



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

DESARROLLO DEL PROTOCOLO PARA APLICAR
TRATAMIENTOS POR IRRADIACION GAMMA EN
MANGO 'ATAULFO' PARA EXPORTACIÓN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTAN:
MIRIAM BEATRIZ RODRIGUEZ RAMIREZ
ROSA MARTHA ROMO ESCARTIN

ASESORA: Dra. Ma. ANDREA TREJO MARQUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria y Agradecimientos

Dedico este trabajo, resultado de años de esfuerzo, especialmente a mis papás que me han dado todo su apoyo y que siempre se preocuparon porque tuviera una educación de calidad que me permitiera salir adelante en la vida y obtener satisfacción personal. Agradezco sus palabras de ánimo en todo momento.

Aprovecho para agradecer a Mom por madrugar todos los días para llevarme a periférico para que pudiera llegar puntual a la Universidad y a Pa por ayudarme a resolver las dudas de (casi) cualquier tema. Por esto y mucho más, comparto gustosamente este éxito con ustedes.

Dedico este trabajo a mis muy queridas hermanas Rocío y Sandra quienes, aunque no lean más que los agradecimientos, aportaron presión y ánimo para que terminara este proyecto. Las quiero mucho. Cuenten conmigo siempre.

Agradezco mucho a Roberto, quien antes que mi novio (y después) es mi amigo, por sus valiosas contribuciones en este trabajo y por apoyarme en todo momento. Aprecio y disfruto mucho tu ayuda y tu compañía. Eres muy especial para mí. Te quiero mucho.

A mis Amigos: Tere, Jaz, Martha, Cyn, Luz, Monch, Dan, James, Ismael, Diego e Irving; por hacer que la Universidad fuera una etapa muy divertida de mi vida y, afortunadamente, seguir siendo constantes e importantes para mí a pesar de las limitaciones de tiempo.

A la UNAM y a todos los que hacen que formar parte de ella sea motivo de orgullo.

A la Dra. Andrea Trejo por su asesoría y apoyo en este proyecto.

Y finalmente a Dios por rodearme de estas lindas personas y darme la oportunidad de estudiar para obtener una formación profesional.

Miriam Rodríguez

Primero que nada agradezco a Dios por la oportunidad que me ha dado de terminar esta etapa, de haber vivido y aprendido, sobre todo a nivel personal.

A mis padres, les debo todo...siempre han sido un gran apoyo para mí y mis hermanos. Gracias por su paciencia, consejos, ejemplo, tiempo y comprensión. Los quiero mucho y espero poder darles más satisfacciones como ésta.

A mis hermanos...no se que haría sin cada uno de ustedes, agradezco tener tantas personalidades en casa porque he aprendido y reído mucho. Nunca dejen de tener sueños y échenle muchas ganas, saben que siempre tendrán mi apoyo.

A mis amigos...Geraldine, Claudia, Miriam (mi fiel amiga y compañera de este proyecto), Cynthia, Montse, James, Ismael, Robert, Jacinta a todos les agradezco su apoyo, sus palabras, sus enseñanzas (que fueron varias), sus ánimos cuando las cosas no pintaban bien y sobre todo por su amistad. Espero que sepan que siempre tendrán una amiga que los quiere y con la que pueden confiar.

A mi siempre compañía y apoyo...Diego muchas gracias por siempre estar conmigo. Sabes lo importante que eres para mí...¡te quiero mucho!

A la Dra. Andrea Trejo y a todas las personas que nos brindaron su apoyo y su experiencia para realizar este proyecto.

A mis maestros... por darme tantas enseñanzas y tiempo, espero algún día poder retroalimentar de alguna forma lo que la Universidad Nacional Autónoma de México me dejó.

Esta tesis se la dedico a todas estas personas que tuve y tengo a mi lado; agradezco a Dios por ponerlas en mi vida.

Martha Romo Escartín



ÍNDICE

Resumen	9
Introducción	10
I. Antecedentes	13
1. Generalidades del mango	13
1.1 Importancia del mango	13
1.2 Producción Nacional del Mango	14
1.3 Clasificación Taxonómica	14
1.4 Variedades del mango	15
1.5 Composición química y valor nutricional	17
1.6 Fisiología postcosecha	17
1.6.1 Desórdenes fisiológicos	20
1.7 Enfermedades y plagas	21
1.8 Mosca de la fruta	24
1.8.1 Morfología y Ciclo de vida de la mosca de la fruta (<i>Anastrepha ludens</i>)	24
1.8.2 Métodos de control y erradicación de acuerdo a normas	27
2. Irradiación	31
2.1 Conceptos de irradiación	31
2.1.1 Fuentes de irradiación gamma	34
2.2 Irradiación en alimentos	35
2.2.1. Unidades de radiación y dosis absorbida	35
2.2.2. Aplicaciones	35
2.2.3. Efecto de la irradiación en alimentos	37
2.2.4. Efecto de la Irradiación gamma en mangos	40
2.2.5. Ventajas y desventajas de la irradiación en alimentos	41
2.2.6 Métodos de detección de Alimentos Irradiados	42
2.2.7 Normas Nacionales e Internacionales	43
II. Objetivos	47
III. Metodología Experimental	48
1.1 Material Biológico	49
1.2 Tratamiento de las muestras	49



