zonas libres de estos insectos (Mata y Mosqueda, 1995).



Figura 5. Mosca mexicana de la fruta (CESAVEG, 2005).

II.7.2.1 Mosca de la fruta (del género *Anastrepha*)

Las moscas de la fruta están consideradas como una de las 10 plagas agrícolas de mayor importancia económica en el mundo. El género *Anastrepha* es endémico del nuevo mundo y está restringido a ambientes tropicales y subtropicales. Se encuentra distribuido desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Argentina; incluyendo la mayoría de las islas del Caribe. De las 195 especies descritas a la fecha, las de mayor importancia económica son: *Anastrepha ludens* Loew, *A. Obliqua* (Macquart), *A. Serpentina* (Wiedemann), *A. Striata* (Schiner). En México se han reportado 32 especies. Esta plaga afecta a más de 30 especies de frutales que se cultivan en forma comercial y a 60 que se cultivan en menor escala. Las moscas de la fruta atacan en estado adulto y depositan sus huevecillos en los frutos en desarrollo y el daño se hace evidente cuando se inicia la maduración del fruto (Figura 6). Las larvas se alimentan de la pulpa; sin embargo, el verdadero problema consiste en que al ir dentro del fruto pueden infestar zonas libres de dicha plaga cuando son transportadas a dichos lugares (Yahia y col., 1997).



Figura 6. Daños provocados en mango por moscas de la fruta (Aluja, 1993).

II.7.2.2 Control de la mosca de la fruta

Las moscas de la fruta representan el principal problema fitosanitario para la fruticultura, ya que reduce notablemente la producción de frutas y limitan su

comercialización en los mercados nacionales e internacionales. En México estas plagas pueden ocasionar pérdidas de hasta el 25% de la producción nacional, debido a los daños directos provocados por las larvas (Aluja, 1993).

Países como los Estados Unidos y Japón sólo permiten la importación de mangos a su país cuando se cuenta con la certificación de que las larvas y los huevos de la mosca de la fruta han sido eliminados en su totalidad con un tratamiento especial bajo control oficial. Se exige un tratamiento hidrotérmico con ciertos parámetros de tiempo y temperatura, sin embargo los tiempos de tratamiento son largos, por lo que se buscan alternativas como el calentamiento dieléctrico para minimizarlos (Proexant, 2006; Tang y col., 2007). Dicho calentamiento se basa en la transferencia de ondas electromagnéticas en determinadas frecuencias (cuya unidad de medición es el Hertz) a algún material con el fin de calentarlo. Las propiedades dieléctricas de los alimentos se determinan principalmente con el contenido de humedad y el de sal, pues ambos contenidos controlan la profundidad de penetración de las ondas, que oscilan entre 1 y 100 MHz de frecuencia (Herve y col., 1998).

En poscosecha, el control del insecto depende de las restricciones comerciales de los países consumidores. Inicialmente se utilizaba el fumigante dibromuro de etileno, que a pesar de ser efectivo, fácil y económico para el control de plagas, en 1984 se prohibió su uso debido a sus efectos cancerígenos (Sharp, 1986).

II.8 Tratamientos cuarentenarios

II.8.1 Tratamiento hidrotérmico

Todos los mangos destinados a la exportación deben recibir inmediatamente después de la cosecha un tratamiento hidrotérmico, el cual consiste en inmersión en agua caliente para eliminar posibles infestaciones de moscas de la fruta. Los mangos se sumergen durante 70, 90 o 110 minutos en agua a 46.1°C en función

del tamaño de los mismos, según lo estipulado por la normatividad de la (USDA, 2002). Este tratamiento podría acarrear inconvenientes si las frutas se enfrían demasiado rápido después del tratamiento térmico (preefriamiento), ya que pueden formarse sobre la cáscara manchas oscuras (café) al madurar la fruta, lo cual va en detrimento de su apariencia. Las frutas con este problema, provoca que sean sensibles al ataque por hongos además este enfriado de los frutos también está regulado por el mismo protocolo puesto que forma parte del mismo tratamiento contra las moscas de la fruta; aquellos frutos que son enfriados, deberán ser sometidos por 10 minutos adicionales en el tratamiento hidrotérmico. Si no se desea enfriar los frutos en agua (20°C) para evitar los 10 minutos adicionales, los mangos deben enfriarse primero a temperatura ambiente después del tratamiento hidrotérmico; y posteriormente los mangos deberán ser introducidos en las cámaras de almacenamiento refrigerado (Proexant, 2006).

II.8.2 Atmósferas modificadas y controladas

Los tratamientos de atmósferas modificadas consisten en una alteración de la composición del gas atmosférico normal, el cual se compone de 20.99% de oxígeno, 78.03% de nitrógeno, 0.03% de dióxido de carbono y trazas de otros gases. La atmósfera controlada es una atmósfera modificada que se mantiene con una pequeña variación en la composición de los gases o por la adición o remoción de algunos de ellos (Yahia, 1995).

La atmósfera controlada como tratamiento poscosecha para frutas y hortalizas, tiene un potencial para controlar insectos; bajo las condiciones de tiempos cortos de exposición a bajos niveles de O₂. Estas atmósferas insecticidas deben cubrir las condiciones de tiempo requerido para obtener el 100% de mortalidad, ese tiempo varía con la especie de insecto, su estado de desarrollo, la temperatura, las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono y la humedad relativa. Como tratamiento cuarentenario, la atmósfera controlada puede controlar plagas internas y externas sin que se presenten efectos adversos en el producto (Ke y Kader,

1992). La combinación de atmósfera controlada y/o atmósfera modificada con calor, es otra alternativa para controlar insectos, debido a que el calor aumenta el metabolismo del insecto y los hace más vulnerables. Recientemente, se ha logrado en mango “Manila” el 100% de mortalidad *in vitro* e *in vivo* de diferentes estadios de las especies de moscas de la fruta *Anastrepha ludens* y *A. obliqua*, cuando se aplicaron el 0% de oxígeno, 50% de dióxido de carbono a 44°C por 160 minutos. El uso de las atmósferas modificadas y atmósferas controladas a altas temperaturas para el control de insectos trae muchas ventajas, ya que no dejan residuos tóxicos en el alimento, en comparación a otros sistemas cuarentenarios (agroquímicos y tratamientos hidrotérmicos). Sin embargo, estas atmósferas insecticidas son muy extremas y por lo tanto pueden causar problemas de anaerobiosis y fermentación en las frutas. Por lo que la utilización de esta tecnología se restringe sólo a aquellos productos que toleran las condiciones aplicadas de gases y altas temperaturas (Ortega, 2000).

II.8.3 Tratamientos de radiofrecuencia

El término radiofrecuencia se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre 3 Hz y 300 GHz (Radmanesh, 2001). Para aplicaciones en alimentos, los equipos de radiofrecuencia constan de un generador que hace incidir un campo eléctrico oscilatorio entre dos electrodos. El calentamiento es debido a la energía oscilatoria que causa la polarización de las moléculas. Esta tecnología ha sido aplicada en tratamientos de desinfestación, pasteurización y esterilización, tratamientos poscosecha, secado, inactivación de enzimas, entre otros. Sin embargo, es una tecnología poco entendida y opacada por la difusión masiva de los hornos de microondas (Sosa-Morales, 2009).

II.8.4 Irradiación

La irradiación de alimentos, es un tratamiento no térmico que puede darse a ciertos alimentos mediante radiaciones ionizantes, generalmente electrones de alta

energía u ondas electromagnéticas (radiación gamma o radiación X). El proceso involucra exponer los alimentos a cantidades controladas de irradiación gamma utilizando como fuentes emisoras cobalto 60 (^{60}Co) y cesio 137 (^{137}Cs), los cuales son aceptados por organismos internacionales como la FAO, la OMS y el OIEA (Fellows, 2000).

La energía de rayos gamma y rayos X forma parte del espectro electromagnético; ambos son de longitudes de onda corta y de alta energía de manera que cuando interactúan con la materia pueden romper enlaces químicos y separar moléculas en fragmentos más pequeños que pueden ser neutros o con una carga eléctrica, es decir, formación de iones o radicales libres.

La principal diferencia entre estos tipos de radiación es la fuerza de penetración. Los rayos gamma y rayos X penetran hasta 30 cm cuando se irradia material de densidad consistente y considerable espesor. Mientras que el haz de electrones puede penetrar solamente 5 cm y es utilizado para irradiar productos de menor espesor (Bustos, 2001).

La dosis de irradiación se mide generalmente en una unidad llamada Gray (Gy), que mide la dosis absorbida de radiaciones ionizantes por un determinado material. Un gray es equivalente a la absorción de un julio de energía ionizante por un kilogramo de material irradiado (Josephson y Peterson, 1982).

En México, al igual que en otros 40 países, ha sido aprobada la irradiación como un tratamiento cuarentenario para exportación de frutas y hortalizas frescas, aplicable a cítricos, mangos y papayas. Principalmente para desinfestación contra moscas de la fruta como la del Mediterráneo, la Oriental, la Mexicana o la del Caribe (Notimex, 2008).

Los efectos de la irradiación sobre los insectos se presentan en su etapa de desarrollo y son proporcionales al grado de actividad reproductiva de las células y

al nivel de diferenciación de ellas. Los daños pueden expresarse con un desarrollo tardío, o pueden ser causados al tejido digestivo en el sitio de absorción y digestión del alimento; el daño al tejido nervioso puede aparecer en el periodo de eclosión y en los cambios de comportamiento, estos últimos pueden ser el indicador más sensible a los daños por irradiación (Nation y Burditt, 1994).

La esterilización de los insectos evita su capacidad de reproducción y, por ende, evita la propagación a zonas libres de esas plagas, en particular. La gran mayoría de los insectos más comunes quedan estériles en dosis mucho menores a los 400 Gy, como se aprecia en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de irradiación para cada insecto.

Insecto	Nombre común	Dosis (Gy)
<i>Bactrocera dorsalis</i>	Mosca de la fruta Oriental	250
<i>Ceratitis capitata</i>	Mosca de la fruta Mediterránea	225
<i>B. Cucurbitae</i>	Mosca del melón	150
<i>Anastrepa fraterculus</i>	Mosca de la fruta Sudamericana	150
<i>A. Suspensa</i>	Mosca de la fruta del Caribe	150
<i>A. Ludens</i>	Mosca de la fruta Mexicana	150
<i>A. Obliqua</i>	Mosca de la fruta de India Occidental	150
<i>A. Serpentina</i>	Mosca de la fruta sapote	150
<i>B. Tryoni</i>	Mosca de la fruta Queensland	150
<i>B. Jarvisi</i>	Sin nombre común	150
<i>B. Latifrons</i>	Mosca de la fruta Malasia	150
<i>Sternochetus mangiferae</i>	Gusano de la semilla del mango	300

(USDA/APHIS, 2002)

II.8.4.1 Efecto de la irradiación sobre la fisiología de frutas y hortalizas

Por sus características técnicas y su acción sobre insectos y microorganismos, la

irradiación alarga la vida útil e inhibe el desarrollo y maduración de los frutos; en consecuencia, se pueden cosechar completamente maduros, transportar y mantener en almacenamiento por periodos más largos sin perder su calidad sensorial, sanitaria y nutricional; en comparación con los productos que no son irradiados.

Desde el punto de vista sensorial, la irradiación 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 (Foley y col., 2002). Los cambios nutricionales involucran, en la mayor parte de los casos, pérdidas de micronutrientes como las vitaminas A, C y E. Los tratamientos a bajas dosis parecen ser los más adecuados para frutas y hortalizas, si el objetivo es mantener las características nutricionales de la materia prima.

Por otro lado, se han hecho estudios con mangos cv. Alfonso en donde se muestra que los frutos tratados con 0.25 KGy de irradiación gamma extendieron su vida de anaquel entre 6 y 8 días a temperatura ambiente. Así mismo, se ha reportado que los contenidos de ácido ascórbico, sólidos totales, acidez y carotenoides, así como los atributos de calidad, no se ven afectados durante el almacenamiento a causa de la irradiación (Gholap y col., 1990).

II.8.4.2 Efecto de la irradiación sobre los nutrientes de los alimentos

II.8.4.2.1 Agua

La irradiación incidente sobre las moléculas de agua de los alimentos puede ionizarlas de tal manera que deja un ion H_2O^+ y un electrón libre (electrón acuoso), el cual es muy lento ya que casi toda la energía se ha invertido en arrancarlo de la molécula. El ion H_2O^+ es muy inestable y rápidamente se descompone en un H^+ y en un radical $\text{OH}\cdot$. El electrón acuoso, puede reaccionar con otras moléculas

orgánicas o con una segunda molécula de agua produciendo radicales $H\cdot$ e iones hidroxilo $OH\cdot$. Los radicales $H\cdot$ y $OH\cdot$ son moléculas neutras con gran reactividad química pues tienen un electrón desapareado que con muy poco esfuerzo tenderá a crear enlaces y captar así átomos a otras moléculas que podrían ser biomoléculas funcionales tales como proteínas o nucleótidos (Rosenthal, 1992).

Los iones hidroxilo y los protones libres al ser partículas con cargas opuestas no son peligrosos pues tenderán a atraerse neutralizándose y formando de nuevo agua. Pero las moléculas radicales neutras sí son peligrosas pues quedarán a la deriva por la célula hasta afectar alguna molécula de importancia biológica (Butler y col., 1984).

II.8.4.2.2 Lípidos

La irradiación de los lípidos tiene un efecto no oxidativo (directo) y oxidativo (indirecta). Los cambios no oxidativos se deben a la susceptibilidad a la irradiación. Como resultado se forman radicales libres por la abstracción de átomos de hidrógeno de otras moléculas, por la pérdida de un átomo de hidrógeno, y por recombinación con otros radicales. Algunos de los productos que se forman son H_2 , CO_2 , CO , alcanos, alquenos y aldehídos. En cambio, la oxidación de los lípidos da lugar a la producción de peróxidos, alcoholes, compuestos carbonílicos, ácidos hidroxilo y ceto, lactonas y polímeros. El efecto inmediato de la degradación de los lípidos en los alimentos se refleja en una disminución de la calidad organoléptica, debido a la formación de compuestos carbonilo (Rosenthal, 1992).

II.8.4.2.3 Proteínas

El principal efecto de la irradiación en las proteínas es la división de las moléculas grandes en unidades más pequeñas debido a la debilidad de los iones de hidrógeno cuando están en el área de ionización. Estos cambios serían letales para la vida bacteriana en los alimentos, pero no afectan la calidad nutricional de los

mismos (Rosenthal, 1992). Las reacciones de los electrones con las proteínas llevan a la desaminación, la escisión de péptidos y enlaces disulfuro, la adición de residuos de aminoácidos aromáticos y heterocíclicos, y la reducción de la metamioglobina (Josephson y Peterson, 1982).

II.8.4.2.4 Carbohidratos

La hidrólisis y degradación de moléculas de hidratos de carbono puede suceder debido a la irradiación. Sacáridos como la glucosa, pueden ser oxidados para formar los ácidos correspondientes, y como resultado de la escisión del anillo, se forman aldehídos. Moléculas grandes de hidratos de carbono (como la celulosa y el almidón) se dividen en unidades más pequeñas que resulta en la despolimerización (Rosenthal, 1992). Estos polímeros son muy sensibles a la irradiación y el daño inducido por esta causa cambios considerables en las membranas celulares y el tejido conjuntivo (Josephson y Peterson, 1982).

II.8.4.2.5 Vitaminas

La destrucción de vitaminas es producida indirectamente por la reacción de radicales libres o especies oxidantes como los radicales peróxido o compuestos carbonilo que reaccionan con ellos. Las vitaminas solubles en grasa se verían expuestas principalmente a los radicales producidos por la acción directa de la irradiación de los lípidos (Josephson y Peterson, 1982). Entre las vitaminas solubles en grasa, la vitamina E es la más sensible a las radiaciones y la vitamina D, la menos insensible (Rosenthal, 1992).

II.8.4.3 Efecto de la irradiación sobre aspectos de calidad

La calidad de los alimentos ha sido definida como el conjunto de parámetros que diferencian las unidades individuales de un producto y tiene importancia para determinar el grado de aceptación por el comprador (Kramer y Twigg, 1970). Esto

implica el grado de excelencia de un producto o su idoneidad para un uso particular. La calidad implica características sensoriales, valores nutritivos, componentes químicos, propiedades mecánicas, propiedades funcionales y defectos (Abbott, 1999).

II.8.4.3.1 Propiedades físicas

II.8.4.3.1.1 Color

El color de los alimentos no sólo es determinado por la estructura química de los pigmentos presentes, sino también por su estado físico en relación con los constituyentes no pigmentados. La luz reflejada por el producto lleva información utilizada por los inspectores para juzgar los diferentes aspectos de calidad. Sin embargo, la visión humana se limita a una pequeña región del espectro. El color puede ser descrito por diferentes sistemas de coordenadas (Figura 7). Una de las más comunes es el sistema Hunter L, a, b, donde L indica la luminosidad de color (L=0 rendimientos negro y L=100 indica blanca), a y b son coordenadas XY que indican las direcciones de color: a en el eje de las abscisas (valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo), y b en el eje de las ordenadas (valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo) (Abbott, 1999).

Los colorímetros identifican el color y el matiz para una medida más objetiva del color. Los parámetros son hue, saturación y luminosidad. Hue (H) es la percepción del color resultante de las diferencias en la absorción de la energía incidente en varias longitudes de onda, como verde, azul, amarillo y rojo. Saturación o croma (C) describe el reflejo de una determinada longitud de onda. La luminosidad (L) describe la relación entre el total de la luz reflejada y absorbida sin tener en cuenta la longitud de onda específica (Abbott, 1999).

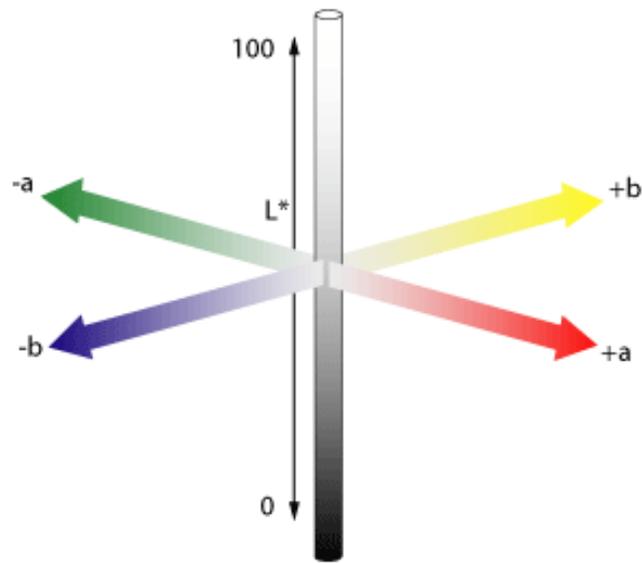


Figura 7. Sistema de coordenadas CIELAB (Abbott, 1999).

Se sabe que la irradiación puede destruir los pigmentos en las frutas y su efecto depende de la dosis y las condiciones durante la irradiación (Hulme, 1971). Por lo tanto, puede ser notables cambios en el color. Algunos autores han investigado el efecto de la irradiación sobre el color de la fruta. Mitchell y col., (1992) no encontraron ningún efecto significativo en los valores de L y b de limones en 75 y 300 Gy de irradiación gamma pero los valores fueron más bajos en las frutas más verdes. En el mismo estudio, se demostró que cuando la dosis de irradiación se incrementa, el enrojecimiento de los mangos se reduce.

II.8.4.3.1.2 Textura

El sabor y la textura son dos criterios importantes que se utilizan para caracterizar y aceptar un alimento. La medición objetiva de la textura no sólo determina la resistencia del producto a la fuerza aplicada sino que ayuda a seleccionar: tiempo y temperatura de lavado y cocción; tipo adecuado de embalaje y maquinaria adecuada para pelado y cortado; así como a determinar el grado de madurez y a predecir fecha aproximada de óptima recolección (Pérez, 2007).

El material vegetal tiene una gran tendencia a suavizarse después de la irradiación y es probable que la mayoría de los frutos se ablanden a dosis inferiores de 2.0 kGy. La correlación entre el grado de polimerización de la pared celular y la pectina de la fruta, desempeña un papel importante en la textura de las frutas irradiadas (Hulme, 1971).

Diferentes estudios se han realizado para evaluar la textura de las frutas irradiadas. Fan y col., (2005) informaron que la firmeza de manzanas frescas cortadas se redujo un 22% al aumentar la dosis de irradiación de rayos gamma (de 0.5 a 1.0 kGy). Yu y col., (1995) encontraron que la firmeza de fresas fue menor después de la irradiación de haz de electrones en el 0.5, 1.0 y 2.0 kGy. Eaton y col., (1970) demostraron que el efecto de irradiación de rayos gamma en la textura de arándanos en dosis de 1.0, 1.71, 2.92, y 5.0 kGy cambia de acuerdo con el cultivar, pero en general todas las muestras irradiadas fueron más suaves que los controles. El-Samahy y col., (2000) encontraron que la aplicación de la irradiación gamma en mangos en dosis de 0.5, 0.75, 1.0 y 1.5 kGy causó una disminución significativa en la firmeza, y esta disminución fue proporcional a la dosis aplicada.

II.8.4.3.1.3 Tasa de respiración

La respiración es el proceso metabólico por el cual los carbohidratos son oxidados de manera progresiva con el oxígeno atmosférico generar moléculas de alta energía (ATP) y diversos compuestos intermediarios de otras vías metabólicas: CO₂, agua como subproductos del proceso. Además se genera energía no recuperable en forma de calor (Saltveit, 1997).

La respiración juega un papel importante en la vida poscosecha de los productos frescos, porque refleja la actividad metabólica de los tejidos, incluyendo la pérdida de sustrato, la síntesis de nuevos compuestos, y la liberación de energía (Saltveit, 1997). Los dos principales sustratos que se encuentran en las frutas son azúcares

y ácidos orgánicos, ambos son en gran parte secuestrados en la vacuola. Sin embargo, son liberados y por lo tanto disponibles para la respiración.