1.3 Irradiación de muestras	47
1.4 Selección de las condiciones del tratamiento de irradiación.	50
1.5 Evaluación del efecto del tratamiento en parámetros de calidad, fisiológicos y bioquímicos	51
1.6 Evaluación del efecto del tratamiento en parámetros sensoriales.	53
1.7 Técnicas analíticas	54
IV. Resultados y discusión	60
1. Caracterización química y fisicoquímica del mango ‘Ataulfo’	60
2. Selección de condiciones para el tratamiento por irradiación gamma.	61
3. Efecto de la irradiación gamma en parámetros de calidad, bioquímicos, nutricionales y fisiológicos del mango ‘Ataulfo’.	72
4. Efecto de la irradiación gamma en parámetros sensoriales del mango ‘Ataulfo’	98
V. Conclusiones	105
VI. Recomendaciones	107
VII. Referencias	108
VIII. Abreviaturas	113



ÍNDICE DE TABLAS

1. Clasificación taxonómica del mango.	15
2. Variedades del mango.	16
3. Composición química del mango.	17
4. Contenido de vitaminas y minerales en mango.	17
5. Enfermedades del mango.	21
6. Principales plagas del mango.	23
7. Muestreo de mangos.	29
8. Condiciones de tratamiento hidrotérmico.	30
9. Ventajas y desventajas de la irradiación.	41
10. Comparación de varios tratamientos cuarentenarios.	42
11. Diseño experimental para establecer condiciones del tratamiento	50
12. Diseño experimental de irradiación de mango 'Ataulfo' almacenado a 20 y 13°C	52
13. Relación de la escala hedónica con atributos.	54
14. Composición química del mango 'Ataulfo'.	60
15. Características fisicoquímicas del mango 'Ataulfo'.	60
16. Características físicas del mango 'Ataulfo'.	61
17. Tabla comparativa de mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes durante 4 estadíos de maduración.	63
18. Características físicas del mango 'Ataulfo' almacenado a 20 y 13°C.	72
19. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' durante el día posterior al tratamiento.	74
20. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C y 13°C durante el día 4 y 7 respectivamente.	75
21. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C y 13°C durante el día 7 y 14 respectivamente.	76
22. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C y 13°C durante el día 12 y 21 respectivamente.	77
23. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 20°C.	99
24. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en	101



mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 13°C.	
25. Prueba de preferencia de muestras irradiadas de mango 'Ataulfo' y almacenadas a 20 y 13°C.	101



ÍNDICE DE FIGURAS

1. Morfología del mango	13
2. Morfología de la mosca <i>A. Ludens</i> .	25
3. Ciclo de vida de la mosca de la fruta.	26
4. Situación de la mosca de la fruta (2008).	27
5. Trampa McPhail.	28
6. Espectro electromagnético.	32
7. La radiación en un campo magnético.	32
8. Poder de penetración de los rayos.	33
9. Irradiador industrial.	35
10. a) Ácido ascórbico y b) ácido dehidroascórbico	40
11. Uso de la irradiación en el mundo.	44
12. Símbolo Radura.	46
13. Mangos empacados en cajas de cartón.	49
14. Mapeo. a) Dosímetros de alanina b) Análisis de dosímetros.	50
15. Mangos almacenados en: a) incubadora a 20°C y en b) cámara de refrigeración a 13°C.	51
16. Mangos irradiados a 3 diferentes dosis.	52
17. Muestras de mango para análisis sensorial.	53
18. Escala de preferencia.	54
19. Analizador con gas infrarrojo.	56
20. Refractómetro marca Atago.	57
21. Potenciómetro manual marca Hanna.	57
22. Determinación de acidez por método volumétrico.	57
23. Penetrómetro manual marca Tester.	58
24. Determinación de vitamina C por método volumétrico.	58
25. Espectrofotómetro marca TERMO SPECTRONIC.	59
26. Mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes: baja (150 Gy), media (575 Gy) y alta (1000 Gy) después de 12 días de almacenamiento a 20°C.	64
27. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la (a) luminosidad, (b) tono y (c) cromaticidad de la piel del mango 'Ataulfo' durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2),	65



máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).	
28. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en los sólidos solubles de mango 'Ataulfo' durante la maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).	66
29. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la firmeza del mango 'Ataulfo' durante 4 estadíos de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4)	67
30. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en el pH de mango 'Ataulfo' durante 4 estadíos de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4)	68
31. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la acidez del mango 'Ataulfo' durante 4 estadíos de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4)	69
32. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la vitamina C del 'Ataulfo' durante 4 estadíos de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).	70
33. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la respiración del mango 'Ataulfo'	71
34. Efecto de la irradiación gamma en la luminosidad de la piel de mango 'Ataulfo' almacenado a (A) 20°C y a (B) 13°C.	79
35. Efecto de la irradiación gamma el tono de la piel del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	80
36. Efecto de la irradiación gamma en la cromaticidad de la piel del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	81
37. Efecto de la irradiación gamma en los sólidos solubles del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	83
38. Efecto de la irradiación gamma en la firmeza del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	84
39. Efecto de la irradiación gamma en el pH del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	85
40. Efecto de la irradiación gamma en la acidez del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	87