La irradiación induce un aumento inmediato en la tasa de respiración de la mayoría de las frutas (Hulme, 1971). La irradiación parece inducir una cierta modificación en las vías respiratorias que se traduce en un aumento en el índice de intercambio gaseoso, porque el consumo de oxígeno también puede ser estimulado, así como la producción de dióxido de carbono. El aumento en la tasa de dióxido de carbono es una característica del proceso de maduración en los frutos climatéricos. Este aumento se relaciona generalmente con algunos cambios metabólicos que conducen a la maduración de la fruta (Thomas, 1986). Por otro lado, Akamine y Goo, (1971) informaron que la respiración de mangos verdes expuestos a dosis de irradiación de rayos gamma de 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 kGy mostraron un incremento inicial en la tasa de respiración, alcanzando el pico un día después del tratamiento y luego se observó una disminución. También informaron de un ligero aumento en la respiración de la papaya inmediatamente después de la irradiación a 1.0 kGy. Similares hallazgos han sido reportados para plátanos y tomate (Thomas, 1986).

II.8.4.3.2 Propiedades químicas

II.8.4.3.2.1 Acidez

La mayoría de los frutos contienen diversos ácidos orgánicos que juegan un papel importante en el metabolismo de la fruta, como la fotosíntesis, respiración, la síntesis de lípidos, compuestos fenólicos, aromas volátiles, etc. Durante el desarrollo de los frutos el contenido de ácido varía según el nivel de madurez. Sin embargo, hay una gran importancia entre el contenido de ácido y el sabor de los frutos (Hulme, 1971). La proporción de azúcar/ácido se utiliza a menudo como un índice de aceptación por el consumidor y la calidad de las frutas. La acidez total es la suma de todos los ácidos, libres o combinados con iones, mientras que la acidez titulable es la acidez libre, que se mide por la neutralización del extracto de fruta

con una base fuerte. El objetivo es medir la neutralización total de todos los grupos ácidos incluyendo fenoles, aminoácidos y otros componentes que se combinan con el álcali (Hulme, 1971).

De manera natural hay una disminución de la acidez del fruto de mango conforme éste madura. Los ácidos predominantes son el ácido cítrico, málico y succínico. Diferentes hallazgos se han reportado sobre el efecto de la irradiación en la acidez de los frutos. Mitchell y col., (1992) y Fan y col., (2005) no encontraron ningún efecto significativo en la acidez titulable en rodajas de manzana irradiada o frutas tropicales (como los limones, mangos, mandarinas y nectarinas), respectivamente. Sin embargo, otros reportes indican que la acidez de las muestras de mango irradiados con rayos gamma fue mayor que las muestras no irradiadas (Youssef y col., 2002).

II.8.4.3.2.2 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales es un parámetro químico utilizado como un indicador para definir el estado óptimo de maduración de la fruta. Este parámetro también está asociado con el sabor dulce del producto (Seymour y col., 1993).

El contenido de sólidos solubles totales en las frutas suaves como la zarzamora, arándano y fresa está entre los rangos 1.02 y 15.2%. En los mangos de acuerdo a la variedad y estado de madurez, éste parámetro varía entre 9.1 y 18.27% (Hulme, 1971). Ladaniya y col., (2003) reportaron un incremento en el contenido de sólidos solubles totales de mandarinas y naranjas irradiadas a dosis de hasta 1.5 kGy. Eaton y col., (1970) encontraron un aumento en los sólidos solubles de arándanos y cerezas irradiados con dosis de rayos gamma de 100, 171, 292 y 500 Krad (1 rad = 0.01 Gy). Lacroix y col., (1992) demostraron que el nivel de sólidos solubles totales de mangos irradiados con dosis entre 0.3 y 0.6 kGy fue significativamente más alta que las muestras control. Mitchell y col., (1992) no encontraron ningún efecto de la irradiación en los sólidos solubles totales en mango

irradiado a dosis de 75, 300 y 600 Gy. Sin embargo, en el mismo estudio, el autor encontró una reducción en los sólidos solubles totales de los melocotones a 75 Gy.

II.8.4.3.2.3 Ácido ascórbico

Las frutas como el mango y los arándanos son fuentes de vitamina C (ácido ascórbico), un nutriente esencial en la dieta humana. Además, debido a su reducción y propiedades antioxidantes, la vitamina C es eficaz en el tratamiento y prevención de la arterosclerosis y otras enfermedades (Prior y col., 1998). El contenido de ácido ascórbico en mangos puede variar entre 9 y 33 mg/100g de pulpa, de acuerdo a la variedad, estado de madurez, condiciones de cultivo y poscosecha, procesamiento, e incluso el área geográfica donde la fruta es cultivada. Existen diversos factores que afectan el contenido de ácido ascórbico en las frutas, por ejemplo, la luz del sol, la lluvia, la fertilización, la madurez y la variedad. Se sabe que la vitamina C se reduce durante el tiempo de almacenamiento.

Varios estudios se han realizado para ilustrar el efecto de la irradiación en ácido ascórbico. Mitchell y col., (1992) informaron que la aplicación de rayos gamma con dosis de irradiación de 75 y 300 Gy en los mangos no tuvo ningún efecto sobre el total de la vitamina C. Sin embargo, a 600 Gy se observó una reducción significativa.

Además, Youssef y col., (2002) reportaron una disminución significativa (15.0-18.0%) de ácido ascórbico en pulpa de mango irradiado con rayos gamma (0.0 a 2.0 kGy). Beyers y Thomas (1979) encontraron que la irradiación de rayos gamma a dosis de 0.75, 1.50 y 2.0 kGy causó una pérdida del 17% del contenido de ácido ascórbico en el mango. Resultados contrarios fueron reportados por Ladaniya y col., (2003) que observaron que el contenido de vitamina C de la naranja, mandarina y limón se redujo en un 15.84%, 26.80% y 29.20% respectivamente, cuando los frutos fueron irradiados a una dosis de 1.5 kGy mediante rayos gamma.

II.8.4.3.3 Actividad Antioxidante

Las frutas contienen fitonutrientes que presentan propiedades antioxidantes. Además de la vitamina C y carotenoides, fenólicos, como flavonoides, antocianinas y taninos son componentes importantes en las frutas con potente actividad antioxidante (Prior y col., 1998). Enzimas como la fenilalanina amonio liasa (PAL) resultan importantes en el metabolismo de compuestos fenólicos (Frylinck y col., 1987).

Los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos trabajan juntos para eliminar las especies reactivas de oxígeno (ROS) de la célula: superóxido dismutasa (SOD) cataliza la dismutación de radicales superóxido (O_2^{\bullet}) a O_2 y H_2O_2 , después las enzimas peroxidasa (PX) y catalasa (CAT) catabolizan la conversión de H_2O_2 en H_2O y O_2 limitando la producción posterior de radicales libres a partir de H_2O_2 (Egea y col., 2007).

Los cambios en la actividad antioxidante pueden depender de la dosis y tipo de irradiación y fruto tratado. Moreno y col., (2007) reportaron que en mango (cv. Tommy Atkins) sometido a irradiación por haz de electrones (1.0-3.1 kGy), la tendencia de aumento observada en el contenido de compuestos fenólicos correspondió positivamente a los cambios en el índice de actividad antioxidante de los frutos, ya que el porcentaje de reducción del radical 2,2-difenilpicrilhidracil (DPPH) fue significativamente más alto para las muestras irradiadas al final del almacenamiento. Entre mayor fue la dosis de irradiación más alta la actividad antioxidante (Moreno y col., 2007).

El incremento en la actividad antioxidante sobre el radical libre DPPH es un indicador de la disminución de las reacciones oxidación, las cuales inducen la formación de compuestos que pueden alterar el sabor y olor de la fruta (Bondet y col., 1997).

Prior y col. (1998) reportaron una relación lineal entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante total de arándanos. Oufedjikh y col., (2000) mostraron que la aplicación de la irradiación gamma en 0.3 kGy de cítricos “Clementina” aumentó la actividad de PAL (Fenilalanina amonio-liasa). Lorinda y col. (1986) también reportaron un aumento en la actividad de PAL de mangos después de la radiación gamma en el 0.75, 1.25 y 1.75 kGy.

II.8.4.3.3.1 Compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos son importantes por su contribución nutricional y en la calidad sensorial de los frutos (color, astringencia, amargura y sabor). Algunos de estos compuestos, especialmente los flavonoides, tienen beneficios para la salud debido a su capacidad antioxidante. Se ha informado que los radicales libres causan daño oxidativo a los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos (Prior y col., 1998). Los radicales libres pueden estar relacionados con la etiología de las diferentes enfermedades como el cáncer, cardiovasculares y neurodegenerativas.

Químicamente, los compuestos fenólicos se definen como sustancias orgánicas en cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido al menos a un grupo funcional hidroxilo.

La acumulación de compuestos fenólicos en las frutas pueden ser más altos o más bajos que en otras partes de la planta, tales como corteza, hojas o la madera del corazón. La concentración de compuestos fenólicos disminuye a medida que la fruta madura (Seymour y col., 1993); y varía generalmente de acuerdo a la especie, variedad y temporada. Los compuestos fenólicos comunes en los frutos son ácido cinámico y derivados, flavanonas, antocianos y antocianinas, glucósidos de flavonoles y flavonoles y otros polifenoles condensados.

Se han reportado varios informes sobre la acumulación de compuestos fenólicos después de la irradiación. El-Samahy y col., (2000) y Youssef y col., (2002)

mostraron un aumento en el contenido total de compuestos fenólicos en mangos irradiados con rayos gamma. Mientras que Tan y Lam, (1985) encontraron un aumento en los fenoles totales de papaya y frutos de mango, que fueron irradiados con rayos gamma a 1.0 y 1.50 kGy; y 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 kGy, respectivamente.

La acumulación de compuestos fenólicos después de la irradiación está asociada con diferentes factores como las modificaciones que ocurren en las estructuras celulares como respuesta de los tejidos a la irradiación, como consecuencia del estrés y el incremento de la actividad de enzimas debido a la radiación y el incremento en la facilidad de extracción (mayor disponibilidad para su extracción debido a la permeabilidad de la célula). La ruptura de la estructura ocasiona un incremento en la permeabilidad celular provocando un mayor contacto entre enzimas y sustratos como los fenoles ya presentes en el tejido (Moreno y col., 2007).

De acuerdo a la información disponible; el tratamiento de irradiación gamma es una alternativa potencialmente benéfica para liberar de plagas a los frutos de mango. Aunque el nivel de dosis mínima aprobada para el tratamiento de estos frutos (150 Gy) parecen no alterar la fisiología de los frutos; hay una falta de información respecto a la dosis máxima aplicada. Por ello este trabajo se enfoca en determinar los cambios de calidad que pueden ocurrir cuando frutos de mango "Manila" sean sometidos a diferentes dosis de irradiación.

Esta información será una base fundamental de información que conformaría una base tecnológica de uso de esta tecnología para todos los posibles exportadores de mango manila.

III. HIPÓTESIS

El uso de irradiación gamma en frutos de mango 'Manila' puede alterar la calidad global de los frutos y generar un aumento en la actividad antioxidante, la cual se puede relacionar con la acumulación de compuestos fenólicos en el fruto después de la irradiación.

IV. OBJETIVOS

IV.1 General

Determinar los cambios en la actividad antioxidante y la calidad poscosecha de frutos de mango cv. "Manila" sujetos a distintas dosis de irradiación gamma.

IV.2 Específicos

- Determinar cambios de calidad visual, de pérdida de peso, color, firmeza, acidez y sólidos solubles totales en frutos de mango sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y temperatura de almacenamiento.
- Determinar los cambios en el contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante total de mango "Manila" sujeto a diferentes dosis de irradiación gamma y temperatura de almacenamiento.
- Relacionar los cambios en el contenido de ácido ascórbico y actividad antioxidante total con la resistencia del fruto al estrés oxidativo y la calidad general.

V. METODOLOGÍA

V.1 Materiales

V.1.1 Material biológico

Se utilizaron frutos de mango cv. “Manila” en dos estados de madurez fisiológica 1/4 y 3/4, denominados como verde y maduro respectivamente (Figura 8). Los frutos del cv. “Manila” tienen una forma tónica, cáscara lisa de color verde a amarillo dependiendo de su maduración, con una semilla central aplanada. Pulpa de color amarillo intenso y succulento con un sabor muy dulce y aromático. Los frutos se obtuvieron de la empacadora Ariabania ubicada en el municipio de Tecuala, Nayarit. El estado de madurez se seleccionó en función de las características de llenado de los hombros, color de piel y de la pulpa; lo anterior con asesoría del personal de la empacadora.

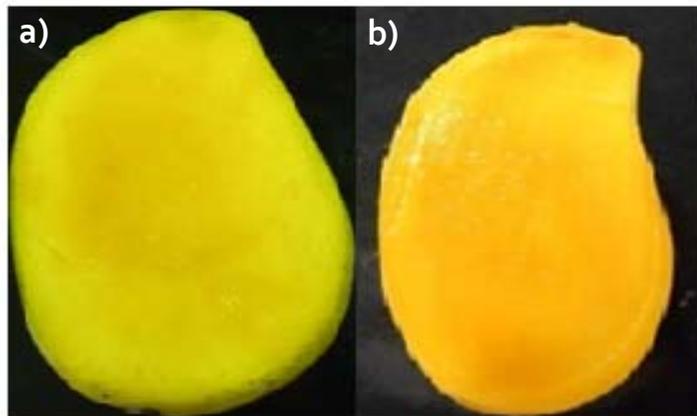


Figura 8. Estados de madurez fisiológica de mango cv. “Manila” seleccionados: a) 1/4 de madurez fisiológica (verde) y b) 3/4 de madurez fisiológica (maduro).

V.2 Métodos

V.2.1 Transporte

Los frutos de mango se transportaron desde el estado de Nayarit para su tratamiento a la planta irradiadora Sterigenics ubicada en Tepeji del Río, Hidalgo. Posterior a su tratamiento, los frutos se trasladaron al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se realizaron las respectivas evaluaciones de calidad durante su almacenamiento a partir del día siguiente al tratamiento de irradiación.

V.2.2 Distribución y mapeo de la dosis de irradiación

Para lograr una adecuada distribución de la dosis de irradiación, y tomando en cuenta la vida media de la fuente, el personal de la planta irradiadora hizo los cálculos necesarios para determinar el tiempo de exposición de cada una de las muestras. Dichas dosis se aplicaron en dos etapas, en la primera etapa las cajas recibían la mitad de las dosis o la mitad del tiempo calculado; después de ello, las muestras eran rotadas para que la cara más lejana se encontrara frente a la fuente y en esa posición se aplicó la dosis faltante para cada lote de frutos (Figura 9).

Se verificaron las dosis de irradiación (mapeo) para determinar la uniformidad de dosis ($UD = (D_{max}/D_{min})$) absorbida en el mango y su reproducibilidad. Esta medición consistió en distribuir 6 cajas de mango frente a la fuente de irradiación ^{60}Co , bajo cierto patrón de acomodo que garantizara la dosis mínima requerida. Se colocaron 2 dosímetros de alanina (FWT-50, Far West Technology, EUA) uno en un extremo y otro en el centro geométrico de cada caja de mango, correspondientes a la D_{max} y D_{min} absorbida respectivamente. Después de la aplicación de la dosis de irradiación, los dosímetros de metionina fueron retirados y llevados al equipo de resonancia de spin de electrón (ESR) (Bruker BioSpin's e-scan EPR, EUA) para determinar el nivel de dosis recibida.

El fundamento de la medición de dosis de irradiación se basa en que la α -alanina del dosímetro genera radicales libres de forma linealmente proporcional al nivel de dosis de irradiación recibido, estos radicales generados pueden ser detectados a

través de la técnica de espectroscopia de resonancia de espín electrón; donde se genera un espectro de resonancia en el cual se determina la intensidad de la señal a través del ancho de los picos (Oisson y Bergstrand, 2001). Los radicales libres generados en el dosímetro son estables por un periodo de tres a cuatro años. Finalmente, los datos obtenidos son utilizados por el equipo para calcular la dosis recibida.



Figura 9. Distribución de cajas frente a la fuente de irradiación ⁶⁰Co y mapeo de la dosis de irradiación).

La uniformidad de la dosis (UD) absorbida en cada conjunto de muestras, se determinó con las dosis máxima y mínima ($UD = D_{max}/D_{min}$), en donde la UD debe ser ≤ 3 para determinar las condiciones de la fuente ⁶⁰Co comercialmente aceptables (FAO/WHO, 1984).

V.2.3 Tratamiento de irradiación

Las cajas con mangos se sometieron a diferentes dosis de irradiación (0, 0.15, 0.6 y 1.0 kGy), de acuerdo al diseño experimenta planteado, en un irradiador Gamma industrial con fuente de ⁶⁰Co, en las instalaciones de la irradiadora Sterigenics localizada en Tepeji del Río, Hidalgo.

V.2.4 Muestreo durante el almacenamiento

Los frutos se pesaron individualmente y se distribuyeron de acuerdo al diseño experimental por temperatura de almacenamiento. Una muestra de cada tratamiento se evaluó para todas las variables de respuesta al día siguiente del tratamiento de irradiación, dichos datos representaron el muestreo 1. Los frutos durante el tiempo de almacenamiento se mantuvieron a 10°C y a 90% de humedad relativa (HR), mientras que otro conjunto de frutos (transferencias) fueron almacenados a 20°C y a 90% HR. Cada seis días se realizaron muestreos de todos los tratamientos para las determinaciones de las variables de respuesta, estos análisis se realizaron por un periodo de 19 días para un total de 4 muestreos.

V.2.5 Transferencias

Para evaluar el efecto de la temperatura sobre el proceso de maduración del mango, se realizaron transferencias de frutos almacenados a 10°C hacia 20°C. En el Cuadro 3 se muestran los días de almacenamiento a 10°C y a 20°C antes de cada evaluación para el grupo de mangos transferidos. Cada seis días se realizaron muestreos de todos los tratamientos para las determinaciones de las variables de respuesta, y estos análisis se realizaron por un periodo de 19 días para un total de 3 muestreos.

Cuadro 3. Períodos de almacenamiento (días) a 10°C y 20°C de mangos transferidos antes de cada evaluación.

Día de evaluación	Días de almacenamiento		Almacenamiento total
	10°C	20°C	
1	-	-	-
7	3	3	3 días a 10°C + 3 días a 20°C
13	7	6	7 días a 10°C + 6 días a 20°C
19	13	6	13 días a 10°C + 6 días a 20°C

V.2.6 Calidad poscosecha

V.2.6.1 Propiedades físicas

V.2.6.1.1 Pérdida fisiológica de peso

El peso de cada fruto se registró en una balanza digital y se determinó la pérdida de peso de los frutos considerando el peso inicial y el peso en cada muestreo, y al final del almacenamiento. El resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso con respecto del peso inicial (Muy y col., 2004).

V.2.6.1.2 Firmeza

La firmeza de las frutas se midió utilizando un Texturómetro TA-HD (Stable Micro Systems), en el cual los frutos se sometieron a un esfuerzo de deformación hasta alcanzar un valor equivalente al 3% respecto al diámetro ecuatorial del fruto y se registró la fuerza necesaria para alcanzar dicha deformación. Para ello se utilizó una sonda plana de aluminio de 50.8 mm de diámetro. Se realizó una medición en cada una de las caras opuestas del fruto y la fuerza fue expresada en Newtons (N).

V.2.6.1.3 Calidad visual

Se realizó un registro fotográfico de cada uno de los frutos analizados durante los cuatro muestreos realizados, utilizando una cámara Nikon Coolpix P90. Lo anterior con la finalidad de recopilar evidencia gráfica y visual que permitiera obtener un mayor entendimiento del desarrollo del estudio.

V.2.6.1.4 Color

El color de los frutos se midió como la reflexión de la luz blanca utilizando un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002 donde se registran los valores L^* , a^* y b^* de la escala internacional de color CIELAB. El color de la pulpa (interno) se

evaluó en la zona más cercana a la semilla y el color externo en la epidermis de la zona ecuatorial de los frutos (Little, 1975). Los resultados se expresaron como luminosidad (L^*), el cual es 0 para negro y 100 para blanco; valores negativos de a^* indican verde y valores positivos indican rojo; mientras que valores negativos de b^* indican azul y valores positivos indican amarillo.

V.2.6.2 Propiedades química

V.2.6.2.1 Acidez titulable

La acidez titulable representa a los ácidos orgánicos presentes en los jugos o extractos de las frutas, que se encuentran libres en la vacuola de la célula de las mismas, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres, glucósidos, etc.

Para determinar la concentración total de ácidos orgánicos libres, una alícuota de la solución que contiene el ácido se titula con una solución estándar de álcali (NaOH) hasta el punto en el cual una cantidad equivalente de la base ha sido añadida. Este punto final puede detectarse mediante el cambio de color que se produce por la presencia del indicador ácido-base empleado. Para reportar la acidez, se considera el ácido orgánico dominante del fruto, que en este caso es el ácido cítrico.

Para ello se tomaron 10 g de tejido fresco y se adicionó 10 mL de agua destilada, posteriormente se homogenizó en un homogenizador ULTRA-TURRAX T25 durante 30 segundos a 13500 rpm; el homogenizado se filtró a través de manta de cielo y del filtrado se tomó una alícuota de 5 mL para titularse con NaOH 0.1 N, empleando 0.3 mL de solución de fenolftaleína al 1% como indicador (AOAC, 1998).

La acidez titulable se expresó en % de ácido cítrico en 100 g de muestra, utilizándose la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(\text{normalidad NaOH})(\text{mL gastados NaOH})(\text{volumen aforado})(\text{meq. ácido})}{(\text{volumen alícuota})(\text{peso muestra})}$$

Miliequivalente del ácido cítrico = 0.064 g.