41. Efecto de la irradiación gamma en la pérdida de peso del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	88
42. Efecto de la irradiación gamma en la vitamina C del mango 'Ataulfo' a (A) 20°C y a (B) 13°C.	90
43. Efecto de la irradiación gamma en la respiración del mango 'Ataulfo' almacenado a (A) 20°C y a (B) 13°C	92
44. Porcentaje de actividad residual de peroxidada en pulpa de mango irradiado y almacenado a (A) 20°C y (B) 13°C.	94
45. Porcentaje de actividad residual de peroxidasa en piel de mango irradiado y almacenado a (A) 20°C y (B) 13°C.	95
46. Porcentaje de actividad residual de polifenoloxidasas en pulpa de mango irradiado y almacenado a (A) 20°C y (B) 13°C.	96
47. Porcentaje de actividad residual de polifenoloxidasas en piel de mango irradiado y almacenado a (A) 20°C y (B) 13°C.	98
48. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 20°C.	100
49. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 13°C.	101



RESUMEN

El objetivo general de este proyecto fue desarrollar el protocolo para la aplicación de tratamientos por irradiación gamma en mangos variedad 'Ataulfo' que cumpla los requisitos fitosanitarios para exportación al mercado Norteamericano. Las condiciones se establecieron en una experimentación preliminar.

Se trabajó con mangos 'Ataulfo' procedentes de Guerrero en estadio preclimático y se evaluaron diferentes dosis de irradiación gamma (150, 575 y 1000 Gy). Los parámetros fisiológicos (respiración), de calidad (sólidos solubles, pH, acidez, firmeza y color), nutrimentales (Vitamina C), bioquímicos (actividad de enzima peroxidasa y polifenoloxidasas) y sensoriales (prueba de atributos y preferencia) fueron evaluados para optimizar los tratamientos de irradiación. Los frutos fueron almacenados a 20°C y 13°C para simular las condiciones de transporte y almacenamiento.

Los tratamientos de irradiación afectaron la respiración de los frutos inmediatamente después del tratamiento, presentándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los frutos irradiados (valores de entre 259.12 a 332.0 mg CO₂ / Kg_{PF} h) y el control (91.21 mg CO₂ / Kg_{PF} h) almacenados a 20°C, sin embargo cuando el almacenamiento fue a 13°C se observó un estrés menor en la respiración de los mangos. En parámetros de calidad y vitamina C en general fueron cambios poco significativos con respecto al control.

La actividad enzimática aumentó a medida que se incrementaba la dosis de irradiación durante los días posteriores al tratamiento, hubo un efecto mayor en los mangos almacenados a 13°C. Existe una correlación entre el tratamiento y el pardeamiento enzimático observado en pulpa. Después de finalizar la experimentación se observó que al dejar los mangos tratados a 1000 Gy unos días más, éstos finalizaron su vida útil conservando un color verde-amarillo, es decir, no desarrollaron el proceso normal de maduración.

Se concluye que dosis de 150 Gy, no afectaron las cualidades nutrimentales, sensoriales y de calidad de mango 'Ataulfo', por lo que es posible aplicar la irradiación gamma como tratamiento cuarentenario para eliminar la mosca de la fruta bajo estas condiciones



INTRODUCCIÓN

El mango tiene demanda en el mercado local e internacional por su excelente sabor y presentación. Se consume como fruta fresca o procesada. El consumo de mango en fresco se encuentra en auge, debido a la tendencia de consumir productos saludables y libres de pesticidas. El mango es rico en vitaminas A y C, minerales, fibras y antioxidantes; siendo bajo en calorías, grasas y sodio (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2006).

En México se pueden encontrar las siguientes variedades: ‘Manila’, ‘Haden’, ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Kent’, ‘Criollo’, ‘Keitt’, ‘Manililla’ y ‘Paraíso’ (Petacon). Entre los principales Estados productores de mango, se encuentran: Veracruz, Guerrero, Michoacán Colima, Nayarit Jalisco, Sinaloa y Oaxaca. La producción nacional del mango ocupa el tercer lugar en superficie cosechada, detrás de la naranja y el plátano (Figueroa *et al.*, 2002).

La producción del mango se enfrenta a diversos problemas referentes a calidad, manejo postcosecha y presencia de enfermedades y plagas. Las principales pérdidas postcosecha se deben a daños por frío, enfermedades y presencia de la mosca de la fruta. Esta plaga es una de las más importantes para los productores de mango que se dedican a la exportación, ya que se encuentra bajo estrictas cuarentenas fitosanitarias a nivel internacional (Ortiz, 2004).

El gobierno federal implementó el Programa Nacional Contra Moscas de la Fruta, con el objetivo de controlar, suprimir y erradicar a cuatro especies de moscas de la fruta consideradas de importancia económica (SENASICA/DGSV/SAGARPA, 2008). Para exportar a Estados Unidos y otros mercados, los mangos se someten a un tratamiento hidrotérmico como control de la larva de la mosca de la fruta, dicho requisito es indispensable (USDA/APHIS-SAGARPA/DGSV, 2008). Otros tratamientos postcosecha que se admiten son el tratamiento por vapor caliente y recientemente la irradiación. La irradiación se lleva a cabo mediante el empleo de rayos gamma provenientes del isótopo Cobalto-60, el cual es producido al bombardear neutrones al metal cobalto-59. Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de longitud de onda muy corta, tienen gran poder de penetración, por lo que el producto puede ser irradiado empacado y/o congelado (ICGFI ,1999). Su efectividad se debe a que actúa directamente en la cadena de ADN de los seres vivos (Olvera, 2008). La irradiación de alimentos es una técnica viable y aprobada por organismos internacionales como la FAO, lo



que permite, además de controlar infecciones e infestaciones, retrasar ciertos aspectos del crecimiento como la maduración y el rebrote de productos vegetales (Wills *et al.*, 1998).