V.2.6.2.2 Sólidos solubles totales

Los °Bx representan el porcentaje de sacarosa en solución medido con un bixómetro, el cual indica el porcentaje de azúcar (sacarosa) por peso. Sin embargo, las frutas y hortalizas contienen otros sólidos solubles diferentes de la sacarosa, esto es, otros tipos de azúcares y también ácidos orgánicos, por lo que es más frecuente determinar el contenido total de éstos en porcentaje. Para ello se emplean instrumentos como el refractómetro de Abbe. Frecuentemente se consideran a los °Brix como equivalentes de los sólidos solubles totales porque el mayor contenido de sólidos solubles en el jugo de las frutas son azúcares.

La refractometría se basa en los cambios del índice de refracción que sufre una sustancia cuando otra es disuelta en ella. Si consideramos el jugo de fruta como una sustancia constituida por agua, su índice de refracción será mayor cuanto mayor sea la cantidad de azúcar presente en ella. Los refractómetros son instrumentos que miden esta variación, el cual consiste de un tubo con un prisma en su interior que dirige el rayo de luz incidente hacia una escala observable en un ocular. Al colocar una muestra líquida sobre el prisma (dos o tres gotas), ésta ocasiona una desviación proporcional a la cantidad de sólidos disueltos. Esta desviación es leída en la escala como porcentaje de azúcar, conocida también como grados Brix (Yahia y col., 1992).

Para la medición de los sólidos solubles totales en las muestras de mango se utilizó un refractómetro Abbe (Atago NAR-3T), el cual se calibró usando agua destilada a 20°C ajustando la lectura de índice de refracción a 1.333 y 0 de °Bx. Para la medición de la muestra se colocó unas gotas del jugo de la fruta entre las celdas

del refractómetro Abbe. El porcentaje correspondiente de sólidos solubles totales se obtuvo mediante lectura directa del índice de refracción y expresando los resultados como °Brix (AOAC, 1998).

V.2.6.2.3 Ácido ascórbico

Para la determinación de esta vitamina se siguió el método descrito en el AOAC, (1998). A 1 g de pulpa fresca se le agregaron 9 mL de solución de ácido metafosfórico (HPO_3) al 3% y se homogenizó en el homogenizador ULTRA-TURRAX T25 a 9500 rpm. El homogenizado se filtró a través de manta de cielo y una alícuota de 5 mL del extracto se tituló con una solución de 2,6-diclorofenol-indofenol hasta alcanzar el punto final de color rosa (AOAC, 1980). El contenido de ácido ascórbico se calculó con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg ácido ascórbico}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{(\text{mL gastados colorante})(\text{factor colorante})(\text{ml aforado})(100)}{(\text{mL alícuota})(\text{gramos muestra})}$$

El colorante se estandarizó en cada sesión de análisis. Para ello a 5 mL de una solución de ácido ascórbico de concentración conocida (0.1 mg/mL) se le agregó 5 mL de HPO_3 al 3% y se adicionó la solución colorante a estandarizar hasta alcanzar un color rosa durante 15 segundos. El factor del colorante (mg de ácido ascórbico/mL de solución colorante) se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de colorante} = \frac{0.5}{\text{volumen de titulación}}$$

Este método se fundamenta en la reducción de la sal sódica del 2,6-diclorofenol-indofenol por el ácido ascórbico. El 2,6-diclorofenol-indofenol es de color azul profundo pero incoloro cuando es reducido por el ácido ascórbico, en medio ácido es rojo (medio ácido: ácido metafosfórico-ácido acético). El ácido ascórbico, al reducir al 2,6-diclorofenol-indofenol elimina los dobles enlaces conjugados, y por lo

tanto desaparece el color. El valorante, actúa como autoindicador (A.O.A.C, 1990).

V.2.6.2.4 Actividad antioxidante total

El índice de actividad antioxidante se determinó siguiendo el método de radical libre de difenilpicrilhidracilo (DPPH) descrito por Bondet y col., 1997. El método está basado en las propiedades específicas de absorbancia del DPPH, que disminuye cuando el radical es reducido por la presencia de compuestos antioxidantes. El DPPH es un radical estable atribuible a la deslocalización del electrón desapareado, esta deslocalización también le otorga una coloración violeta caracterizada por una banda de absorción, en solución metanólica, centrada alrededor de una longitud de onda de 520 nm. Cuando una disolución de DPPH entra en contacto con una sustancia que puede donar un átomo de hidrógeno o con otra especie radical (R.) se produce la forma reducida del DPPH (DPPH-H ó DPPH-R) con la consecuente pérdida del color y por lo tanto la pérdida de la absorbancia.

Para realizar la determinación de actividad antioxidante se partió de los extractos utilizados para la cuantificación de fenoles totales. Se tomó 1 mL del extracto diluido 1:60 y se realizó una segunda dilución a 1:70.

Posteriormente se agregaron 20 μ L de la dilución anterior a 200 μ L de solución metanólica de DPPH (8 mM). La absorbancia se midió en un lector de microplacas (Molecular Devices Co., Sunnyvale, EUA) a 515 nm, durante 30 minutos cada 10 minutos. El índice de actividad antioxidante se expresó como % de reducción del radical DPPH, utilizándose la siguiente ecuación:

$$Q(\%/g) = \left(\frac{(\text{Abs inicial} - \text{Abs final})}{\text{Abs inicial}} \right) \frac{10}{W \text{ muestra (g)}}$$

Donde: Abs inicial= absorbancia al tiempo 0, Abs final= absorbancia a los 30 minutos de reacción, y W muestra= peso de muestra en gramos. Las mediciones se realizaron por triplicado.

V.2.6.2.5 Compuestos fenólicos totales

Para la determinación de fenoles totales se usó el método de Folin-Ciocalteu que se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu (coloración amarilla) contiene molibdato y tungsteno sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula (Dewanto y col., 2002). La intensidad del color se mide espectrofotométricamente a 765 nm.

Para ello se pesaron 0.25 g de pulpa liofilizada de mango, la cual se disolvió en 7.5 mL de metanol agitando durante 1 min en Vortex. El extracto se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 horas, posteriormente se diluyó con 7.5 mL de metanol y se filtró en manta de cielo. Se tomaron 50 μ L de ésta solución y se le adicionaron 125 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu. Se sónico durante 5 minutos. Después se agregaron 625 μ L de solución saturada de carbonato de sodio al 20%. La solución se dejó reposar durante 2 horas. La absorbancia se midió en un lector de microplacas (Molecular Devices Co., Sunnyvale, EUA) a 760 nm.

Los resultados se determinaron utilizando una curva estándar realizada con 8 diferentes concentraciones desde 0.0 – 8.0 μ g/mL (Figura 10) y se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG/100 g). De la curva estándar, x es la concentración de ácido gálico y, y es la absorbancia. Por lo tanto la ecuación de la recta es la siguiente:

$$y=0.1064x - 0.0164, R^2= 0.9952$$

La concentración de fenoles totales fue calculada de la siguiente manera:

$$x \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \left(\frac{y+0.0164}{0.1064} \right) \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} * \frac{15\text{mL}}{W_{\text{muestra}}(\text{g})} * \frac{0.001\text{mg}}{1\mu\text{g}} * 100$$

Donde W muestra= peso de la muestra liofilizada en gramos.

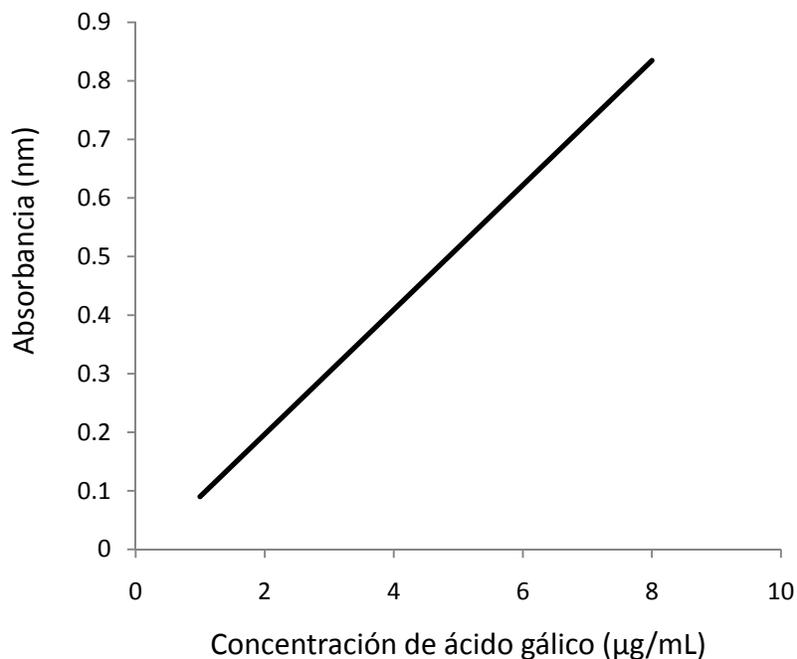


Figura 10. Curva estándar de fenoles totales (μg ácido gálico/ml).

V.3 Diseño experimental

El estudio se desarrolló en mangos de variedad “Manila” y se aplicó un experimento factorial aleatorizado de 2×2^3 con 2 réplicas, que produjo un total de 32 tratamientos. La unidad experimental para el muestreo fue de 3 frutos que conformaron un total de 48 frutos para cada periodo de muestreo.

Factores y niveles estudiados:

Dosis de irradiación gamma: 4 niveles (0, 0.15, 0.6 y 1.0 kGy).

Temperaturas de almacenamiento: 2 niveles (10°C y 20 °C).

Estados de madurez: 2 niveles (1/4 y 3/4).

VARIABLES DE RESPUESTA:

Calidad visual: registro fotográfico del aspecto externo e interno de cada uno de los frutos analizados.

Análisis físico: pérdida fisiológica de peso, color (interno y externo) y firmeza.

Análisis químico: sólidos solubles totales (°Bx), acidez titulable, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante total.

Número de frutos por variedad:

Dado que las evaluaciones duraron 19 días; el número de muestreos durante el periodo de almacenamiento fueron 4; y el número de frutos evaluados fue de 192. Con los datos resultantes del estudio se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias estadísticas significativas. Se hicieron pruebas de comparación de medias para establecer asociaciones utilizando el paquete de cómputo estadístico JMP 5.0.1.

VI. RESULTADOS

VI.1 Dosimetría

Con los datos de dosis registrados por cada uno de los dosímetros colocados en el centro (dosis mínima) y en uno de los extremos de la caja (dosis máxima) de frutos de mango, se determinó el promedio de dosis recibida (0.15 kGy, 0.6 kGy y 1.0 kGy) para cada uno de los frutos (Figura 11). Para la dosis propuesta de 0.15 kGy, la dosis mínima recibida fue de 0.21kGy, mientras que para la dosis máxima se registro una dosis de 0.25 kGy, con media y mediana de 0.23 kGy y 0.22 kGy, respectivamente. Para la dosis propuesta de 0.6 kGy, la dosis mínima recibida fue de 0.62 kGy, mientras que para la dosis máxima se registro una dosis de 0.82 kGy, con media y mediana de 0.78 kGy. Finalmente para la dosis propuesta de 1.0 kGy, la dosis mínima recibida fue de 1.05 kGy, mientras que para la dosis máxima se registro una dosis de 1.31 kGy, con media y mediana de 1.21 kGy y 1.20 kGy, respectivamente.

Considerando la normatividad impuesta por la USDA y APHIS, la cual establece que en el caso de mango el rango de dosis de irradiación debe ser de 0.15 a 1.0 kGy, se considera que no hubieron frutos con dosis menores de lo que exige la norma. Sin embargo, si hubo una determina proporción de frutos que se situaron por encima de la dosis máxima de irradiación (1.0 kGy) permitida por la USDA y APHIS. Así mismo, se realizó el cálculo de la uniformidad de dosis la cual es de mucha importancia en los procesos de irradiación industriales donde los procedimientos son más estandarizados en cuanto a los embalajes de producto, su patrón estiba en los contenedores y el flujo de los mismos dentro del irradiador, lo que finalmente nos indica el número de veces que la dosis mínima fue superada en el proceso y proporciona una medición total del rango de dosis en el producto (Martínez-Ayala, 2008). Los valores medios fueron 1.19, 1.32 y 1.25, para las dosis de irradiación propuestas de 0.15 kGy, 0.6 kGy y 1.0 kGy.

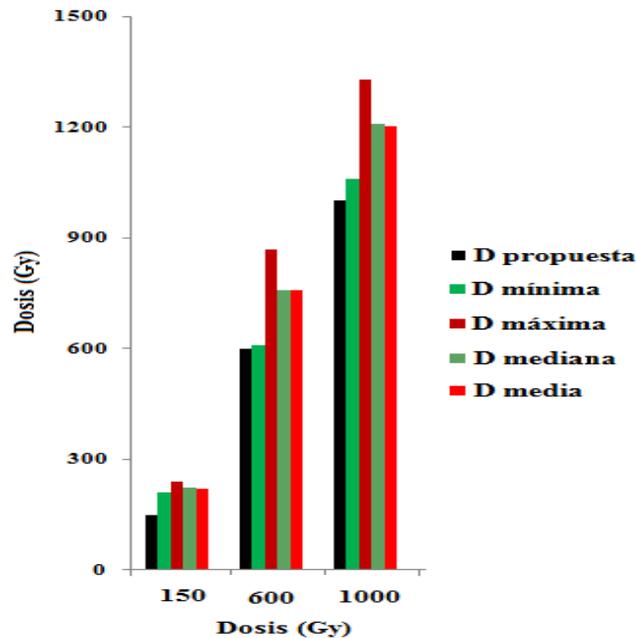


Figura 11. Dosis máxima y mínima absorbida para los diferentes tratamientos de irradiación.

VI.2 Calidad poscosecha

VI.2.1 Propiedades físicas

VI.2.1.1 Pérdida de peso

Los porcentajes de pérdida de peso para los mangos se presentan en la Figura 12. En los mangos en los dos estados de madurez fisiológica estudiados, no se observaron diferencias significativas en la pérdida de peso entre los mangos control y los irradiados (Cuadro 4 y 5). Por lo tanto, la pérdida de peso no fue inducida por el tratamiento de irradiación. Sin embargo, se aprecia que la pérdida de peso es afectada por la temperatura de almacenamiento, ya que en los mangos almacenados a 20°C se aprecia una mayor pérdida en comparación con aquellos almacenados a 10°C y los que fueron transferidos de 10°C a 20°C.

Cuadro 4. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el % de pérdida de peso de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	0.45 ^{by} ± 0.30	0.81 ^{ax} ± 0.12	0.80 ^{ax} ± 0.10	0.69 ^{abxy} ± 0.19
	20°C	0.47 ^{ay} ± 0.03	0.55 ^{axy} ± 0.20	0.65 ^{axy} ± 0.16	0.62 ^{axy} ± 0.16
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	2.60 ^{ay} ± 0.31	3.71 ^{ax} ± 1.31	2.83 ^{az} ± 0.23	2.93 ^{ay} ± 0.44
	20°C	4.08 ^{ax} ± 0.33	4.84 ^{ax} ± 0.56	4.52 ^{ax} ± 0.33	4.43 ^{ax} ± 1.08
	Transferidos	3.76 ^{ax} ± 0.69	3.86 ^{ax} ± 0.27	3.78 ^{ay} ± 0.44	3.29 ^{axy} ± 0.38
13	10°C	5.26 ^{aby} ± 0.45	5.10 ^{aby} ± 0.49	4.62 ^{bz} ± 0.35	5.46 ^{ay} ± 0.59
	20°C	7.16 ^{ax} ± 0.97	8.62 ^{ax} ± 0.99	8.33 ^{ax} ± 1.65	8.06 ^{ax} ± 0.98
	Transferidos	6.28 ^{axy} ± 0.58	5.97 ^{ay} ± 0.61	6.72 ^{ay} ± 1.22	6.17 ^{ay} ± 1.18
19	10°C	-	7.47 ^{ax} ± 0.18	6.54 ^{ax} ± 0.21	7.56 ^{ax} ± 0.51
	20°C	-	-	10.99 ^{ay} ± 0.17	-
	Transferidos	8.36 ^{ax} ± 1.14	7.71 ^{ax} ± 0.67	-	7.45 ^{ax} ± 0.80

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P<0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Cuadro 5. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el % de pérdida de peso de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	0.43 ^{byz} ± 0.13	0.76 ^{axy} ± 0.08	0.56 ^{abxyz} ± 0.18	0.72 ^{abxyz} ± 0.20
	20°C	0.40 ^{bz} ± 0.05	0.87 ^{ax} ± 0.48	0.74 ^{abxyz} ± 0.05	0.69 ^{abxyz} ± 0.21
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	2.79 ^{ay} ± 0.12	3.43 ^{ay} ± 0.47	3.07 ^{ay} ± 0.28	3.29 ^{ay} ± 0.38
	20°C	3.99 ^{ax} ± 0.23	5.01 ^{ax} ± 0.72	4.50 ^{ax} ± 0.65	4.54 ^{ax} ± 0.82
	Transferidos	3.79 ^{ax} ± 0.30	4.12 ^{axy} ± 0.67	3.73 ^{aby} ± 0.34	3.25 ^{by} ± 0.82
13	10°C	4.94 ^{ay} ± 1.05	5.83 ^{ay} ± 0.47	5.46 ^{ay} ± 0.67	5.55 ^{ay} ± 0.84
	20°C	7.32 ^{ax} ± 1.08	8.27 ^{ax} ± 0.71	7.69 ^{ax} ± 0.88	7.57 ^{ax} ± 1.55
	Transferidos	6.63 ^{ax} ± 1.05	6.51 ^{ay} ± 0.66	6.30 ^{ay} ± 0.64	5.86 ^{ay} ± 0.55
19	10°C	-	7.99 ^{ax} ± 1.28	7.72 ^{ax} ± 0.66	8.54 ^{ax} ± 0.73
	20°C	-	-	-	-
	Transferidos	8.51 ^{ax} ± 0.43	7.96 ^{ax} ± 0.34	8.24 ^{ax} ± 0.86	6.54 ^{ax} ± 0.53

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P<0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P<0.05$).

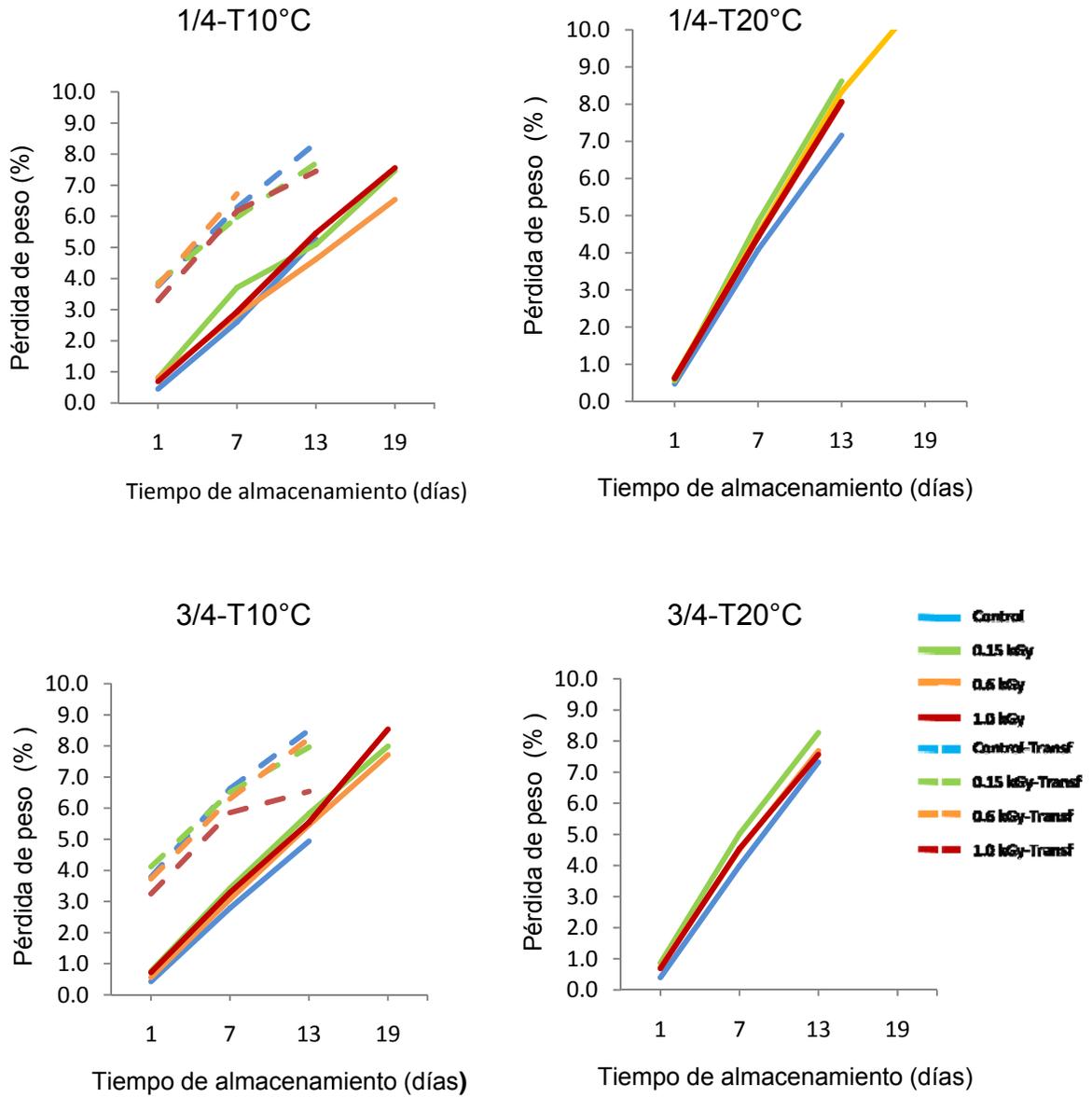


Figura 12. Efecto de la dosis de irradiación sobre el porcentaje de pérdida de peso registrado en mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

VI.2.1.2 Firmeza

La fuerza de ruptura se determinó como un indicador de firmeza o suavidad de la fruta. La temperatura de almacenamiento induce un ablandamiento significativo ($p < 0.05$), independientemente del tratamiento de irradiación, en los frutos con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados a 10 y 20°C durante todo el tiempo de almacenamiento. Los frutos con 1/4 de madurez fisiológica irradiados a las diferentes dosis y mantenidos a 10°C de almacenamiento, presentaron valores superiores de firmeza en comparación a los frutos mantenidos a 20°C (Cuadro 6). Esto se atribuye principalmente a la temperatura de almacenamiento que retrasa la maduración del fruto. Sin embargo, para los mangos de 3/4 de madurez fisiológica no se observa dicho efecto, ya que no hay diferencias significativas entre los valores de firmeza para ambas temperaturas durante todo el tiempo de almacenamiento (Cuadro 7).