En Latinoamérica pocos países cuentan con normatividad en la materia, por lo que hay propuestas de elaborar un plan de trabajo como guía de seguimiento, para presentarse a organizaciones internacionales en un lapso de 3 a 5 años (Alcérreca, 2007b). En abril de 2006 México y EUA, firmaron un acuerdo para usar la irradiación como tratamiento postcosecha en frutas y vegetales para exportación (Food and Water Watch, 2006). A partir de Abril de 2009 se utiliza la irradiación gamma en mangos ‘Manila’ para exportación a Estados Unidos, se tiene previsto exportar mango: ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’, ‘Keitt’, ‘Kent’ y ‘Haden’ irradiado (Bentley, 2009).

Se han realizado estudios que sugieren que las dosis de irradiación gamma utilizadas en la desinfestación de frutas subtropicales y tropicales no afectan las cualidades nutrimentales y sensoriales de los frutos. Las dosis toleradas son de 1 kGy, y la mínima requerida es de 0.15 kGy (Bustos y Rocabado, 1991). Los huevos de los insectos constituyen la fase de su ciclo vital más sensible a la irradiación, seguida de las de larvas, pupas y adulto. La mayor parte de los insectos se esterilizan a dosis de 50-200 Gy. Algunos insectos adultos sobreviven 1 kGy, aunque su progenie sea estéril (Wills *et al.*, 1998). Investigaciones recientes corroboran esta información al encontrar que dosis de 100 Gy para especies de *Anastrepha* y de 150 Gy para *C. capitata* previenen la emergencia de moscas adultas (Bustos *et al.*, 2004). Diversos trabajos han reportado efectos que van, desde la aceleración de la maduración (duraznos), tolerancia de la irradiación (piñas), retardo de la maduración (plátanos, mangos y papayas) hasta retardo de la senescencia (cereza y papaya) y control del decaimiento en jitomates y fresas (Bustos y Rocabado, 1991).

Se ha encontrado que la irradiación demora los procesos de maduración y la senescencia de frutas y tiene ventajas como el alargamiento de la vida útil y el control de enfermedades. Dependiendo del estado fisiológico del tejido en el momento de la irradiación y las dosis, algunas frutas no toleran el tratamiento, y surge una situación de estrés que puede manifestarse en forma de picaduras en la cáscara de los cítricos de las frutas o el oscurecimiento de la piel y tejidos del plátano, mango y aguacate (Frylinck *et al.*, 1987).



En la actualidad existen 63 países que han aprobado el uso de la irradiación y el consumo de alimentos irradiados se calcula en 50 000 toneladas al año (Alcérreca, 2007a). Se plantea como objetivo general del presente proyecto desarrollar un protocolo para la aplicación de tratamientos por irradiación gamma en mangos variedad ‘Ataulfo’ que cumpla los requisitos fitosanitarios para exportación al mercado



I. ANTECEDENTES

1. Generalidades del mango.

1.1. Importancia del mango.

El mango es una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Posee un mesocarpio (pulpa) comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo. Su peso varía desde 150 g hasta 2 kg. Su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos, de 4-25 cm de largo y 1.5-10 cm de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara (epicarpio) es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, jugosa y sabrosa (Fig. 1) (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2006).

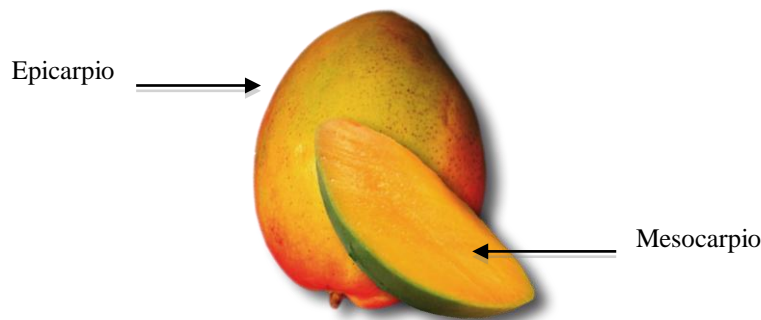


Figura 1. Morfología del mango

El mango es una de las frutas más antiguas que consume el hombre. Originario del sudeste del continente asiático donde se cultiva desde hace más de 4,000 años, principalmente en algunas regiones de la India y Birmania. A México llegó en el siglo XVII a la región del Golfo de México (Estado de Veracruz) procedente de la isla de Barbados. Actualmente la India tiene más plantaciones comerciales que el total del resto del mundo.

La importancia económica real del mango estriba en el consumo local que se realiza en las tierras bajas de los trópicos, ya que se trata de una de las plantas más fructíferas de los países tropicales. Esta especie se cultiva en todos los países de Latinoamérica, siendo México



el principal país exportador del mundo (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, 2006).

1.2. Producción Nacional de Mango

En Chiapas 4,000 productores cultivan 17,523 hectáreas de mango, que producen 116,500 toneladas que ubica a la entidad como el 7º productor a nivel nacional, y único productor de la variedad ‘Ataulfo’, de la cual se encuentran establecidas poco mas de 11,000 hectáreas y producen 50,000 toneladas en beneficio de 2,800 productores, dicha variedad se exporta a Estados Unidos, Canadá, España, Suiza y Francia en un volumen de 20,000 toneladas (SAGARPA, 2007).

El cultivo del mango se ha extendido a todo el territorio nacional, cerca de 24 entidades han destinado importantes superficies para la producción de esta fruta, sin embargo los principales productores son: Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Nayarit y Sinaloa quienes concentran más del 70% de las áreas sembradas, cosechadas y en producción.

La producción nacional de mango es aproximadamente de 1.7 millones de toneladas anuales de las cuales se exportan 202 mil toneladas a EU lo que representa el 11.6% de la producción total, según cifras de SAGARPA. México tiene registradas 11 variedades de mango, pero solo dos de ellas pueden ser exportadas a EU: ‘Ataulfo’ y ‘Tommy Atkins’ (Lombrana, 2008). Las exportaciones se dirigen principalmente a EU (84%), Canadá (5.5%) y el resto a Europa, Japón y Australia. En 2007, su precio medio rural era de \$3,780.22/ton (SAGARPA, 2007).

1.3. Clasificación Taxonomía.

El mango es la especie de mayor importancia de la familia de las *Anacardiáceas*. El género *Mangifera* comprende 69 especies. La clasificación taxonómica se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del mango.

Clase	<i>Dicotiledoneas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anarcadiineae</i>
Familia	<i>Anarcadiaceae</i>
Genero	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>indica</i>

Fuente: Galán-Saúco (1999)

1.4. Variedades del mango.

- Variedades del grupo indostano.

Son aquellos frutos de forma ovalada, cáscara correosa, de color verde con chapeo, pulpa de color amarillo, ligeramente fibrosa, aromática y de sabor agradable. Variedades: ‘Haden’, ‘Keitt’, ‘Kent’, ‘Tommy Atkins’, ‘Irwin’, ‘Zill’, ‘Sensation’, ‘Oro’, ‘Vandycke’, ‘Vishis’ (Manzanillo) y otras del mismo fenotipo (SCFI, 2006).

- Variedades del grupo mulgova.








Son aquellos frutos de forma alargada o redondos, con cáscara suave, de color amarillo; pulpa amarilla, ligeramente fibrosa; aromáticos y de sabor agradable. Dichas variedades son: ‘Manila’, ‘Ataulfo’, ‘Diplomático’, ‘Panameño’, ‘Criollo’ y otras del mismo fenotipo.

Mango niño. Estas últimas son aquellos frutos de las variedades del grupo mulgova de flores no polinizadas; por esta razón son pequeños. No presentan semilla, solo endocarpio (SCFI, 2006).

Las variedades más importantes, que se cultivan y aprovechan comercialmente en nuestro país se muestran en la tabla 2.



Tabla 2. Variedades del mango

Variedad	Imagen	Características
'Tommy Atkins' ^a		Fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, forma redonda y tamaño mediano (350 a 450 g). Pulpa jugosa con poco contenido de fibra. Si no se corta en su madurez óptima presenta problemas en el manejo postcosecha.
'Haden' ^{a, b}		Fruto de base color amarillo en chapeo rojo, que lo hace muy atractivo tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Los frutos registran un peso de 300 a 400 g. Su pulpa es jugosa con poca fibra y de buen sabor.
'Kent' ^{a, b}		Los frutos pesan de 500 a 700 g. La base es de color verde amarillento con chapeo rojo. Es muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias.
'Keitt' ^{a, b}	 <small>KEITT MANGO</small>	Fruto grande, con un peso que varía de 600 a 800 g. La base del fruto es de color verde con chapeo rosa-rojizo. Tiene una pulpa muy dulce con escaso contenido de fibra.
'Ataulfo' ^{a, b}		Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad. Es de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio que varía de 200 a 370 g. El color de la pulpa es amarillo y no tiene fibras.
'Manila' ^a		Frutos de tamaño medio (200 a 275 g), de forma elíptica y color amarillo, con cáscara delgada, pulpa amarilla, firme, muy dulce y sabrosa, cuenta con un bajo contenido de fibra. Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional tanto para consumo en fresco como industrial.
'Diplomático' ^{a, b}		Sus frutos pesan entre 280 y 320 g, son de color amarillo y una base con chapeo rojo. La pulpa es dulce con algo de fibra y resistente al manejo. Tiene demanda para el mercado nacional.

Fuente: ^a Cadena Agroalimentaria del Mango (2003), ^b Yahia *et al.* (2006).



1.5. Composición química y Valor Nutricional.

El mango contiene aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos, minerales, ácidos orgánicos, proteínas y vitaminas. La acidez se debe principalmente a la presencia de ácido cítrico y málico, sin embargo también se presentan ácidos oxálico, malónico, succínico, pirúvico, galacturónico, glucurónico tartárico, entre otros (Litz, 2000). En la tabla 3 y 4 se muestra la composición química y valor nutritivo del mango.

Tabla 3. Composición química del mango

Componente	g/100 g de muestra
Agua	81.8
Carbohidratos	16.4
Proteínas	0.5
Grasas	0.0
Fibra	0.7

Fuente: Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2006)

Tabla 4. Contenido de vitaminas y minerales en mango.

Contenido	(mg)
Ácido ascórbico	80
Fósforo	14
Calcio	10
Hierro	0.4
Niacina	0.04
Tiamina	0.04
Riboflavina	0.07

Fuente: Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2006)

1.6 Fisiología postcosecha.

Los mangos deberán haberse recolectado cuidadosamente y haber alcanzado un grado apropiado de desarrollo y madurez fisiológica, de acuerdo con los criterios peculiares de la variedad y la zona en que se producen.



La madurez de consumo es el estado fisiológico en el cual la fruta presenta las características físicas, químicas y sensoriales apropiadas para ser consumida.