Cuadro 6. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	24.4 ^{axy} ± 10.5	24.4 ^{axy} ± 10.7	31.4 ^{axy} ± 17.9	45.4 ^{ax} ± 19.0
	20°C	13.6 ^{ay} ± 2.7	34.4 ^{axy} ± 20.3	30.8 ^{axy} ± 16.3	19.1 ^{axy} ± 8.9
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	9.1 ^{bx} ± 5.4	19.5 ^{ax} ± 17.4	14.4 ^{ax} ± 7.3	22.5 ^{ax} ± 8.2
	20°C	4.8 ^{ax} ± 1.1	6.0 ^{ay} ± 2.5	6.5 ^{ay} ± 1.2	4.8 ^{ay} ± 1.7
	Transferidos	11.2 ^{ax} ± 4.8	8.2 ^{axy} ± 1.9	6.7 ^{axy} ± 2.3	7.6 ^{ay} ± 3.3
13	10°C	5.2 ^{ax} ± 2.4	13.0 ^{ax} ± 8.9	10.2 ^{ax} ± 5.6	14.3 ^{ax} ± 3.3
	20°C	4.1 ^{bx} ± 1.3	5.1 ^{ay} ± 0.9	3.0 ^{by} ± 0.3	3.8 ^{aby} ± 0.7
	Transferidos	6.0 ^{ax} ± 2.2	5.4 ^{axy} ± 1.3	5.8 ^{axy} ± 3.1	5.2 ^{ay} ± 1.3
19	10°C	-	4.9 ^{bx} ± 1.7	10.3 ^{ax} ± 3.8	12.6 ^{ax} ± 9.1
	20°C	-	-	5.1 ^{ay} ± 1.3	-
	Transferidos	5.1 ^{ax} ± 1.4	3.8 ^{abx} ± 1.5	-	5.9 ^{ax} ± 0.1

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 7. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	24.0 ^{ax} ± 18.3	21.0 ^{ax} ± 8.2	27.4 ^{ax} ± 12.8	32.7 ^{ax} ± 23.9
	20°C	18.5 ^{ax} ± 10.1	18.0 ^{ax} ± 9.4	31.3 ^{ax} ± 9.6	31.1 ^{ax} ± 10.9
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	6.9 ^{ay} ± 2.4	11.0 ^{ax} ± 10.0	12.8 ^{ax} ± 7.6	18.6 ^{ax} ± 13.9
	20°C	4.2 ^{by} ± 0.9	3.9 ^{bx} ± 1.2	7.2 ^{ax} ± 2.9	4.8 ^{aby} ± 1.4
	Transferidos	12.0 ^{ax} ± 3.6	5.6 ^{bx} ± 0.5	7.5 ^{bx} ± 3.8	6.6 ^{bxy} ± 1.8
13	10°C	6.2 ^{ax} ± 1.4	8.3 ^{ax} ± 11.0	10.2 ^{ax} ± 6.5	15.8 ^{ax} ± 10.1
	20°C	4.8 ^{ax} ± 2.3	3.4 ^{ax} ± 0.5	4.0 ^{ax} ± 1.0	4.7 ^{ay} ± 1.2
	Transferidos	7.4 ^{ax} ± 2.5	4.3 ^{ax} ± 1.8	4.9 ^{ax} ± 1.0	4.9 ^{ay} ± 2.3
19	10°C	-	7.3 ^{ax} ± 4.1	11.8 ^{ax} ± 3.5	11.2 ^{ax} ± 7.7
	20°C	-	-	-	-
	Transferidos	4.4 ^{ax} ± 0.8	3.9 ^{ax} ± 0.5	5.5 ^{ay} ± 0.6	6.0 ^{ax} ± 1.6

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Así mismo, la pérdida de firmeza fue significativamente mayor en los frutos almacenados a 20°C durante los primeros 7 días de almacenamiento. Los mangos transferidos presentan de manera general un comportamiento similar a los frutos almacenados a 20°C (Figura 13).

VI.2.1.3 Calidad visual

Los cambios visuales en el color de los frutos fueron notables durante el tiempo de almacenamiento. Es importante mencionar que los cambios de color de las frutas suelen estar relacionados con las diferentes etapas de madurez. Sin embargo, la irradiación puede provocar algunos cambios en el metabolismo del fruto que causa un retraso en el proceso de maduración (Thomas, 1986). En la Figura 14 se aprecia que la piel exterior de los frutos de mango irradiados a una dosis de 1.0 kGy era más verde que la piel de las muestras control al final del almacenamiento.

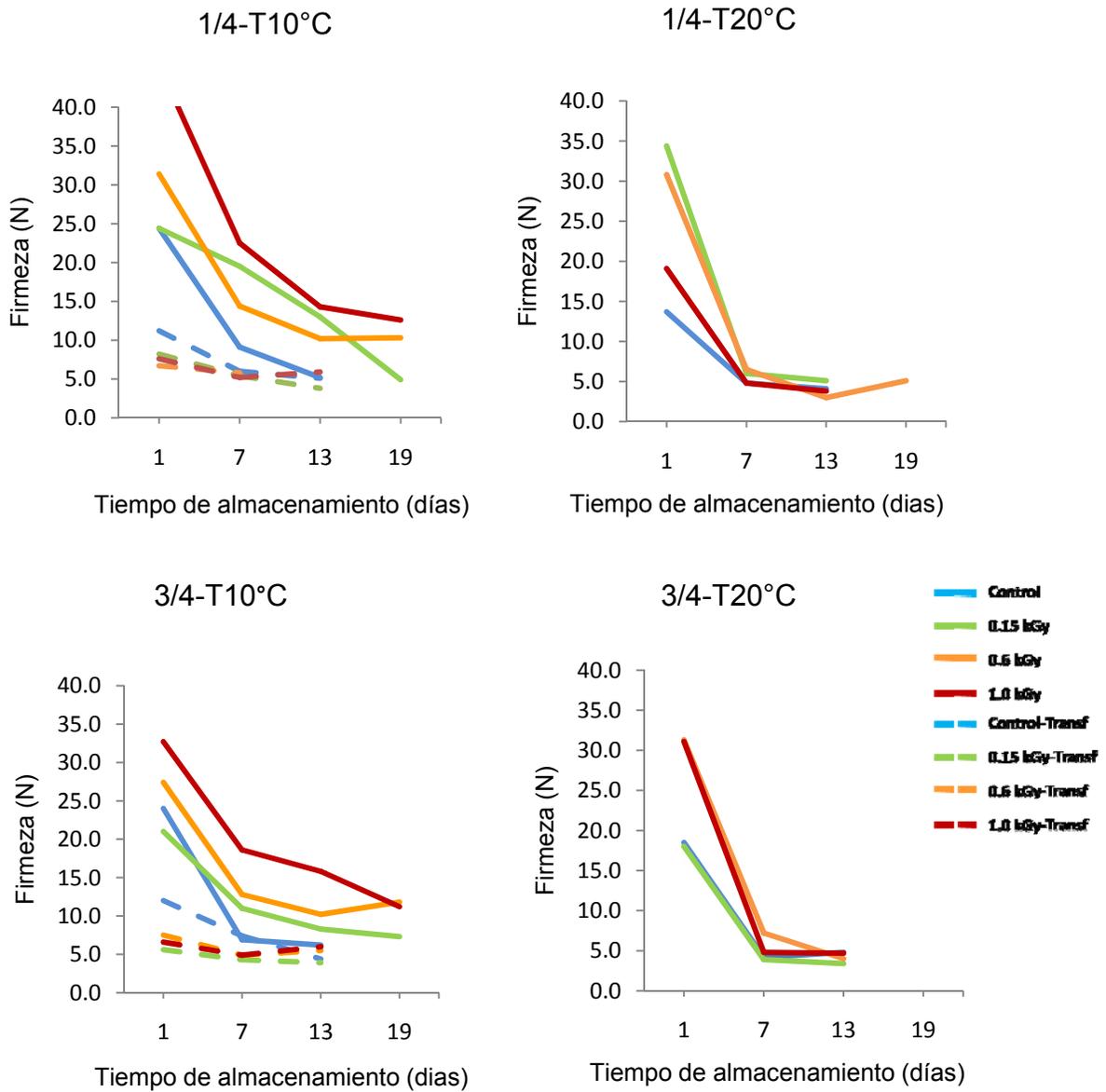


Figura 13. Efecto de la dosis de irradiación sobre la firmeza (N) de mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

Sin embargo, se observó la incidencia de tejido esponjoso (Figura 16 y 17) en los frutos tratados a esta dosis de irradiación, almacenados a 10°C y en los frutos transferidos de 10°C a 20°C). Esta observación sugiere que la dosis absorbida fue mayor en estas áreas incrementando la actividad de las enzimas, tales como la polifenol oxidasa y fenilalanina amonio liasa. Lesiones y decoloración o oscurecimiento de la piel externa e interna en los frutos frescos de mango, han sido reportados a dosis de irradiación gamma entre 0.5 y 1.0 kGy (Spalding y Von Windeguth, 1988).

Es posible que la acumulación y oxidación de compuestos fenólicos y taninos esté relacionada con el desarrollo del oscurecimiento observado en la pulpa del tejido afectado; así como que ocurran cambios metabólicos que alteren la permeabilidad de las membranas y se facilite el transporte de fenoles desde la vacuola al citoplasma permitiendo el contacto entre la enzima polifenol oxidasa y su sustrato.

Por otro lado, se observa que la temperatura de almacenamiento fue el factor principal para detener la maduración del fruto. Las Figuras 14 y 16 muestran como los mangos almacenados a 20°C en el treceavo día de almacenamiento, presentan un estado de madurez más avanzado que aquellos almacenados durante 19 días a 10°C. Por otro lado, se observa que en los mangos transferidos (Figura 15) se intensificó el daño por irradiación, ya que aunado a esto se encuentra el estrés a baja temperatura. Así mismo, en la Figura 15 y 17 se aprecia que en los frutos irradiados con 1/4 de madurez fisiológica se incrementa en un mayor grado el efecto de la irradiación en comparación a aquellos a 3/4 de madurez fisiológica.

El tejido esponjoso es un desorden fisiológico observado en frutos de mango irradiados. Las principales características de este desorden en la pulpa de mango se describen como una ligera deshidratación en el centro del fruto, con un halo entre el mesocarpo y el hueso del fruto (Figura 16). Ciertas regiones del mesocarpo permanecen inmaduras, con color amarillo pálido o blanco y de características

corchosa, con o sin la presencia de bolsas de aire y un sabor desagradable (Shiva Shankar y col., 2007).

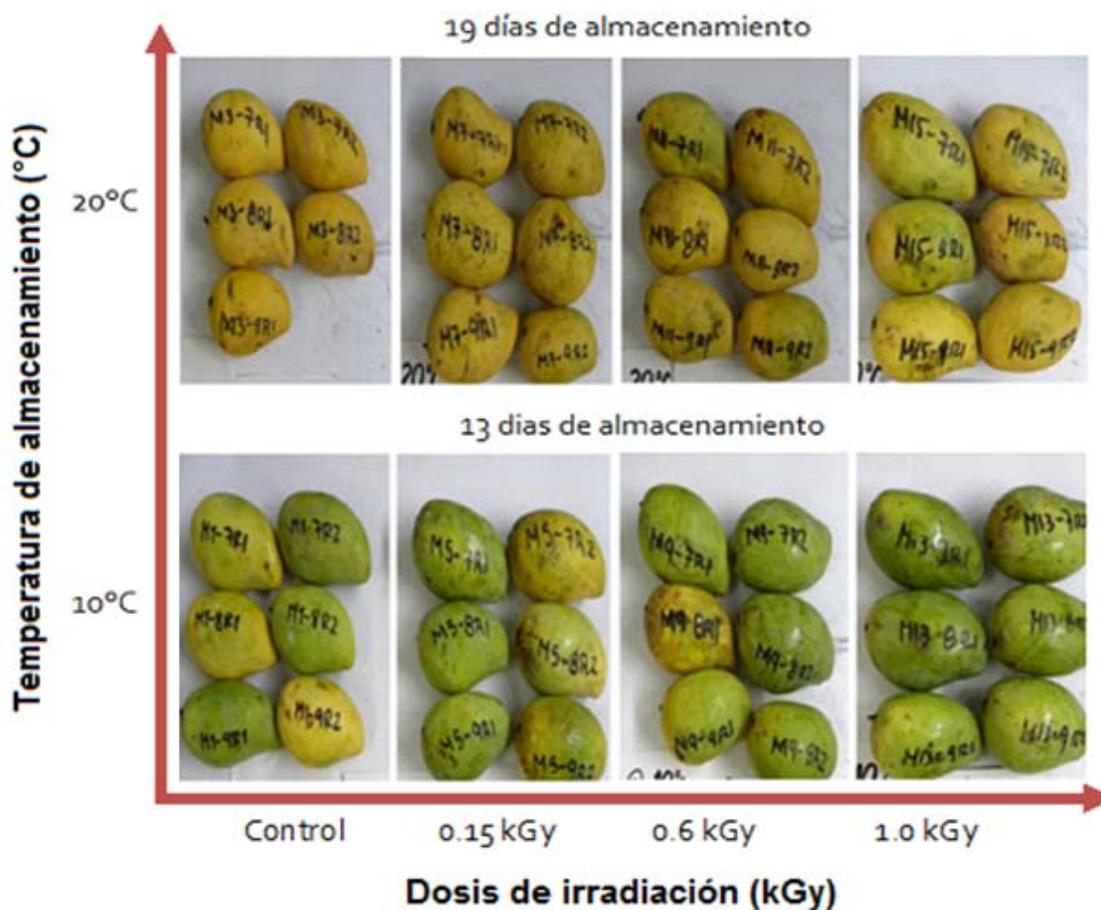


Figura 14. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la calidad externa (piel) de mangos “Manila” almacenados 13 y 19 días a 90% de humedad relativa.

De igual manera se ha propuesto un papel importante de la semilla del fruto en la formación de tejido esponjoso. Shiva Shankar y col., (2007) asociaron la incidencia de tejido esponjoso con la pérdida de humedad en el mesocarpo y su transporte hacia la semilla. Además reportaron que las actividades de amilasa y lipasa fueron más altas en el mesocarpo de tejido sano comparado con la fruta con tejido esponjoso, y a su vez en semillas del fruto.

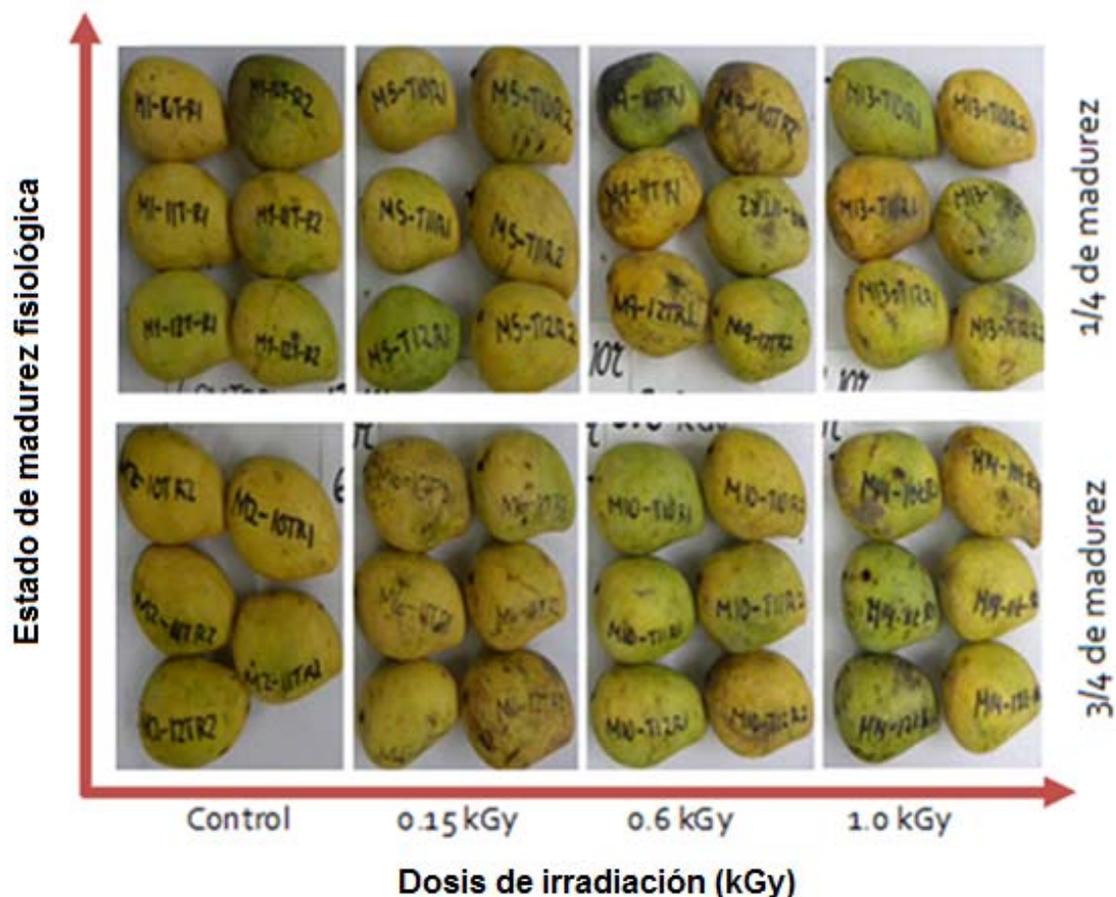


Figura 15. Efecto de la dosis de irradiación y estado de madurez fisiológica sobre la calidad externa (piel) de mangos “Manila” almacenados 13 días a 10°C + 6 días a 20°C (Mangos transferidos).

Así mismo se ha reportado, que altos niveles de ácido geberélico en la semilla del mango promueve el desorden; mientras que la presencia de un inhibidor de la síntesis de giberelinas, como el paclobutrazol, redujo la incidencia del desorden. Sin embargo, no existe suficiente evidencia que asocie este desorden fisiológico con la irradiación. El único reporte existente es en mango cv. “Alfonso” irradiado a 2.0 kGy. El interior del fruto mostró oscurecimiento, una textura fibrosa blanca, y grandes fisuras de gas. Estos autores explican dicho fenómeno como consecuencia de la formación de ozono dentro del fruto a causa de la irradiación del oxígeno ahí presente, que tiene efecto dañino sobre la células (Dharkar y col., 1966).

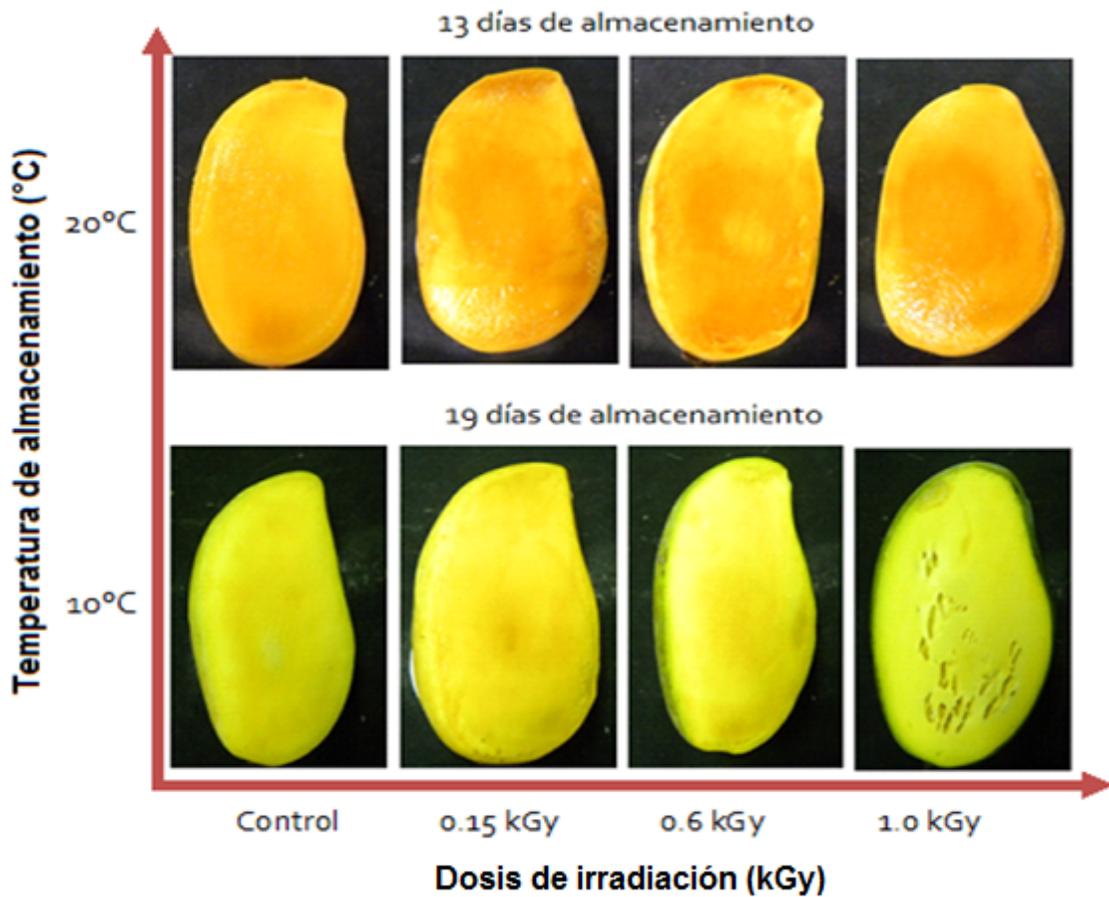


Figura 16. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la calidad interna (pulpa) de mangos “Manila” almacenados 13 y 19 días a 90% de humedad relativa.

VI.2.1.4 Color

A pesar de que el experimento originalmente se planeó para 19 días de almacenamiento, el mango “Manila” demostró tener una vida de anaquel menor, especialmente en las muestras almacenadas a 20°C las cuales sólo duraron 13 días. Lo cual indica que los mangos “Manila” no pueden almacenarse más de dos semanas a 20°C.

El efecto de la irradiación gamma sobre el cambio de luminosidad de la pulpa de mangos “Manila” se muestra en los Cuadros 8 y 9; en ellos se puede apreciar que



Figura 17. Efecto de la dosis de irradiación y estado de madurez fisiológica sobre la calidad interna (pulpa) de mangos “Manila” almacenados 13 días a 10°C + 6 días a 20°C (Mangos transferidos).

la irradiación no ejerce un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el cambio de luminosidad (L^*) en los mangos con 1/4 de madurez fisiológica almacenados a 10°C, tanto en forma continua como en las transferencias y a 20°C. En cambio, en los mangos con 3/4 de madurez almacenados a 10°C se aprecia en el séptimo día un efecto sobre los valores de L^* conforme aumenta la dosis de irradiación. Posterior a este día, la irradiación no ejerce un efecto significativo sobre la luminosidad de los frutos.

Por otro lado, se observa que al final del tiempo de almacenamiento los frutos a 20°C mostraron una disminución importante de luminosidad en comparación a aquellos almacenados a 10°C, lo cual indica un proceso de oscurecimiento que

refleja la maduración de la fruta. Los frutos transferidos mostraron un comportamiento similar a los almacenados a 20°C.

Cuadro 8. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de luminosidad (L*) en pulpa de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.

Parámetro de color	Día	Temperatura	Dosis			
			*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
L* Luminosidad (%)	1	10°C	68.3 ^{ax} ± 7.3	66.5 ^{ax} ± 4.8	65.6 ^{ax} ± 3.5	72.8 ^{ax} ± 4.7
		20°C	62.1 ^{ax} ± 7.0	68.1 ^{ax} ± 7.1	65.6 ^{ax} ± 7.5	61.4 ^{ax} ± 6.7
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	61.3 ^{ax} ± 4.9	64.2 ^{ax} ± 11.4	63.6 ^{ax} ± 8.7	71.8 ^{ax} ± 5.5
		20°C	61.5 ^{ax} ± 8.2	58.2 ^{ax} ± 3.2	58.6 ^{ax} ± 6.6	64.4 ^{axy} ± 2.0
		Transferidos	63.5 ^{ax} ± 6.0	62.3 ^{ax} ± 4.8	58.9 ^{ax} ± 8.7	56.9 ^{ay} ± 7.0
	13	10°C	64.6 ^{ax} ± 4.0	68.1 ^{ax} ± 7.2	64.9 ^{ax} ± 5.6	65.4 ^{ax} ± 8.4
		20°C	54.8 ^{ay} ± 3.5	56.4 ^{ay} ± 4.7	57.1 ^{ax} ± 4.3	53.2 ^{ay} ± 2.8
		Transferidos	61.1 ^{ax} ± 3.4	58.4 ^{ay} ± 7.0	60.0 ^{ax} ± 6.3	57.1 ^{axy} ± 5.0
	19	10°C	67.9 ^{ax} ± 0.0	58.2 ^{bx} ± 1.5	64.0 ^{ax} ± 4.2	66.4 ^{ax} ± 6.1
		20°C	-	-	69.1 ^{ax} ± 10.5	68.5 ^{ax} ± 3.5
		Transferidos	61.0 ^{ax} ± 8.4	61.2 ^{ax} ± 3.5	-	68.7 ^{ax} ± 9.0

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Al evaluar el desarrollo de color de la pulpa en relación a los parámetro de enrojecimiento (a*) y amarillez (b*) de los frutos; se observa que las muestras irradiadas almacenadas a 10°C con 1/4y 3/4 de madurez fisiológica presentaron valores significativamente ($p < 0.05$) menores que los frutos controles a partir del séptimo día de almacenamiento. Siendo las muestras irradiadas a una dosis de 1.0 kGy las que más se vieron afectadas en cuanto a los valores de a*, lo que indica un color verde para dichas muestras (Cuadro 10 y 11). En relación a los cambios en la amarillez (b*) de la pulpa se encontró que estos no fueron inducidos por el tratamiento de irradiación.

Por otro lado, se observó un efecto significativo de la temperatura sobre los

Cuadro 9. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de luminosidad (L*) en pulpa de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.

Parámetro de color	Día	Temperatura	Dosis			
			*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
L* Luminosidad (%)	1	10°C	66.9 ^{ax} ± 5.8	62.8 ^{ax} ± 8.3	66.6 ^{ax} ± 5.5	67.2 ^{ax} ± 5.3
		20°C	60.9 ^{ax} ± 8.6	60.8 ^{ax} ± 6.8	65.7 ^{ax} ± 8.5	67.8 ^{ax} ± 5.6
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	58.2 ^{bx} ± 5.7	59.5 ^{abx} ± 9.9	61.9 ^{abx} ± 6.1	71.1 ^{ax} ± 6.7
		20°C	56.4 ^{ax} ± 4.1	59.9 ^{ax} ± 5.9	56.5 ^{ax} ± 9.3	55.8 ^{ay} ± 5.4
		Transferidos	59.9 ^{ax} ± 6.6	62.5 ^{ax} ± 3.3	55.1 ^{ax} ± 5.4	63.2 ^{axy} ± 7.4
	13	10°C	64.6 ^{ax} ± 5.1	67.9 ^{ax} ± 6.9	63.2 ^{ax} ± 5.0	69.2 ^{ax} ± 6.2
		20°C	59.0 ^{ax} ± 6.3	58.1 ^{ay} ± 3.9	58.2 ^{ax} ± 3.0	57.8 ^{ay} ± 7.3
		Transferidos	61.4 ^{ax} ± 5.7	58.2 ^{ay} ± 5.0	60.0 ^{ax} ± 4.0	57.5 ^{ay} ± 4.6
	19	10°C	63.5 ^{ax} ± 0.0	60.9 ^{ax} ± 6.6	59.8 ^{ax} ± 6.0	62.8 ^a ± 8.1
		20°C	-	-	-	-
		Transferidos	57.5 ^{ax} ± 2.3	66.0 ^{ax} ± 3.0	59.6 ^{ax} ± 3.2	-

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

parámetros a* y b* a partir del séptimo día de almacenamiento; debido a que los frutos almacenados a 20°C presentaron valores mayores de a* y b* en comparación a los frutos almacenados a 10°C tanto en forma continua como en las transferencias. Dicho comportamiento relaciona un retraso en la maduración del fruto atribuible a la temperatura de almacenamiento a 10°C.

VI.2.2 Propiedades químicas

VI.2.2.1 Acidez titulable

Ningún efecto de la irradiación sobre los valores de acidez se evidenció en los mangos con 1/4 de madurez fisiológica, ya que no se observaron diferencias significativas entre los mangos control y los irradiados. Sin embargo, en mangos con 3/4 de madurez almacenados a 10°C y a partir del séptimo día, la dosis de

Cuadro 10. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de enrojecimiento (a*) y amarillez (b*) en pulpa de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.

Parámetro de color	Día	Temperatura	Dosis			
			*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
a* enrojecimiento (+rojo, -verde)	1	10°C	5.6 ^{axy} ± 3.4	6.6 ^{axy} ± 1.9	7.5 ^{axy} ± 2.6	4.0 ^{ay} ± 2.4
		20°C	10.8 ^{ax} ± 3.9	6.4 ^{axy} ± 2.5	6.3 ^{axy} ± 3.4	8.9 ^{axy} ± 2.8
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	9.10 ^{ax} ± 2.1	7.6 ^{aby} ± 4.2	8.5 ^{ax} ± 2.9	3.7 ^{by} ± 2.4
		20°C	12.3 ^{ax} ± 3.9	14.3 ^{ax} ± 1.2	12.6 ^{ax} ± 3.9	11.0 ^{ax} ± 2.2
		Transferidos	8.3 ^{ax} ± 2.9	9.2 ^{ay} ± 3.4	11.0 ^{ax} ± 4.5	11.1 ^{ax} ± 3.6
	13	10°C	7.1 ^{az} ± 2.5	6.4 ^{ay} ± 4.3	7.7 ^{ay} ± 3.2	5.5 ^{ay} ± 2.9
		20°C	14.9 ^{ax} ± 0.8	17.4 ^{ax} ± 2.0	14.7 ^{ax} ± 4.7	15.6 ^{ax} ± 1.4
		Transferidos	10.8 ^{ay} ± 1.9	11.2 ^{ay} ± 2.9	10.6 ^{axy} ± 3.2	10.2 ^{ay} ± 4.3
	19	10°C	-	9.2 ^{ax} ± 0.4	7.7 ^{ax} ± 3.2	6.1 ^{ax} ± 2.3
		20°C	-	-	8.3 ^{ax} ± 8.7	-
		Transferidos	10.7 ^a ± 2.1	11.2 ^{ax} ± 2.0	-	6.5 ^{ax} ± 5.2
b* amarillez (+amarillo, -azul)	1	10°C	44.3 ^{ax} ± 3.3	45.9 ^{ax} ± 2.0	46.1 ^{ax} ± 2.9	42.4 ^{ax} ± 3.8
		20°C	48.0 ^{ax} ± 4.6	46.6 ^{ax} ± 3.0	41.7 ^{ax} ± 4.2	45.1 ^{ax} ± 4.6
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	48.4 ^{ay} ± 3.7	44.8 ^{ay} ± 5.3	50.1 ^{ay} ± 3.3	42.8 ^{ay} ± 5.1
		20°C	55.9 ^{ax} ± 4.1	58.7 ^{ax} ± 3.2	56.1 ^{ax} ± 3.2	56.8 ^{ax} ± 4.3
		Transferidos	49.7 ^{axy} ± 5.2	45.9 ^{ay} ± 3.4	51.0 ^{axy} ± 4.1	42.8 ^{axy} ± 6.0
	13	10°C	43.6 ^{ax} ± 3.7	45.6 ^{ay} ± 6.5	48.1 ^{ax} ± 3.6	45.9 ^{ax} ± 4.7
		20°C	45.0 ^{bx} ± 6.3	55.2 ^{ax} ± 3.1	50.2 ^{abx} ± 6.4	45.4 ^{bx} ± 2.6
		Transferidos	47.1 ^{ax} ± 3.0	43.2 ^{ay} ± 4.0	46.1 ^{ax} ± 4.9	44.7 ^{ax} ± 3.7
	19	10°C	-	51.5 ^{ax} ± 2.0	51.6 ^{ax} ± 4.0	47.0 ^{ax} ± 5.2
		20°C	-	-	44.8 ^{ay} ± 5.3	-
		Transferidos	47.8 ^{ax} ± 5.6	49.5 ^{ax} ± 1.7	-	41.1 ^{ax} ± 6.8

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 11. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre los valores de enrojecimiento (a*) y amarillez (b*) en pulpa de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90% de humedad relativa.

Parámetro de color	Día	Temperatura	Dosis			
			*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
a* enrojecimiento (+rojo, -verde)	1	10°C	6.5 ^{ax} ± 2.8	6.8 ^{ax} ± 2.9	6.4 ^{ax} ± 2.6	5.3 ^{ax} ± 2.7
		20°C	8.8 ^{ax} ± 4.0	9.4 ^{ax} ± 3.8	6.5 ^{ax} ± 2.2	5.5 ^{ax} ± 2.2
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	11.1 ^{ay} ± 1.4	9.4 ^{aby} ± 4.1	9.1 ^{abx} ± 3.3	4.6 ^{by} ± 3.4
		20°C	15.4 ^{ax} ± 0.8	14.7 ^{ax} ± 3.2	12.2 ^{ax} ± 4.1	14.3 ^{ax} ± 2.2
		Transferidos	9.7 ^{ay} ± 3.2	11.4 ^{axy} ± 2.4	12.3 ^{ax} ± 2.7	9.3 ^{axy} ± 4.2
	13	10°C	9.2 ^{ax} ± 2.8	6.7 ^{aby} ± 4.2	7.5 ^{aby} ± 2.7	3.6 ^{by} ± 3.2
		20°C	11.8 ^{ax} ± 5.2	16.2 ^{ax} ± 2.6	17.1 ^{ax} ± 0.7	13.0 ^{ax} ± 4.7
		Transferidos	10.4 ^{ax} ± 1.5	12.1 ^{ax} ± 1.2	10.7 ^{ay} ± 1.7	11.2 ^{ax} ± 3.6
	19	10°C	-	8.9 ^{ax} ± 4.1	9.9 ^{ax} ± 6.3	4.9 ^{bx} ± 2.3
		20°C	-	-	-	-
		Transferidos	12.2 ^{ax} ± 0.7	8.4 ^{ax} ± 2.5	10.1 ^{ax} ± 1.3	6.4 ^{ax} ± 5.4
b* amarillez (+amarillo, -azul)	1	10°C	44.1 ^{axy} ± 3.5	41.8 ^{ay} ± 2.9	43.9 ^{axy} ± 3.3	42.7 ^{ay} ± 3.1
		20°C	51.9 ^{axy} ± 9.2	51.1 ^{axy} ± 5.6	46.3 ^{axy} ± 4.3	54.8 ^{ax} ± 8.8
		Transferidos	ND	ND	ND	ND
	7	10°C	49.7 ^{ax} ± 5.2	47.4 ^{ay} ± 4.5	48.4 ^{ax} ± 6.2	44.1 ^{ay} ± 4.6
		20°C	54.4 ^{abx} ± 6.1	60.1 ^{ax} ± 4.4	48.4 ^{bx} ± 3.2	53.4 ^{abx} ± 6.6
		Transferidos	49.3 ^{ax} ± 4.5	50.3 ^{ay} ± 2.5	51.3 ^{ax} ± 4.5	46.1 ^{axy} ± 5.5
	13	10°C	45.3 ^{ax} ± 5.2	47.6 ^{axy} ± 7.0	46.5 ^{ay} ± 1.8	40.6 ^{ax} ± 5.9
		20°C	41.7 ^{cx} ± 7.9	54.3 ^{abx} ± 2.3	57.9 ^{ax} ± 2.2	46.1 ^{bcx} ± 5.4
		Transferidos	47.2 ^{ax} ± 5.4	43.2 ^{ay} ± 4.9	45.0 ^{ay} ± 2.5	44.8 ^{ax} ± 3.2
	19	10°C	-	44.5 ^{ax} ± 3.0	45.6 ^{ax} ± 6.9	44.2 ^{ax} ± 5.1
		20°C	-	-	-	-
		Transferidos	46.2 ^{ax} ± 3.8	47.2 ^{ax} ± 4.2	48.5 ^{ax} ± 1.8	38.3 ^{bx} ± 5.1

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

irradiación ejerce un efecto significativo sobre la acidez en los frutos. Lo anterior se aprecia en los Cuadro 12 y 13 en donde los valores de acidez fueron significativamente mayores (en función a la dosis de irradiación) en los frutos tratados en comparación a los frutos control.

Cuadro 12. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	1.92 ^{ax} ± 0.53	1.45 ^{ax} ± 0.54	1.83 ^{ax} ± 0.53	2.04 ^{ax} ± 0.41
	20°C	1.40 ^{ax} ± 0.73	1.75 ^{ax} ± 0.57	1.75 ^{ax} ± 0.84	1.11 ^{ax} ± 0.43
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	1.20 ^{ax} ± 0.57	1.21 ^{ax} ± 0.65	1.24 ^{ax} ± 0.37	1.85 ^{ax} ± 0.71
	20°C	0.38 ^{ay} ± 0.20	0.41 ^{ay} ± 0.08	0.55 ^{ay} ± 0.28	0.48 ^{ay} ± 0.19
	Transferidos	1.17 ^{ax} ± 0.59	0.72 ^{axy} ± 0.44	0.98 ^{axy} ± 0.49	0.76 ^{ay} ± 0.37
13	10°C	1.22 ^{ax} ± 0.62	1.26 ^{ax} ± 0.57	1.02 ^{ax} ± 0.43	1.71 ^{ax} ± 0.43
	20°C	0.18 ^{ay} ± 0.03	0.18 ^{ay} ± 0.03	0.22 ^{ay} ± 0.06	0.16 ^{ay} ± 0.02
	Transferidos	0.32 ^{ay} ± 0.08	0.42 ^{ay} ± 0.13	0.48 ^{axy} ± 0.35	0.57 ^{ay} ± 0.61
19	10°C	-	0.66 ^{bx} ± 0.39	1.45 ^{ax} ± 0.53	1.17 ^{ax} ± 0.34
	20°C	-	-	0.29 ^{ay} ± 0.02	-
	Transferidos	0.50 ^{bx} ± 0.13	0.40 ^{bx} ± 0.25	-	1.03 ^{ax} ± 0.17

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Por otro lado, se aprecia que la reducción de la acidez durante el tiempo de almacenamiento, está en función de la temperatura en la que son almacenados los frutos de mango; ya que en los mangos almacenados a 10°C la acidez disminuye más lentamente en comparación a los frutos transferidos (10°C/20°C) y estos a su vez a los almacenados a 20°C (Figura 18 y 19). Dicho comportamiento es presentado en los dos estados de madurez durante todo el tiempo de almacenamiento.

VI.2.2.2 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se expresan como °Bx. Al inicio del almacenamiento (Cuadro 14 y 15) no se aprecian diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales (°Bx) entre frutos irradiados y los frutos control con 1/4 de madurez a las temperaturas de almacenamiento. Sin embargo, en frutos con 3/4 de madurez fisiológica a partir del séptimo día y almacenados a 10°C se

Cuadro 13. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	1.50 ^{ax} ± 0.54	1.66 ^{ax} ± 0.48	1.66 ^{ax} ± 0.53	1.65 ^{ax} ± 0.59
	20°C	1.15 ^{ax} ± 0.79	1.15 ^{ax} ± 0.48	1.57 ^{ax} ± 0.48	1.86 ^{ax} ± 0.54
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	0.78 ^{bx} ± 0.21	1.27 ^{abx} ± 0.38	1.34 ^{abx} ± 0.52	1.54 ^{ax} ± 0.27
	20°C	0.22 ^{ay} ± 0.05	0.38 ^{ay} ± 0.21	0.53 ^{ay} ± 0.39	0.27 ^{az} ± 0.05
	Transferidos	0.95 ^{ax} ± 0.26	0.64 ^{ay} ± 0.29	0.72 ^{axy} ± 0.32	0.87 ^{ay} ± 0.54
13	10°C	0.80 ^{bx} ± 0.34	1.42 ^{abx} ± 0.65	1.28 ^{abx} ± 0.28	1.68 ^{ax} ± 0.50
	20°C	0.18 ^{ay} ± 0.03	0.17 ^{ay} ± 0.03	0.20 ^{ay} ± 0.07	0.18 ^{ay} ± 0.03
	Transferidos	0.51 ^{axy} ± 0.20	0.29 ^{by} ± 0.07	0.34 ^{aby} ± 0.06	0.33 ^{aby} ± 0.07
19	10°C	-	1.31 ^{ax} ± 0.77	1.56 ^{ax} ± 0.44	1.57 ^{ax} ± 0.24
	20°C	-	-	-	-
	Transferidos	0.74 ^{ax} ± 0.80	-	0.86 ^{ax} ± 0.30	1.54 ^{ax} ± 0.34

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

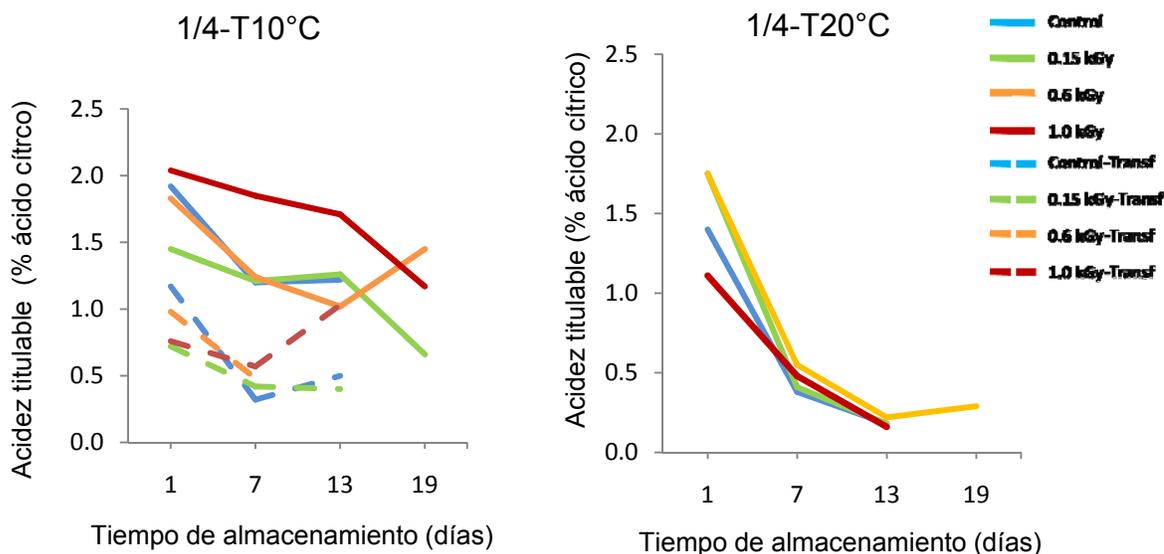


Figura 18. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

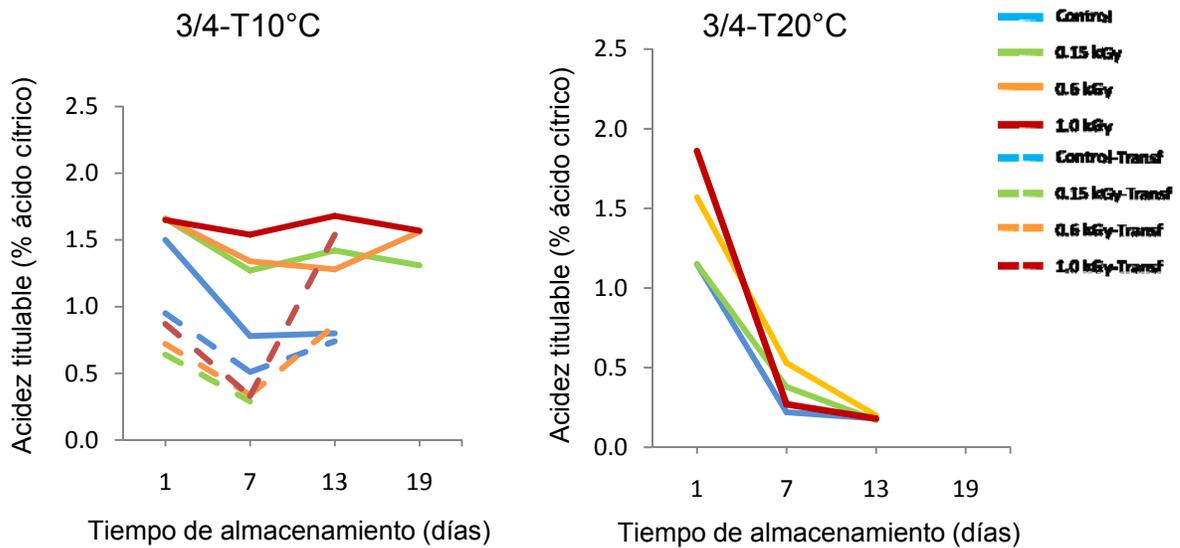


Figura 19. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de acidez titulable (% ácido cítrico) en mangos “Manila” con 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

observa un efecto significativo de la irradiación sobre el contenido de SST; ya que las muestras irradiadas presentaron contenidos de °Bx menores en comparación a los frutos control. Estos resultados son consistentes con el aumento de los valores de acidez presentados por efecto de la irradiación en los frutos a dicho estado de madurez, temperatura y día de almacenamiento.