La madurez fisiológica se refiere a la parte del período de maduración de las frutas en el cual son susceptibles, en condiciones apropiadas, de seguir transformándose (cambios bioquímicos) y alcanzar la madurez de consumo. En este período las frutas pueden ser cosechadas, pero si el corte se efectúa antes, la maduración se vuelve irregular (Yahia *et al.*, 2006).

El grado de madurez fisiológica se reconoce por la forma, sabor, olor y firmeza de la pulpa característicos de la variedad, y se refleja mediante el contenido mínimo de la acidez titulable (%), contenido de sólidos solubles totales (°Brix), firmeza (kg/cm^2) y color de la pulpa, entre otros.; durante su comercialización (SCFI, 2006).

El mango es una fruta climatérica que a cierta etapa avanzada de la maduración muestra un ascenso en la producción de CO_2 y etileno. La actividad respiratoria depende de la variedad del mango, condición climatológica y localidad. La producción de etileno, hormona de la maduración, es considerada baja en comparación con otras frutas, la producción de CO_2 se considera intermedia (Yahia *et al.*, 2006).

- *Cambios en sabor.*

La fruta es inicialmente ácida, astringente y rica en ácido ascórbico (vitamina C). Los mangos maduros contienen niveles moderados de vitamina C, pero son ricos en provitamina A y vitaminas B_1 y B_2 . No presenta cantidad significativa de vitamina D. Durante la maduración la acidez decrece 0.1-0.2%. Los azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa generalmente aumentan durante la maduración. El contenido de sacarosa incrementa tres a cuatro veces por la hidrólisis del almidón (Litz, 2000).

- *Cambios en color.*

La cáscara del mango maduro muestra una gran variedad de colores que van desde el verde al verde-amarillo, rojo, violeta y amarillo. El color externo del fruto es un factor importante en la selección del consumidor. Los principales pigmentos en la fruta son la



clorofila, carotenos, xantofilas y antocianinas, las cuales son sintetizadas vía terpenoides o fenilpropanoides.

La síntesis de carotenoides en mango involucra ácido mevalónico y geraniol como precursores. La composición de carotenoides cambia durante el proceso de maduración siendo el β -caroteno más abundante en las frutas inmaduras y el fitoflueno en frutas maduras. Los tratamientos a altas temperaturas (50-55°C) provocan una mejora en la intensidad de color de la piel y aumento de carotenoides totales. Sin embargo, los tratamientos prolongados a altas temperaturas provocan desarrollo de color pálido (Litz, 2000).

- *Polifenoles.*

Los polifenoles son derivados de fenilpropanoides e incluyen una gran variedad de componentes. El contenido total de polifenoles (taninos) cambia durante la maduración del mango dependiendo del cultivar. Cuando se usa catecol como substrato, la actividad de polifenoloxidasa (PPO) incrementa durante el proceso de maduración, sin embargo cuando se usa pirogalol, la actividad disminuye. Los niveles de ácido ascórbico, inhibidor de la actividad de PPO, decrecen durante la maduración. Se han reportado dos tipos de enzimas polifenoloxidasa en mango verde: catecol oxidasa (predominante en piel) y laccasa. Se ha encontrado que el pardeamiento de la piel del mango se debe a la actividad de la PPO (Litz, 2000).

- *Cambios en aroma.*

Los compuestos aromáticos se producen normalmente durante la maduración. Se originan de varias rutas metabólicas. La calidad del aroma y sabor se determinaban empíricamente. Los resultados se reportan utilizando términos descriptivos derivados de evaluaciones organolépticas. Las diferentes variedades de mango se distinguen en base al sabor y aroma (Litz, 2000).

- *Cambios en textura.*

La maduración se caracteriza por el ablandamiento del fruto. Éste se puede deber, entre otros factores, a la acción de hidrolasas de la pared celular, cuya actividad cambia durante la maduración y altera las propiedades de varios constituyentes de la pared celular



como la pectina. Se ha observado que la pared celular de la fruta contiene más pectina y menos hemicelulosa que la pared celular de otras plantas. El ablandamiento del mango acompaña la solubilización de la pectina y el desbaratamiento de la pared celular. La enzima responsable de la solubilización de la pectina es la poligacturonasa (PG), la cual presenta un claro incremento durante la maduración en varios cultivares que se han examinado. La actividad de poligacturonasa es mayor en el mesocarpio interno que en el externo, esto sugiere que el ablandamiento evoluciona de adentro hacia fuera (Litz, 2000).

Los niveles de celulasa en fruta inmadura son generalmente bajos e incrementan dramáticamente durante la maduración. La pectinesterasa, un grupo de enzimas que catalizan la desesterificación de los metilésteres del galactosiluronato de la pectina, a sus tres grupos carboxilo libres, es un factor importante durante la maduración. Los reportes de actividad de pectinesterasa frecuentemente son contradictorios. En la maduración del mango se ha encontrado disminución de la actividad enzimática (Litz, 2000).

1.6.1 Desórdenes fisiológicos.

Los trastornos Fisiológicos son anormalidades que ocurren en la fruta debido a un desequilibrio metabólico. Ocurren principalmente debido a deficiencias nutricionales y efectos ambientales como la temperatura (Yahia *et al.*, 2006).

- **Daños por frío.** Ocurre a bajas temperaturas, menores de 10-13°C, dependiendo de la variedad, estado de madurez y periodo de exposición. Ocasiona presencia de zonas hundidas grisáceas en la cáscara, maduración anormal y heterogénea, poco desarrollo de color y de características organolépticas. Provoca mayor sensibilidad al ataque de patógenos. Existen teorías que indican que el frío influye en la estructura del funcionamiento de las membranas celulares.
- **Ablandamiento del pico** (soft nose). Se manifiesta por el ablandamiento de la pulpa en la parte central que avanza hacia el pico del fruto. Se relaciona con bajo contenido de calcio en la pulpa, exceso de fertilización con nitrógeno y pH ácido del suelo.
- **Agrietamiento del fruto.** Consiste en el rompimiento y la apertura del fruto al aplicar un riego pesado después de una temporada prolongada de sequía.
- **Aborto de embrión.** Sucede cuando se poliniza pero no se concreta la fertilización.





- **Daños por calor.** Los síntomas de este daño incluyen el escaldado, la inhibición del desarrollo adecuado del color y el sabor del fruto. La temperatura que causa el daño varía según la variedad, estado de madurez, medio de calentamiento y duración del tratamiento.

1.7 Enfermedades y plagas.






- **Enfermedades.**

En la tabla 5 se muestran las principales enfermedades del mango y sus características.

Tabla 5. Enfermedades del mango

Enfermedad	Agente	Características
Antracnosis 	Hongo <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz)	Enfermedad más importante en el mango. En México se encuentra distribuida en todos los estados productores de mango. Las pérdidas son del 3% de la producción; en condiciones óptimas, los daños pueden llegar hasta el 60%. Se manifiesta como manchas pardo oscuras o negras que crecen y se hunden. Generalmente no se observa en frutas inmaduras, pero el patógeno puede encontrarse latente, los síntomas podrán aparecer durante el almacenamiento y la comercialización. Las frutas infectadas maduran de manera prematura. La entrada del microorganismo generalmente se da a través de las heridas, pero esto puede ocurrir por medio de la cutícula y las aberturas naturales de la superficie de la fruta. La lluvia disemina al hongo. Las diferentes variedades difieren en su sensibilidad al patógeno
Podredumbre del pedúnculo 	<i>Diplodia natalensis</i> (Pole Evans)	Se caracteriza por la aparición de lesiones de color violeta, las cuales cambian a un color café claro y luego a negro. En estados avanzados produce el ablandamiento de los tejidos y da a la pulpa un aspecto remojado, debido a la producción de enzimas pectinolíticas por el patógeno.



<p>Pudrición por <i>Aspergillus</i></p> 	<p>Hongo <i>Aspergillus niger</i></p>	<p>Se conoce también como pudrición del almacén o pudrición negra. Inicialmente, la pudrición se manifiesta por la aparición de un color amarillo en el área afectada, después adquiere un aspecto remojado color café ligero. En estado avanzado se presentan zonas hundidas en el tejido del mesocarpio. Se controla sumergiendo la fruta en agua caliente a 55°C durante 5 -10 min.</p>
<p>Pudrición por <i>Alternaria</i></p> 	<p><i>Alternaria alternata</i></p>	<p>Los síntomas incluyen puntos negros y lenticelas oscuras. La enfermedad es problemática sólo durante el almacenamiento.</p>
<p>Pudrición bacteriana</p> 	<p><i>Pseudomonas</i></p>	<p>Las frutas muestran fisuras profundas y longitudinales en la piel por donde exuda una goma. El uso de empaques de polietileno puede acelerar la presencia de estas enfermedades. Se utilizan antibióticos para su control.</p>
<p>Roña o escarbo</p> 		<p>En los frutos jóvenes la infección se caracteriza por la aparición de áreas café grisáceas con márgenes irregulares. Las manchas crecen con el desarrollo del fruto y el centro puede estar cubierto de grietas, las cuales hacen que el tejido adquiera el aspecto de tejido de corcho con hendiduras. Usualmente, las lesiones afectan la cáscara y no la pulpa.</p>
<p>Pudrición basal</p> 	<p><i>Botryodiploda theobramae</i></p>	<p>Se caracteriza por podredumbre extensiva y suave que comienza por el extremo peduncular y puede pudrir el fruto entero en dos o tres días.</p>

Fuente: Yahia *et al.* (2006); SEDER (2007); Litz (2000).



• **Plagas.**

Las principales plagas que atacan a los mangos se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Principales plagas del mango

Plagas	Características
<p>Moscas de la fruta</p> 	<p>Son consideradas de las plagas más importantes para los productores de mango. <i>Anastrepha spp.</i> plaga endémica, se extiende desde el sur de Estados Unidos al norte de Argentina. Se han reportado 8 especies asociadas con el mango. En orden de importancia son: <i>Anastrepha obliqua</i>, <i>A. ludens</i>, <i>A. striata</i>, <i>A. serpentina</i>, <i>A. bicolor</i>, <i>A. chichlayae</i> y <i>A. spatulata</i>. Las de mayor importancia económica por su distribución, incidencia y número de hospederas son <i>A. obliqua</i> y <i>A. ludens</i>, el resto son consideradas exóticas. Las moscas de la fruta ocasionan daños a más del 25% de la producción, son sujeto de tratamientos cuarentenarios para algunos países importadores.</p>
<p>Trips (<i>Selenothrips rubrocinctus</i>)</p> 	<p>Presentan forma de huso. Son de color amarillo claro, muy pequeños: su tamaño no excede 1 mm de longitud. Depositán sus huevos debajo de la epidermis de los tejidos tiernos. Los dos estadios ninfales son causantes de los daños. Estos consisten en succionar el jugo de las hojas, flores y frutos tiernos, reduciendo el vigor del árbol.</p>
<p>Escamas (<i>Coccus mangiferae</i>)</p> 	<p>El adulto mide de 2 a 4 mm, protegido por una cubierta dura. Vive asociado con hormigas que se alimentan de sus secreciones azucaradas. Son insectos chupadores que succionan la savia de tallos jóvenes, hojas y frutos. Favorecen el desarrollo de hongos.</p>
<p>Hormigas</p> 	<p>Tienen relación simbiótica con pulgones, escamas y mosca blanca, que le proporcionan secreciones dulces para su alimentación y las protegen de ataques de parásitos y depredadores. La hormiga arriera corta y acarrea grandes cantidades de brotes tiernos, panículas y hojas llegando a causar severas defoliaciones</p>