En relación al tiempo de almacenamiento, se observó una tendencia creciente en el contenido de SST en todos los frutos. Sin embargo, en los frutos con 1/4 de madurez fisiológica a ambas temperaturas de almacenamiento y, en los de 3/4 de madurez almacenados a 20°C no se presentan cambios significativos en el contenido de °Bx asociados al tratamiento de irradiación. Como se puede observar en el Cuadro 14 y 15 el contenido de SST en mangos irradiados fue significativamente similar al de los controles.

Por otro lado, en la Figura 20 se observa un mayor incremento en el contenido de SST en mangos almacenados a 20°C, en comparación a la presentada por

Cuadro 14. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	10.6 ^{ax} ± 2.2	11.8 ^{ax} ± 2.6	11. ^{ax} ± 2.7	9.6 ^{ax} ± 2.0
	20°C	13.6 ^{ax} ± 2.5	12.5 ^{ax} ± 2.4	11.7 ^{ax} ± 3.2	14.2 ^{ax} ± 2.3
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	15.0 ^{ax} ± 1.8	13.9 ^{ax} ± 1.7	14.1 ^{ax} ± 3.0	11.4 ^{ax} ± 2.5
	20°C	15.1 ^{ax} ± 1.4	16.3 ^{ax} ± 2.2	16.7 ^{ax} ± 1.7	16.1 ^{ax} ± 1.4
	Transferidos	15.2 ^{ax} ± 1.7	15.9 ^{ax} ± 1.7	14.6 ^{ax} ± 0.8	14.4 ^{ax} ± 1.3
13	10°C	15.6 ^{axy} ± 1.4	15.3 ^{ax} ± 1.3	16.1 ^{axy} ± 1.7	12.1 ^{by} ± 2.6
	20°C	14.9 ^{by} ± 1.2	15.8 ^{abx} ± 1.1	16.4 ^{ax} ± 0.9	16.1 ^{abx} ± 0.8
	Transferidos	17.2 ^{ax} ± 1.0	16.2 ^{abx} ± 1.4	14.5 ^{by} ± 1.2	15.1 ^{abxy} ± 1.7
19	10°C	-	17.1 ^{ax} ± 0.6	16.2 ^{ax} ± 1.0	13.5 ^{ax} ± 1.1
	20°C	-	-	14.8 ^{ax} ± 1.3	-
	Transferidos	15.2 ^{ax} ± 0.8	15.3 ^{ax} ± 1.2	-	14.9 ^{ax} ± 0.6

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 15. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	13.0 ^{ax} ± 3.0	12.0 ^{ax} ± 2.2	11.1 ^{ax} ± 2.2	11.8 ^{ax} ± 2.6
	20°C	13.7 ^{ax} ± 2.2	13.4 ^{ax} ± 2.7	12.1 ^{ax} ± 1.5	11.1 ^{ax} ± 1.5
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	16.6 ^{ax} ± 1.7	13.6 ^{abx} ± 2.2	12.9 ^{aby} ± 2.0	12.3 ^{by} ± 3.8
	20°C	16.1 ^{ax} ± 1.7	16.0 ^{ax} ± 0.9	14.9 ^{axy} ± 0.8	16.7 ^{ax} ± 1.6
	Transferidos	16.1 ^{ax} ± 1.6	15.9 ^{ax} ± 1.9	16.2 ^{ax} ± 1.3	15.3 ^{axy} ± 1.4
13	10°C	15.7 ^{ax} ± 1.5	15.7 ^{ax} ± 2.5	13.8 ^{aby} ± 1.1	11.4 ^{by} ± 3.2
	20°C	15.9 ^{ax} ± 1.8	15.0 ^{ax} ± 1.0	15.4 ^{ax} ± 0.5	15.5 ^{ax} ± 0.8
	Transferidos	15.9 ^{ax} ± 1.6	17.9 ^{ax} ± 4.2	16.6 ^{ax} ± 1.1	14.7 ^{ax} ± 0.9
19	10°C	-	14.7 ^{ax} ± 0.7	14.5 ^{ax} ± 1.9	13.8 ^{ax} ± 3.1
	20°C	-	-	-	-
	Transferidos	18.4 ^{ax} ± 1.8	14.8 ^{bx} ± 0.3	14.8 ^{bx} ± 1.3	12.4 ^{bx} ± 1.9

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

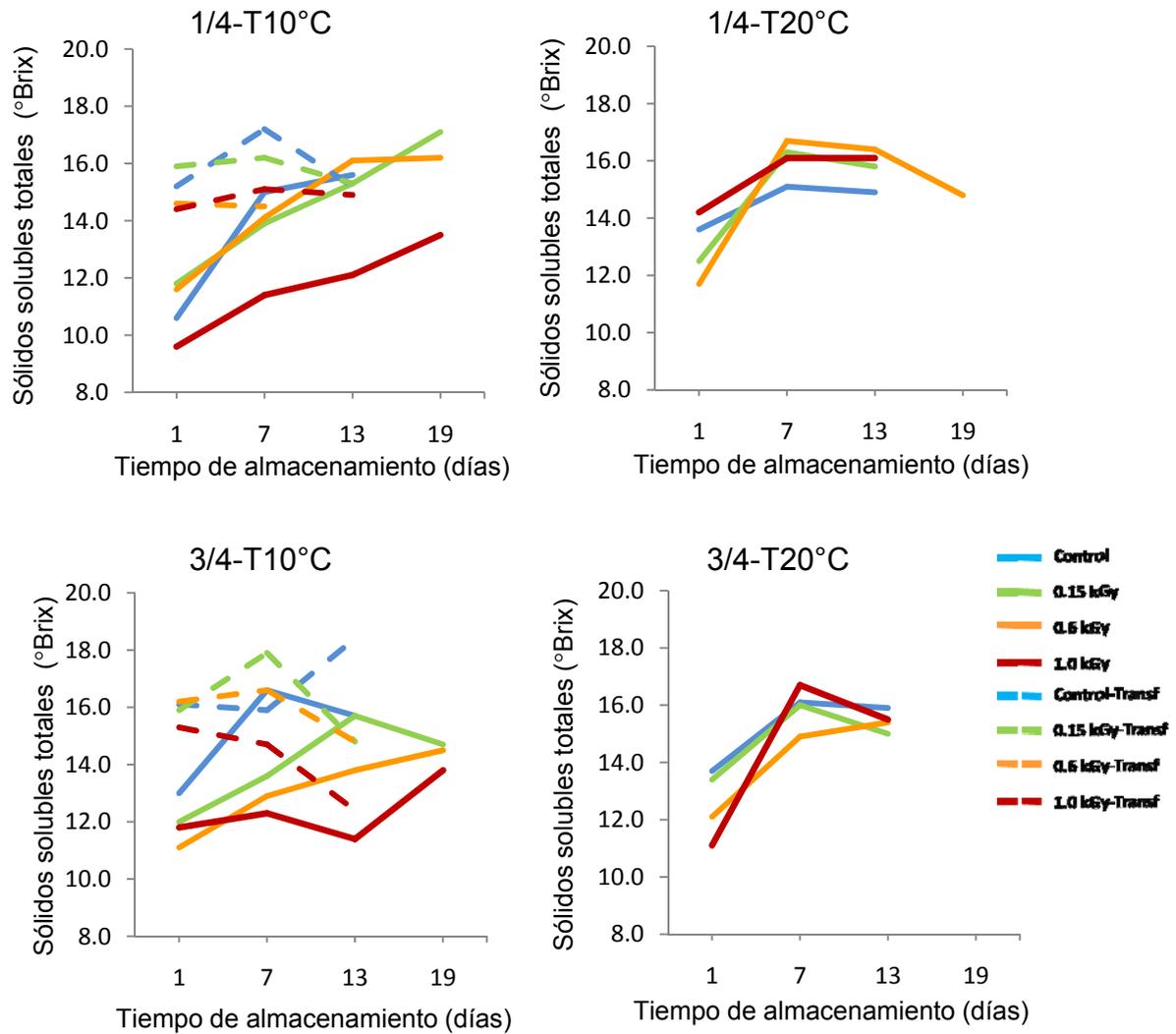


Figura 20. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

aquellos que fueron almacenados a 10°C y los transferidos (10°C/20°C). Este comportamiento puede deberse a la pérdida de humedad que sufren algunos frutos, entre los que se incluye el mango, cuando son almacenados a 20°C.

VI.2.2.3 Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico en frutos con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados a 10°C y tratados a 1.0 kGy de irradiación, fue significativamente menor en comparación a los demás frutos tratados y a los controles, esto a partir del día 13 de almacenamiento (Cuadro 16 y 17). En el caso de los frutos transferidos con un 1/4 de madurez fisiológica tratados a dosis de 0.6 y 1.0 kGy de irradiación, presentaron valores de ácido ascórbico más bajos en comparación a los tratados a una dosis de 0.15 kGy y los frutos controles, esto a partir del séptimo día. Sin embargo, los frutos transferidos con 3/4 de madurez presentaron este comportamiento hasta el 13 día de almacenamiento. Por lo tanto, la irradiación a partir de esta dosis (0.15 kGy) ejerce una disminución significativa sobre el contenido de ácido ascórbico en mango “Manila”.

La tendencia del contenido de ácido ascórbico en los mangos (en los dos estados de madurez) durante todo el tiempo de almacenamiento no es del todo clara, como se puede apreciar en la Figura 21, ya que se observan algunos incrementos al final del almacenamiento que pueden ser debidos a que la oxidación inicial inducida por la irradiación no resultó tan severa, permitiendo la reconversión del ácido dehidroascórbico a ácido ascórbico (Wong y Kitts, 2001).

En referencia a los frutos almacenados a 20°C la irradiación no ejerció un efecto significativo sobre el contenido de ácido ascórbico, por tanto su comportamiento estuvo controlado por el proceso de maduración de la fruta más que por la dosis de irradiación.

VI.3 Actividad antioxidante total

A lo largo del tiempo de almacenamiento, el índice de actividad antioxidante en los frutos almacenados a 10°C, tanto irradiados como los controles, tendieron a aumentar. Los frutos control e irradiados a una dosis de 0.6 y 1.0 kGy presentaron el porcentaje más alto de actividad antioxidante en el treceavo día. Mientras que los frutos tratados a una dosis de 0.15 kGy lo presentó en el día siete. Los frutos

Cuadro 16. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) de mangos “Manila” a 1/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	56.4 ^{ax} ± 8.4	48.0 ^{ax} ± 5.8	51.5 ^{ax} ± 10.8	56.4 ^{ax} ± 7.4
	20°C	50.0 ^{ax} ± 8.2	57.2 ^{ax} ± 9.8	52.0 ^{ax} ± 8.1	49.2 ^{ax} ± 6.4
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	55.2 ^{ax} ± 4.8	59.2 ^{ax} ± 8.3	56.0 ^{ax} ± 10.3	58.4 ^{ax} ± 2.9
	20°C	50.4 ^{ax} ± 9.5	39.4 ^{ay} ± 9.9	42.8 ^{ay} ± 6.5	46.0 ^{ay} ± 11.8
	Transferidos	54.4 ^{ax} ± 10.4	45.6 ^{by} ± 4.0	49.6 ^{abxy} ± 2.0	51.6 ^{abxy} ± 6.4
13	10°C	46.8 ^{by} ± 1.3	50.4 ^{abxy} ± 5.0	59.2 ^{ax} ± 10.7	43.2 ^{bxy} ± 6.3
	20°C	72.0 ^{ax} ± 21.9	60.6 ^{ax} ± 14.3	50.9 ^{ax} ± 15.1	52.2 ^{ax} ± 19.9
	Transferidos	36.8 ^{aby} ± 10.6	34.4 ^{by} ± 12.4	52.8 ^{ax} ± 10.6	31.6 ^{by} ± 9.2
19	10°C	-	91.2 ^{ax} ± 6.8	75.2 ^{bx} ± 9.1	60.0 ^{bx} ± 13.9
	20°C	-	-	86.4 ^{ax} ± 3.4	-
	Transferidos	63.8 ^{ax} ± 21.5	72.0 ^{ay} ± 13.4	-	64.8 ^{ax} ± 17.2

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 17. Efecto de la dosis de irradiación y temperatura de almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) de mangos “Manila” a 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 90 % de humedad relativa.

Dosis					
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	51.6 ^{ax} ± 6.0	54.4 ^{ax} ± 5.8	57.2 ^{ax} ± 12.5	57.6 ^{ax} ± 7.6
	20°C	49.6 ^{ax} ± 11.5	54.8 ^{ax} ± 5.6	49.6 ^{ax} ± 7.6	52.0 ^{ax} ± 8.0
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	49.6 ^{ax} ± 5.4	59.2 ^{ax} ± 4.7	53.2 ^{ax} ± 5.8	58.8 ^{ax} ± 8.7
	20°C	58.4 ^{ax} ± 7.1	50.4 ^{ax} ± 10.8	48.8 ^{ax} ± 8.9	46.0 ^{ay} ± 6.5
	Transferidos	51.2 ^{ax} ± 6.0	47.4 ^{ax} ± 10.6	44.4 ^{ax} ± 9.7	44.8 ^{ay} ± 5.0
13	10°C	56.8 ^{abx} ± 7.1	62.4 ^{ax} ± 11.5	56.4 ^{abx} ± 7.4	46.0 ^{bx} ± 7.0
	20°C	63.8 ^{ax} ± 9.4	80.8 ^{ax} ± 24.2	55.2 ^{ax} ± 14.4	56.4 ^{ax} ± 28.5
	Transferidos	47.2 ^{abx} ± 13.3	59.6 ^{ax} ± 10.3	40.8 ^{bx} ± 4.8	44.0 ^{abx} ± 8.8
19	10°C	-	69.0 ^{ay} ± 23.0	71.2 ^{ax} ± 22.3	56.6 ^{bx} ± 8.6
	20°C	-	-	-	-
	Transferidos	94.2 ^{ax} ± 25.7	94.2 ^{ax} ± 12.0	36.8 ^{by} ± 1.4	48.0 ^{bx} ± 28.2

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

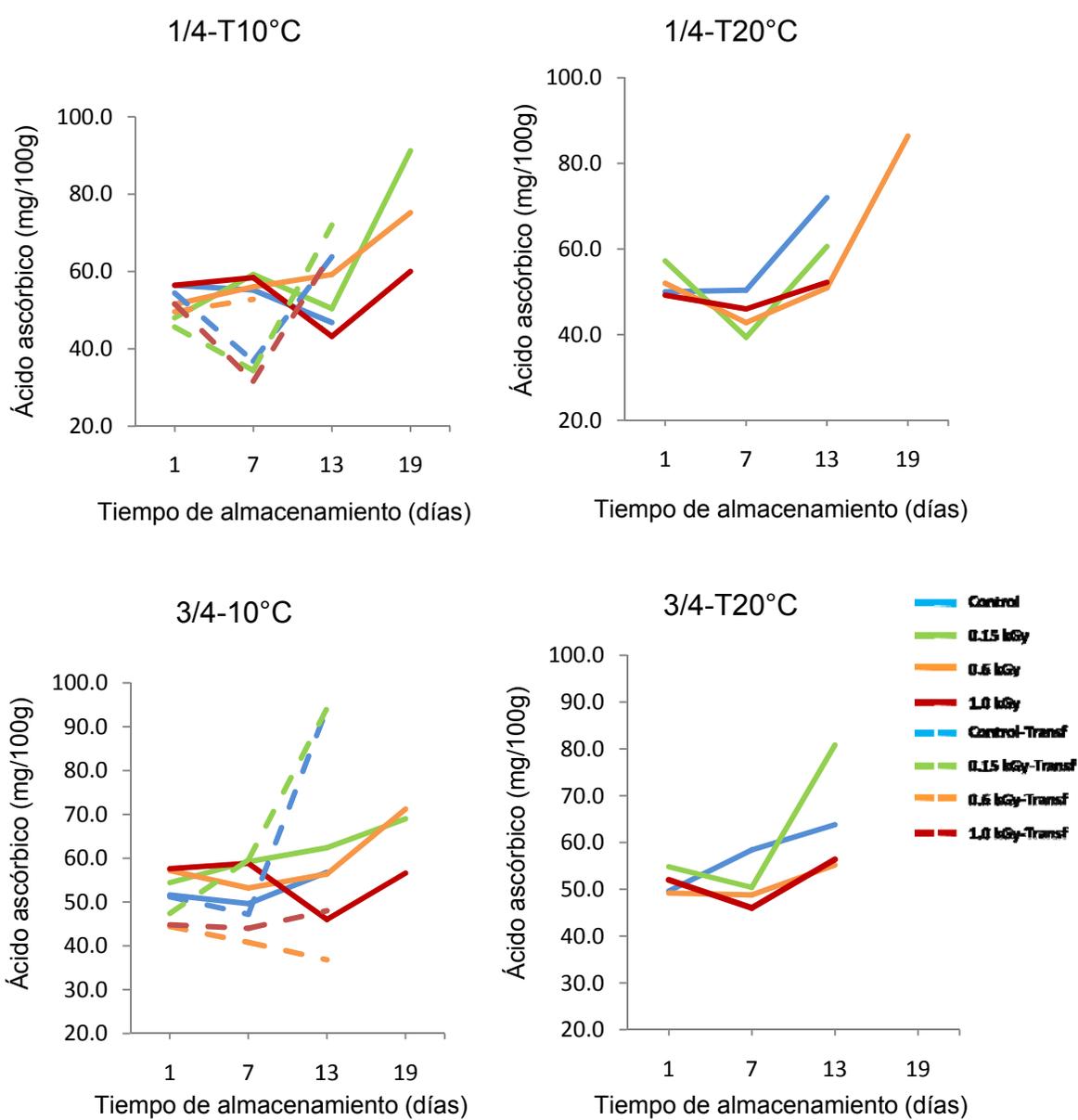


Figura 21. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica almacenados 19 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

transferidos tendieron a aumentar su índice de actividad antioxidante durante el tiempo de almacenamiento, siendo los frutos irradiados los que mayor porcentaje de actividad antioxidante presentaron en comparación a los frutos control (Cuadro 18). Así mismo, se observó una influencia de la temperatura sobre dicho parámetro,

ya que el índice de actividad antioxidante de los frutos transferidos estuvo por debajo del presentado por los frutos almacenados a 10°C de forma continua.

Cuadro 18. Efecto de la dosis de irradiación sobre el índice de actividad antioxidante (% reducción DPPH/ g b.s.) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

		Dosis			
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	11.2 ^{ax} ± 5.4	15.4 ^{ax} ± 3.4	15.8 ^{ax} ± 2.6	17.1 ^{ax} ± 2.0
	20°C	15.7 ^{ax} ± 9.8	12.6 ^{ax} ± 5.8	10.7 ^{ax} ± 3.0	15.5 ^{ax} ± 4.7
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	14.4 ^{bx} ± 2.7	17.9 ^{bx} ± 4.7	21.3 ^{ax} ± 3.0	19.2 ^{abx} ± 4.4
	20°C	17.7 ^{ax} ± 4.8	17.6 ^{ax} ± 2.7	15.5 ^{ax} ± 5.1	17.1 ^{ax} ± 4.4
	Transferidos	12.3 ^{ax} ± 2.7	15.6 ^{ax} ± 2.7	15.3 ^{ax} ± 3.7	14.9 ^{ax} ± 5.1
13	10°C	15.4 ^{bx} ± 7.0	16.1 ^{bxy} ± 3.8	20.3 ^{ax} ± 4.2	22.3 ^{ax} ± 3.7
	20°C	7.9 ^{by} ± 0.9	9.8 ^{by} ± 2.2	18.1 ^{ay} ± 3.7	23.4 ^{ax} ± 3.8
	Transferidos	17.3 ^{ax} ± 4.1	18.8 ^{ax} ± 8.9	16.3 ^{axy} ± 2.1	18.7 ^{ax} ± 4.1

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

En relación a los frutos control almacenados a 20°C y tratados a una dosis de irradiación de 0.15 kGy, su índice de actividad antioxidante mostró una reducción significativa ($P < 0.05$) al final del almacenamiento (55.4% y 44.3%, respectivamente). Mientras que los frutos expuestos a una dosis de irradiación de 0.6 y 1.0 kGy mostraron una tendencia a aumentar.

VI.3.1 Compuestos fenólicos totales

La exposición de los mangos “Manila” a la irradiación gamma induce un aumento significativo ($p > 0.05$) en el contenido de compuestos fenólicos totales en las dosis estudiadas (Figura 23 y Cuadro 19). En comparación con los frutos control, las concentraciones de compuestos fenólicos (mg EAG/100 g) fueron significativamente

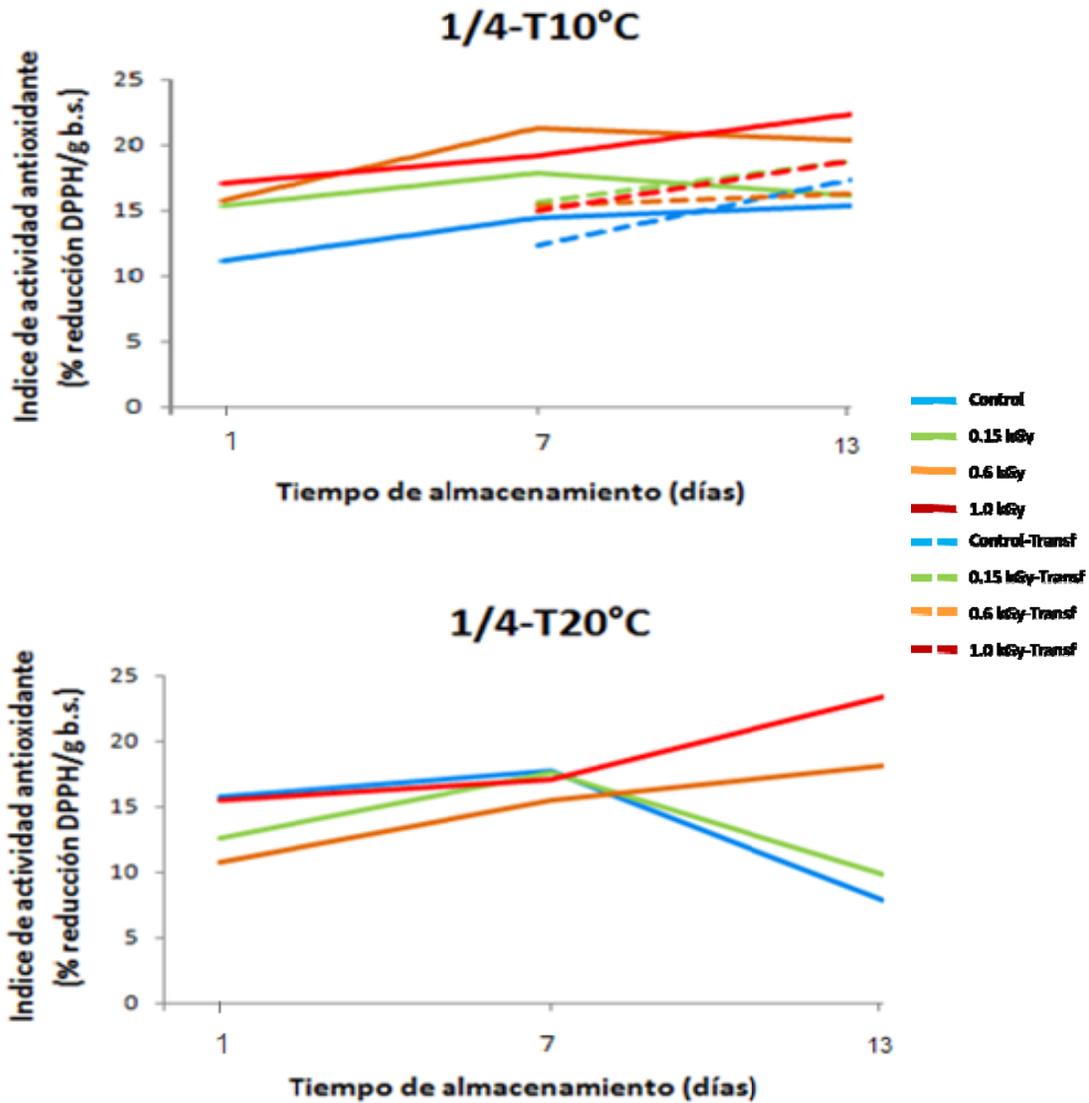


Figura 22. Efecto de la dosis de irradiación sobre la actividad antioxidante total (% reducción DPPH/g b.s.) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

mayores en las muestras irradiadas a partir del día siete y hasta el final del almacenamiento, siendo la dosis de 1.0 kGy la que mostró un mayor incremento tanto en muestras almacenadas a 10°C (de forma continua así como en las transferencias) y 20°C (48.9%, 45.7% y 45.5%, respectivamente). Sin embargo, en los frutos control almacenadas a 10°C se observó una reducción significativa de 12.02% al final del almacenamiento.

Cuadro 19. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

		Dosis			
Día	Temperatura	*Control	0.15 kGy	0.6 kGy	1.0 kGy
1	10°C	15.3 ^{ax} ± 2.7	16.3 ^{ax} ± 3.6	19.6 ^{ax} ± 1.3	18.4 ^{ax} ± 3.0
	20°C	15.7 ^{bx} ± 1.6	17.1 ^{abx} ± 1.6	20.6 ^{ax} ± 2.1	16.7 ^{abx} ± 2.1
	Transferidos	ND	ND	ND	ND
7	10°C	18.3 ^{ay} ± 2.8	20.3 ^{ax} ± 2.2	19.3 ^{ax} ± 2.5	21.1 ^{ax} ± 2.1
	20°C	17.1 ^{bx} ± 3.0	18.4 ^{bx} ± 1.7	18.5 ^{bxy} ± 2.9	20.2 ^{ax} ± 1.8
	Transferidos	15.4 ^{ay} ± 1.9	13.9 ^{ay} ± 1.9	15.2 ^{ay} ± 2.0	15.3 ^{ay} ± 0.9
13	10°C	16.1 ^{cx} ± 2.3	20.1 ^{bx} ± 2.7	22.4 ^{bx} ± 3.1	27.4 ^{cx} ± 1.5
	20°C	16.7 ^{bx} ± 1.5	16.6 ^{bxy} ± 2.6	20.8 ^{axy} ± 2.8	24.3 ^{axy} ± 1.9
	Transferidos	15.5 ^{bx} ± 2.0	14.9 ^{by} ± 1.8	15.4 ^{by} ± 2.6	22.3 ^{ay} ± 3.7

*Control, muestras no irradiadas.

Las medias son valores de tres mangos y dos replicas para cada tratamiento.

^{a-c} Las medias dentro de una fila con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{x-z} Las medias por temperatura, para un mismo día, con letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Durante el almacenamiento se observó un aumento de los compuestos fenólicos principalmente en los frutos tratados almacenados a 10°C y 20°C (Figura 23). Los frutos control mostraron mayor concentración de compuestos fenólicos al día siete; mientras que en los frutos tratados su mayor concentración fue al día trece. Los frutos irradiados a una dosis de 0.6 y 1.0 kGy fueron los que presentaron una mayor concentración, en comparación a la presentada por los frutos control y los irradiados a una dosis de 0.15 kGy. La concentración de los compuestos fenólicos en las frutas varía de acuerdo al crecimiento y maduración de la misma, viéndose reducidos en su concentración a medida que la fruta madura. Lo anterior fue observado en los frutos almacenados a 20°C, los cuales presentaron valores de concentración de compuestos fenólicos inferiores a los presentados por los frutos almacenados a 10°C; temperatura a la cual se induce un retraso en la maduración del fruto. El contenido de compuestos fenólicos durante el tiempo de almacenamiento en los frutos transferidos, presentó un aumento significativo ($p < 0.05$) en los frutos irradiados a una dosis de 1.0 kGy. En relación a los frutos

tratados a las otras dosis, su contenido de compuestos fenólicos no cambió durante el tiempo de almacenamiento considerado.

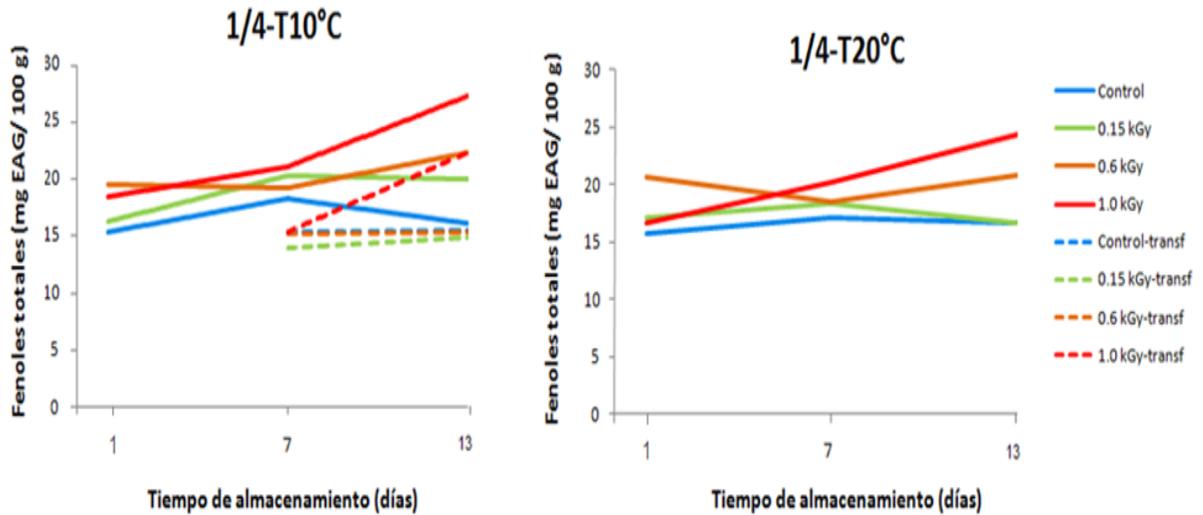


Figura 23. Efecto de la dosis de irradiación sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/100 g) en mangos “Manila” con 1/4 de madurez fisiológica almacenados 13 días a 10°C, 20°C y de 10°C a 20°C (mangos transferidos).

VII. DISCUSIÓN

VII.1 Calidad poscosecha

VII.1.1 Propiedades físicas

VII.1.1.1 Pérdida de peso

Durante el tiempo de almacenamiento considerado, el porcentaje de pérdida de peso en los magos no se vió inducido por el tratamiento de irradiación, pero sí por la temperatura de almacenamiento. Siendo los mangos almacenados a 20°C los que mayor pérdida de peso (% pérdida de peso) registraron ante la aceleración de la maduración a esta temperatura. Este comportamiento se asocia a una mayor pérdida de agua debida a un incremento en la permeabilidad de las membranas lo cual facilita la salida de agua.

VII.1.1.2 Firmeza

La exposición a la irradiación gamma no induce un ablandamiento significativo ($p>0.05$) en los frutos de mango con 1/4 y 3/4 de madurez fisiológica, siendo la temperatura de almacenamiento la que controla el ablandamiento de la fruta. Acentuándose dicho efecto en los frutos almacenados a 20°C, debido a que esta temperatura se induce más rápidamente la maduración del mango que se caracteriza por el reblandecimiento de la pulpa.

Aunque no es significativo el efecto de la irradiación gamma sobre la pérdida de firmeza, se registró una mayor pérdida en aquellos frutos expuestos, principalmente, a dosis de irradiación entre 0.6 y 1.0 kGy. El efecto de la irradiación en el ablandamiento del tejido de la fruta se puede asociar con la degradación de los polisacáridos de la pared celular y la solubilización de pectinas, celulosa, hemicelulosa y almidón (Kovács y Keresztes, 2002; Kader, 1986). Resultados

similares han sido reportados por Lacroix y col., (1992) en donde las muestras de mango irradiados con rayos gamma a 0.6 y 0.9 kGy mostraron una diferencia significativa en la pérdida de textura en comparación con las frutas no irradiadas. El-Samahy y col., (2000) también encontraron una reducción de la firmeza de mango cuando son expuestos a la irradiación gamma a niveles de dosis entre 0.5 y 1.5 kGy.

VII.1.1.3 Color interno

Los cambios en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) externo (piel) e interno (pulpa) de los mangos irradiados fueron tomados en cuenta para evaluar el efecto de la irradiación.

En referencia a la luminosidad (L^*) la irradiación no ejerce un efecto significativo sobre ésta; a diferencia de la temperatura de almacenamiento, en donde los frutos almacenados a 20°C mostraron una disminución importante de luminosidad (oscurecimiento) en comparación a aquellos almacenados a 10°C. Lo anterior es a causa de un aumento en la actividad de la polifenol oxidasa que trae consigo la oxidación de los compuestos fenólicos, y esto a su vez a la pigmentación marrón oscuro de la fruta (Thomas, 1986).

En cuanto al enrojecimiento de la fruta (a^*), la irradiación a una dosis de 1.0 kGy ejerce efectos significativos sobre la maduración del fruto. Ya que para los valores de a^* los frutos expuestos a dicha dosis de irradiación fueron inferiores a los presentados por los frutos control y tratados a las otras dosis de irradiación. Estos resultados coinciden con los reportados por Mitchel y col., (1992) en donde reportan una reducción en los valores de a^* en mangos expuestos a dosis de irradiación gamma a 75 y 300 Gy. Lo anterior se asocia con el posible efecto de la irradiación en retrasar el proceso de maduración. En frutas climatéricas como el mango, al comenzar la maduración se producen cambios en los pigmentos de verde a amarillo o rojo, debido a la degradación de la clorofila y desarrollo de los

carotenoides. Se ha demostrado que la irradiación puede destruir los pigmentos en función de su dosis y las condiciones de la fruta (Hulme, 1971).

Así mismo, Mitra (1997) señala que el desarrollo del color de la piel es acompañado de cambios ultra estructurales relacionados con la transición de los cloroplastos a cromoplastos. La membrana tilacoidal de los sistemas en la piel de los mangos gradualmente se rompe, mientras que los glóbulos osmiofilos se amplían y aumentan en número; esto se asocia con la degradación de la clorofila, mientras que la aparición de los glóbulos osmiofilos acompaña a un aumento en los niveles de carotenoides.

Sin embargo, en este trabajo la temperatura de almacenamiento, más que la irradiación, fue el factor principal para detener la maduración del fruto. Ya que a una temperatura de 10°C se observó un retraso en la maduración de los mangos (valores menores de a^* y b^*), en comparación a aquellos que fueron almacenados a 20°C y los transferidos (10°C/20°C). Estos resultados coinciden con los reportados por Vásquez y col., (1985), quienes señalan que las temperaturas de entre 20 a 25°C son las más adecuadas para acelerar la maduración de los frutos de mango.

VII.1.2 Propiedades químicas

VII.1.2.1 Acidez titulable

En la mayoría de los frutos la acidez decrece gradualmente al acercarse la madurez, reducción que juega un papel importante en el balance acidez/azúcar y por lo tanto, influye en el sabor y aroma de los frutos (Hulme, 1971).

Los análisis de varianza de los contenidos de acidez total de la pulpa de mangos “Manila”, sometidos a diferentes dosis de irradiación y temperaturas de almacenamiento, indicaron que hay un efecto significativo de la dosis de irradiación

sobre la acidez en mangos con 3/4 de madurez fisiológica almacenados a 10°C a partir del séptimo día. Lo anterior se refleja en el Cuadro 13 en donde el contenido de acidez fue mayor, en función a la dosis de irradiación, en los frutos tratados en comparación a los frutos control. Diferentes hallazgos se han reportado acerca del efecto de la irradiación sobre la acidez. Por ejemplo, Youssef y col., (2002) observaron un aumento (21.0%) en la acidez de la pulpa de mango tratado a dosis de irradiación gamma entre 0.5 y 2.0 kGy. En cambio, resultados contrarios fueron reportados por Durigan y col., (2004) quienes observaron una reducción de la acidez titulable en mangos irradiados con rayos gamma a 0.8 y 1.0 kGy. Lo anterior sugiere que el efecto de la irradiación sobre la acidez depende de la dosis utilizada.

Como se ha mencionado anteriormente la temperatura influye decisivamente en la maduración del fruto, tan es así que a 20°C se detiene la acidez en los mangos. La disminución de la acidez titulable durante la maduración, puede deberse a que los ácidos orgánicos son utilizados como sustrato para la respiración.

VII.1.2.2 Sólidos solubles totales

Los azúcares representan una alta proporción de los sólidos solubles en los frutos de mango maduros. Una vez cosechado el fruto, el contenido de azúcares se incrementa a expensas del almidón presente, incrementándose los sólidos solubles. En los frutos de mango tratados con irradiación gamma, se observó una disminución significativa sobre el contenido de sólidos solubles conforme aumentaba la dosis de irradiación; lo anterior en los frutos con 3/4 de madurez fisiológica a partir del séptimo día y almacenados a 10°C. Sin embargo, Bustos (2001) señala que no hay cambios en el contenido de SST en mangos irradiados en un intervalo de 0.3 a 1.0 kGy de irradiación almacenados durante 15 días a 13°C.

El comportamiento del contenido de sólidos solubles en los mangos irradiados es consistente con el aumento de los valores de acidez por efecto de la dosis de

irradiación. Egea y col., (2007) reportan que durante la maduración de la mayoría de los frutos climatéricos se registra una disminución de la acidez y un incremento de los SST, y que dichos procesos contribuyen al sabor característico de la fruta madura.

VII.1.2.3 Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico en mangos irradiados fue significativamente menor a una dosis de 1.0 kGy al final del tiempo de almacenamiento. Sin embargo, en los frutos transferidos el contenido de ácido ascórbico disminuyó a partir del día 7 de almacenamiento y a una dosis de irradiación superior a 0.6 kGy. Estos resultados coinciden con los reportados por Youssef y col., (2002), los cuales encontraron una disminución de los valores de ácido ascórbico en pulpa de mango irradiado con rayos gamma a dosis de entre 0.5 y 2.0 kGy. La reducción de ácido ascórbico podría estar asociada con el papel que desempeña este ácido orgánico como sustrato en la tasa de respiración, al aumentar ésta en muestras irradiadas. Además, la irradiación induce la oxidación del ácido ascórbico a través de la acción de radicales hidroxilo generados por la radiólisis del agua de los alimentos; así como la síntesis de compuestos fenólicos como una acción antioxidante para proteger a otros componentes contra el daño oxidativo inducido por la irradiación.

VII.2 Actividad antioxidante

A lo largo del tiempo de almacenamiento, el índice de actividad antioxidante en los frutos control almacenados a 20°C y en los irradiados a una dosis de 0.15 kGy mostraron un efecto significativo ($P>0.05$) de reducción (55.4% y 44.3%, respectivamente), mientras que los frutos expuestos a una dosis de 0.6 y 1.0 kGy y los del grupo almacenados a 20°C mostraron una tendencia a aumentar.

En general, las muestras irradiadas a una dosis superior de 0.6 kGy presentaron un porcentaje de inhibición de DPPH mayor en el día 13. Estos resultados fueron

consistentes con los cambios en los compuestos fenólicos. Es posible que bajo las condiciones experimentales desarrolladas en este estudio algunos compuestos (tales como compuestos fenólicos y ácido ascórbico) se hayan oxidado más fácilmente que provocó la creación de más radicales libres. Lo anterior, constituye la razón por la cual el procesamiento de oxidación provoca el aumento del índice de actividad antioxidante y, por tanto una reducción en las reacciones que afectan la calidad de la fruta. Reyes y Cisneros (2005), encontraron un aumento de la actividad antioxidante en mango irradiado expuestos a dosis de 1.0 kGy (11.56%), 1.5 kGy (5.58%) y 3.1 kGy (2.78%). Así mismo, estos resultados coinciden con el aumento de la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL).

VII.2.1 Fenoles totales

La irradiación gamma induce un aumento en el contenido de compuestos fenólicos totales en mangos “Manila” durante el tiempo de almacenamiento, acentuándose dicho efecto a 1.0 kGy de irradiación y a una temperatura de 10°C, en comparación al presentado por los mangos transferidos y almacenados a 20°C (48.9%, 45.7% y 45.5%, respectivamente). En la Figura 16 se aprecia como los frutos control su máximo contenido de compuestos fenólicos se presenta al día siete, mientras que en los mangos irradiados su máxima concentración se prolonga hasta el último día de almacenamiento. Estos resultados concuerdan con los de El-Samahy y col., (2000), los cuales reportan un incremento del 25.54% en la concentración de compuestos fenólicos en mangos irradiados (0.5-1.5 kGy) en comparación a los mangos control. Mientras que Tan y col., (1985), reportaron un incremento de 52.73% en el contenido de compuestos fenólicos en mangos irradiados a una dosis de 0.25-1.0 kGy. Además, Youssef y col., (2002) encontraron una mayor tasa de incremento (2.05%) en pulpa de mango irradiado, que en no irradiado, a una dosis de entre 0.5-2.0 kGy.

La acumulación de compuestos fenólicos después de la irradiación se asocia con diversos factores tales como las modificaciones que ocurren en las estructuras

celulares de la fruta (pared celular fragmentada y células separadas), como una respuesta de los tejidos a la irradiación, esto da lugar a un aumento de la permeabilidad celular que conduce a un mayor contacto entre las enzimas (aumento de la actividad enzimática) y sustratos tales como compuestos fenólicos presentes en los tejidos (Lorinda y col., 1986).

El aumento de las concentraciones de compuestos fenólicos tiene un efecto beneficioso debido a sus propiedades antioxidantes que son importantes en la prevención de diferentes enfermedades. Además, los fenoles son componentes esenciales en el sabor y astringencia de la fruta. La pérdida de astringencia se asocia con la pérdida de contenido de compuestos fenólicos (Mittra, 1997). Por otra parte Tan y col., (1982), han informado que frutas como la papaya, son más resistentes a una infección por hongos, mientras mayor contenido de compuestos fenólicos están presentes. Por lo tanto, el aumento en el contenido de fenoles puede ser importante en extender la vida útil de un fruto.

De igual manera, se ha observado el efecto de la maduración sobre el contenido de fenoles en el fruto. En el Cuadro 18 se aprecia que los frutos almacenados a 20°C (temperatura a la cual se induce rápidamente la maduración del fruto) presentan un menor contenido de compuestos fenólicos en comparación a aquellos almacenados a 10°C. Se han encontrado variaciones en el contenido de compuestos fenólicos en frutas durante su crecimiento y maduración. Lo anterior se debe a que la concentración de fenoles disminuye a medida que la fruta madura. Este proceso también se ve afectado por la modificación de las estructuras celulares durante la maduración y por las enzimas que intervienen en el metabolismo de compuestos fenólicos (Macheix y col., 1990).

La tendencia observada en los compuestos fenólicos corresponden a cambios en el índice de actividad antioxidante de los frutos cuando el porcentaje de reducción del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) fue significativamente ($P > 0.05$) mayor para las muestras irradiadas hasta el treceavo día de almacenamiento (Figura 17, Cuadro

18). El aumento de la actividad antioxidante es un buen indicador de la reducción de las reacciones de oxidación que inducen la formación de compuestos que pueden modificar el sabor y el olor de la fruta.

VIII. CONCLUSIONES

El presente estudio buscó determinar el efecto de la irradiación gamma sobre la actividad antioxidante y calidad poscosecha de los frutos de mango cv. "Manila"; las conclusiones fueron las siguientes:

La amarillez (b^*) de los frutos no se vió afectada por efecto de la irradiación gamma. Sin embargo, la luminosidad (L^*) en los frutos con 3/4 de madurez fisiológica y almacenados a 10°C , la dosis de irradiación ejerció un efecto significativo sobre los valores de L^* observándose una disminución. Mismo efecto fue observado, en los valores de enrojecimiento (a^*) de los frutos de mango (en ambos estados de madurez y almacenados a 10°C) a una dosis de 1.0 kGy de irradiación, al día siete de almacenamiento.

La temperatura de almacenamiento, fue el factor principal para detener la maduración del fruto. Siendo la temperatura de 10°C la que induce un retraso en la maduración. La irradiación sólo induce un retraso leve en el cambio de color de los frutos. Dicho efecto se vió reflejado en los cambios sufridos en los parámetros de color (a^* , b^* y L^*).

Los frutos de mango almacenados a 20°C presentaron una mayor pérdida de firmeza, en el día 7; en comparación a los frutos almacenados a 10°C de forma continua y transferida, en donde la pérdida de firmeza fue constante durante todo el tiempo de almacenamiento.

La irradiación no ejerció un efecto significativo sobre el ablandamiento de los frutos. Sin embargo, se percibe que los frutos irradiados sufren una mayor pérdida de firmeza, que los frutos controles.

La irradiación no afectó la pérdida de peso de los mangos, más no así la temperatura de almacenamiento. Donde dicha pérdida se acentuó a 20°C .

En los frutos de mango irradiados con 3/4 de madurez fisiológica y almacenados a 10°C, la irradiación ejerce un efecto significativo ($P>0.05$) sobre los valores de acidez. Los cuales fueron mayores para los frutos irradiados que en los frutos controles. Durante el tiempo de almacenamiento, la acidez disminuyó paulatinamente en los frutos almacenados a 10°C. Sin embargo, a una temperatura de 20°C la pérdida de acidez se acentuó en el día 7 de almacenamiento.

La irradiación gamma tuvo un efecto significativo sobre el contenido de sólidos solubles totales (SST) en mango irradiado en un estado de madurez fisiológica 3/4 y almacenados a 10°C. En donde los valores del contenido de SST fueron inferiores que los frutos control. La dosis de 1.0 kGy minimizó el cambio.

La irradiación a una dosis de 1.0 kGy causó un efecto significativo ($P>0.05$) en el contenido de ácido ascórbico en mango al final del almacenamiento. Siendo menor su contenido a dicha dosis, que en los controles y a otras dosis de irradiación.

Los compuestos fenólicos en mango “Manila” aumentaron significativamente ($P>0.05$) con el tratamiento de irradiación. Las concentraciones fueron mayores en las muestras irradiadas almacenadas a 10°C a una dosis de 0.6 kGy (22.4 %) y 1.0 kGy (27.4 %). Esta tendencia correspondió al aumento del índice de actividad antioxidante, a partir de las mismas dosis.

Los resultados sugieren que el tratamiento de irradiación en mangos cv. “Manila” puede conducir a una situación de estrés que, dependiendo de la dosis, puede o no causar cambios fisicoquímicos que dependen de los parámetros fisiológicos del fruto. Los mangos irradiados hasta una dosis de 0.6 kGy mantienen su calidad general y puede aumentar su vida útil (19 días almacenados a 10°C), al retrasar la maduración.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Abbott, J. 1999. Quality measurement of fruit and vegetables. Horticultural Crops Quality Laboratory, USDA. Postharvest Biology and Technology. Vol. 15:207-225.

Akamine, E.K. y Goo, T. 1971. Respiration of gamma irradiated fresh fruits. Journal of Food Science. Vol. 36:1074-1077.

AOAC. 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. 13va. ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

AOAC. 1998. Official Methods of the Association of Analytical Chemists. 16va ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

Aluja, M. 1993. Manejo integrado de la mosca de la fruta. 2da. ed., Editorial Trillas, México, D.F.: 250-261.

Arauz, L.F. y Umaña, G. 1986. Diagnóstico e incidencia de las enfermedades poscosecha del mango en Costa Rica. 1era ed., Agronomía Costarricense, Costa Rica: 89-99.

Bateman, M.A. 1972. The ecology of fruit flies. Annu. Rev. Entomol. Vol.17:49-18.

Becerra, N. E. 1995. Enfermedades del cultivo de mango. 2da. ed., Editorial Limusa, México, D.F.: Cap. 6.

Beyers, M. and Thomas, A.C. 1979. Gamma irradiation of subtropical fruits IV. Changes in certain nutrients present in mangoes, papayas, and litchis during canning, freezing and gamma irradiation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 27:48-51.

Bondet, V., Brand-williams, W. and Berset, C. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Vol. 30:609-615.

Bustos, R. M.E. 2001. Irradiation as a Quarantine Treatment. Proceedings of the NAPPO Workshop on Phytosanitary Alternatives to Methyl Bromide. 24va ed., Annual Meeting Workshop Bulletin. No.16:4-13.

Butler, J., Land, E.J. and Swallow, A.J. 1984. Chemical mechanisms of the effect of high energy radiation on biological systems. Radiation Physics and Chemistry. Vol. 24:273-282.

CESAVEG. 2005. Fichas técnicas de insectos y plagas en frutales. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato. 30 de abril de 2009.

Cook, A. A. 1975. Disease of tropical and subtropical fruits and nuts. 1ra ed., Hafner Press, New York: 231.

Dharkar, S.D., Savagaon, K.A., Srirangarajan, A.N. 1966. Irradiation of Mangoes. II. Radiation effects on skin-coated Alphonson mangoes. Biochemistry and Food Technology Division, Atomic Energy Establishment Trombay, Bombay, India

Dewanto, V., Wu, X. and Liu, R. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal Agricultural Food Chemistry. Vol. 50:4959-4964.

Durigan, J.F., De Almeida Texeira, G.H., Castanharo, N.M., and Domarco, R.E. 2004. Postharvest conservation of "Tommy Atkins" mango fruit influenced by gamma radiation, wax, hot water, and refrigeration. Acta Horticulturae. Vol. 645:601-604.

Eaton, G.W., C. Meehan and N. Turner. 1970. Some physical effects of post-harvest gamma radiation on the fruit of sweet cherry, blueberry, and cranberry. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal. Vol. 3:152-156.

Egea, M.I., Sánchez-Bel, P., Martínez-Madrid, M.C., Flores, F.B. and Romojaro, F. 2007. The effect of beta ionization on the antioxidant potential of 'Búlida' apricot and its relationship with quality. Post Biol and Tech. Vol. 46:63-70.

El-Samahy, S.K., Youssef, B.M., Askar, A. A. and Swailam, M.H. 2000. Microbiological and chemical properties of irradiated mango. Journal Food Safety. Vol. 20:139-156.

Fan, X., Niemera, B.A., Mattheis, J.P., Zhuang, H., and Olson, D.W. 2005. Quality of fresh-cut apple slices by low dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. Journal of Food Science. Vol. 70:143-148.

FAO/FOASTAT.2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 21 de abril de 2009.

FAO/WHO. 1984. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Food, Codex Alimentarius, Vol. 15.

- Fellows, P. 2000.** Food processing technology, principles and practice. 2da ed., CRC Press, Reino Unido. p 230.
- Fitzell, R. D. y C. M. Peak. 1984.** The epidemiology of anthracnose disease of mango: inoculum sources, spore production and dispersal. Ann. Appl. Biol. Vol. 104:53-59.
- Flores, A. 1994.** Manejo Poscosecha de Frutas y Hortalizas en Venezuela. 2da. ed., UNELLEZ, Venezuela: 319.
- Foley, DM, Pickett K, Varon J, Lee J, Min DB, Caporaso F, and cols. 2002.** Pasteurization of fresh orange juice using gamma irradiation: microbiological, flavor, and sensory analices. Journal Food Science. Vol. 67:495-501.
- Frylinck, L., I. A. Dubery, and J. C. Schabort. 1987.** Biochemical changes involved in stress response and ripening behavior of g-irradiated mango fruit. Phytochemistry. Vol. 26:681-686.
- Gholap, A., Bandyopadhyay, C. and Nair, P. 1990.** Lipid Composition and Flavour Changes in Irradiated Mango (var. Alphonso). Journal of Food Science. Vol. 55(6):1579-1580.
- Herve, C.D., Fagan, C.C., O'Donnell C.P. y Lyng J.G. 1998.** Propiedades dieléctricas de queso fundido 0.3 a 3.0 GHz. Diario de Ingeniara de Alimentos. Vol. 75:415-422.
- Huang, S. y Huang, K. 2007.** Increased U.S. Imports of Fresh Fruit and Vegetables. Report from the Economic Research Service. USDA-ERS. www.ers.usda.gov/Publications/fts/2007/08Aug/fts32801/fts32801.pdf
- Hulme, A. C. 1971.** The mango. In The Biochemistry of Fruits and their Products. London: 233-254.
- Johnson, G.I.; Sangchote, S.; Cooke and A.W. 1990.** Control of stem-end rot (*Dothiorella dominicana*) and other postharvest diseases of mangoes (cv. Kensington Pride) during short-and long-term storage. Tropical Agriculture. Vol. 67:183-187.
- Johnson, G.I. 1994.** Stem-end rot. In: Compendium of tropical fruit diseases. Ed. by R.C. Ploetz, G.A. Zentmyer, W.T. Nishijima, K.G. Rohrbach, H.D. Ohr. U.S.A. American Phytopathological Society. 2da ed., APS Press, 39-41.

Josephson, E.S. and Peterson, M.S. **1982.** Preservation of Food by Ionizing Radiation. Vol. 1, CRC Press Inc., 2000 Corporate Blvd. NW, Boca Raton, Florida, 3343.

Kader, A. 2009. Recomendaciones para Mantener la Calidad Poscosecha. www.postharvest.ucdavis.edu.

Kader, A.A. 1986. Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. Food Technology. Vol. 40:117-121.

Ke, D. y Kader, A.A. 1992. External and internal factors influence fruit tolerant to low oxygen atmosphere. Journal American Society for Horticultural Science. Vol. 117: 913-918.

Kovács, E., and Keresztes, A. 2002. Effects of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. Micron. Vol. 33:199-210.

Kramer, A., and Twigg, B.A. 1970. Quality Control for the Food Industry. 3ra ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Lacroix, M., Bernard, L., Jobin, M., Milot, S., and Gagnon, M. 1992. Effect of irradiation on the biochemical and organoleptical changes during the ripening of papaya and mango fruits. Radiation Physics and Chemistry. Vol. 35(1-3):296-300.

Ladaniya, M.S., Singh S., and Wadhawan, A.K. 2003. Response of “Nagpur” mandarin, “Mosambi” sweet orange and “Kagzi” acid lime to gamma radiation. Radiation Physics and Chemistry. Vol. 67:665-675.

Little, A. 1975. Off on a tangent. A research note. Journal of Food Science. Vol. 40:410-411.

Lorinda, F., Dubery, I.A. and Schabert, J.C. 1986. Biochemical changes involved in stress response and ripening behavior of γ -irradiated mango fruit. Phytochemistry. Vol. 26:681-686.

Macheix, J.J., Fleuriet, A., and Billot, J. 1990. Fruit phenolics. Boca Raton, FL: CRC Press.

Martinez-Ayala, L. 2008. Controles durante y después del tratamiento de irradiación. Memorias de las 32va Reunión Anual de la North American Plant Protection Organization (NAPPO) y Simposio irradiación como tratamiento

fitosanitario en poscosecha. Guadalajara, Jalisco. México. p 24-34.

Mata, B., y Mosqueda V. 1995. La producción del mango en México. 1era ed., Editorial Limusa, México, D.F.

Mitchell, G.E., Mclauchlan, R.L., Isaacs, R.L., Williams, D.J. and Nottingham, S.M. 1992. Effect of low dose radiation on composition of tropical fruits and vegetables. *Journal of Food Composition Analysis*. Vol. 5:291-311.

Mitra, S. 1997. Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits. New York: CAB International.

Mondragón, P.A. 1999. Diferencias fisiológicas y metabólicas entre frutos sensibles y tolerantes al estrés térmico. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias y Tecnología de los Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. p 91.

Moreno, M.A., Castell-Pérez, M.E., Gomes, C., Da Silva, P.F., Jongsoon, K. and Moreira, R.G. 2007. Optimizing electron beam irradiation of “Tommy Atkins” mangoes (*Mangifera indica L.*). *Journal of Food Process Engineering*. Vol. 30:436-457.

Muy, R.D., Siller, J., Díaz, J. y Valdéz, B. 2004. Las condiciones de almacenamiento y el encerado afectan el estado hídrico y la calidad de mango. *Rev Fitotec Mex*. Vol. 27(2):201-209.

Nation, J., y Burditt Jr. 1994. Irradiation, insect pests and fresh horticultural product. CAB international. Cap. 5:85-102.

NOTIMEX. 2008. México utiliza irradiación en frutas frescas de exportación. www.agroforum.pe/showthread.php?t=43.

Oisson, S. and Bergstrand, E.S. 2001. Calibration of alanine dosimeters. ISRN ULIRAD-92-SE. Report 92. p 25.

Ortega, D.A. 2000. Atmósferas controladas y temperatura alta para controlar *Anastrepha obliqua* y *Anastrepha ludens* en mango variedad “Manila” en poscosecha. Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro. PROPAC. Tesis doctoral. 168.

Oufedjikh, H., M. Mahrouz, M.J. Amiot and M. Lacroix. 2000. Effect of gamma-irradiation on phenolic compounds and phenylalanine ammonia-lyase activity during

storage in relation to peel injury from peel of *Citrus clementina* Hort. Ex. Tanaka. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 48(2):559-565.

Pérez, E. 2007. www.ciens.ucv.ve.

Prior, R.L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., Mceweb, J., O'Brien, C., Lischener, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W. and Krewere, G. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Vol. 46:2686-2693.

PROEXANT Corporación. **2006.** Proyectos exitosos para el sector agroexportador. Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales. www.proexant.org.ec/HT_Mango.html

Radmanesh, M.M. 2001. Radiofrecuencia y Electrónica de Microondas Ilustrado. 1era ed., Editorial Prentice may PTR, Estados Unidos de América, 190.

Reyes, L.F., and Cisneros, L. 2005. The effect of e-beam ionizing radiation and storage on the antioxidant compounds of mango and blueberry fruits. Unpublished data. Department of Horticultural Sciences. Texas University.

Rosenthal, I. 1992. Electromagnetic radiations in food science. 1era ed., Springer-Verlag, New York, 184-187.

SAGARPA-SIAP, 2009. Producción Sistema Producto Mango <http://www.mango.gob.mx/index.php?portal=mango>

Saltveit, M.E. 1997. Respiratory metabolism report. Mann Laboratory, Department of Vegetable Crops. University of California Davis.

Sergent, E. 1999. Efectos del sombraje y época de cosecha sobre la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) "Haden". Bioagro. Revista del Decanato de Agronomía. UCLA.

Seymour, G.B., Taylor, J. and Tucker, G.A. 1993. Biochemistry of Fruit Ripening. 1era ed., Chapman & Hall, London, U.K.

Sharma, I .M.; Raj,H. y Kaul, J.L. 1994. Studies on post-harvest diseases of mango and chemical control stem end rot and anthracnose. Indian Phytopathology. Vol. 47:197-200.

Sharp, J.L. 1986. Hot-water treatment for control of *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) in mangos. J. Econ. Entomol. Vol. 85:2302-2304.

- Shiva Sankar**, Reddy, C.S., Subramanyam, M.V.V., Vani, R., Asha Devi, S. **2007**. In vitro models of oxidative stress in rat erythrocytes: Effect of antioxidant supplements. *Toxicol. In Vitro*. Vol.21:1355-1364.
- Sosa-Morales**, M.E. **2009**. Efecto de la aplicación de microondas y radiofrecuencia sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, sobre huevos y larvas de *Anastrepha obliqua* y sobre las propiedades físicas de mango (*Mangifera indica L.*). Tesis doctoral en Ciencias de los Alimentos. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz, México. pp 59-68.
- Spalding**, D.H., and Von Windeguth, D.L. **1988**. Quality and decay of irradiated mangoes. *HortScience*. Vol. 23:187-189.
- Tan**, S.C. and Lam, P.F. **1985**. Effect of gamma irradiation on PAL activity and phenolic compounds in papaya (*Carica papaya L.*) and mango (*Mangifera indica L.*). *ASEAN Food Journal*. Vol.1(3): 134-136.
- Tan**, S.C., Teo, S.W., and Adam, A.G. **1982**. Factors affecting fungal resistance in papaya fruits. *Sains Malasysian*. Vol. 11:21-31.
- Tang**, J., E. Mitcham, S. Wang y S. Lurie. **2007**. Heat treatments for postharvest pest control. CAB international, UK.
- Thomas**, P. **1986**. Radiation preservation of foods plant origin. III. Tropical fruits: Bananas, mangoes, and papayas. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 23(2):147-204.
- USDA**. **2002**. Importation of Fresh *Mangifera indica* (mango) Fruit from India into the Continental United States. Risk Management. 1-12.
- Vásquez**, C.; L. Salinas y S. Lakshminarayana. **1985**. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *Journal Food Science*. Vol. 50:1646-1648.
- Wong**, P.Y.Y. and D.D. Kitts. **2001**. An iron binding assay to measure activity of known food sequestering agents: Studies with buttermilk solid. *Food Chemistry*. Vol. 72:245-254.
- Yahia**, E.M: y I. Higuera. **1992**. Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas. Limusa/Noriega Editores. México, D.F.

- Yahia, E. 1995.** Uso de atmósferas modificadas y controladas como medio de conservación de la calidad de frutas y hortalizas. Bogotá, Colombia.
- Yahia, E.M., L.A. Carrillo Y D.N. Rivera. 1997.** Manejo postcosecha del mango. Editorial Universidad de Colima. Colima, México.
- Yahia, E.M., J. Ornelas y R. Ariza. 2006.** El mango. 1era ed., Editorial Trillas, México D.F., 968.
- Youseff, B.M., Asker, A.A., El-Samahy, S.K. and Swailam, H.M. 2002.** Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. Food Research International. Vol. 35:1-13.
- Yu, L., Reitmeier, C.A., Gleason, M.L., Nonnecke, G.R., Olson, D.G., and Gladon, R.J. 1995.** Quality of electron beam irradiated strawberries. Journal of Food Science. Vol. 60(5):1084-1087.
- Yu, L., Reitmeier, C. A., and Love, M.H. 1996.** Strawberry texture and pectin contents as affected by electron beam irradiation. Journal of Food Science. Vol.61:844-846.
- Zarazúa, A. y Ponce, P. 2005.** Situación y Perspectivas del Mango en México. www.chapingo.mx/agroind/congreso/ponencia/ponencias/Mesa%201/Cartel/Situaci%F3n%20y%20perspectivas%20del%20mango....pdf.