Fuente: Yahia *et al.* (2006); Cortez y Orduño (2008); Litz (2006); La Jornada (2009).



1.8 Mosca de la fruta.

- **Importancia económica.**

El género *Anastrepha* (Diptera: teptitidae) 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 islas del Caribe. De las 195 especies descritas a la fecha, en México, solo cuatro especies del complejo *Anastrepha* se consideran como de importancia económica, *A. ludens* se le encuentra asociada principalmente a naranja, mandarina y toronja; mientras que a *A. obliqua* es más común en mango y frutos del género *Spondia*; a *A. striata* se le considera que únicamente ataca a guayaba y *A. serpentina* ataca a una gran variedad de zapotes en los que destaca el mamey y el chicozapote (SEDER, 2007).

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 (SEDER, 2007).

1.8.1 Morfología y Ciclo de vida de la mosca de la fruta.

La mosca de la fruta es un organismo con una biología compleja y hábitos diversos que les permiten proliferar y establecerse en diferentes ambientes. Presentan una metamorfosis completa, sus estados de desarrollo son huevo, larva, pupa y adulto (SEDER, 2007):

-Huevos: Tienen forma alargada dando la apariencia de granos de arroz con los extremos agudos, la superficie brillante, lisa y de color crema.

-Larvas: la longitud de la larva varía de 3 a 15 mm, presenta forma muscidiforme, es decir ensanchada en la parte caudal y va adelgazándose gradualmente hacia la cabeza. Son de color blanco crema presentando once segmentos, tres corresponden a la región del tórax y 8 al abdomen, además de la cabeza (ver figura 2a.) La parte anterior presente una forma aguzada con antenas y papilas sensoriales y en el extremo posterior tiene forma truncada. Su aparato bucal esta constituido por dos ganchos mandibulares negros. El abdomen esta provisto de relieve segmentaría utilizado para desplazarse.



-Pupas: Son de tipo coartata en forma de barril finamente segmentado; son de color castaño oscuro y presentan tres pequeñas protuberancias en su extremo posterior que constituyen los espiráculos.

-Adultos: Son moscas de tamaño medio, color café amarillo, con la cabeza ancha que alta, ojos azules, antenas cortas sin arista desnuda y filamentos pilosos; su aparato bucal está constituido por una proboscis de longitud variable y carnoza, sus palpos maxilares son espatulados, las alas grandes, transparentes y con manchas de color café amarillento pálido en forma de S ó V (Fig. 2b). El abdomen consta de cinco segmentos y termina en un tubo ovopositor que es característico de la hembra, en cambio el macho es rombo. El tubo ovopositor es de tamaño mediano de 3.4 a 4.7 mm de longitud presenta de 9 a 10 dientes por lado de forma redondeada. La funda del ovipositor o séptimo segmento es de tamaño variable pero siempre más largo que el resto del abdomen, hasta casi dos veces más largo que este (ASOHOFRUCOL, 2003; SENASICA/DGSV/SAGARPA, 2004).

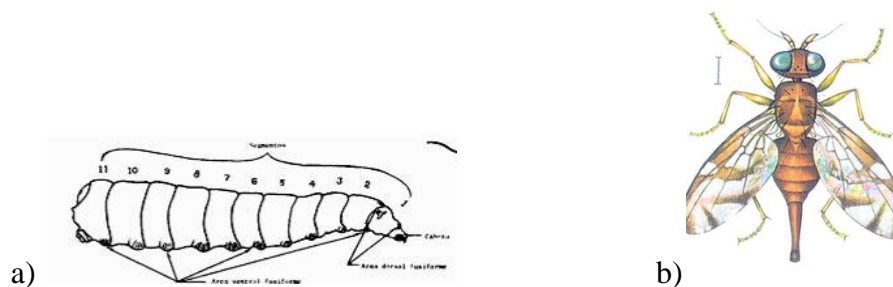


Figura 2. Morfología de la mosca *A. ludens*. a) Larva; b) Adulto hembra

Fuente: SENASICA/DGSV/SAGARPA (2004); Litz (2006).

El ciclo de vida es similar en todo el género *Anastrepha* (Fig. 3). La incubación de los huevos de la mosca de la fruta *A. ludens* en mango toma 3.8 días; el desarrollo de la larva requiere 14.2 días y el desarrollo de la pupa requiere 14.2 días a $27 \pm 2^\circ\text{C}$. La hembra deposita de 15 a 19 huevos en el epicarpio o mesocarpio de los mangos. Dependiendo de la especie, los huevos son depositados solos o en racimos (Litz, 2000). La hembra prefiere frutos que han alcanzado su completo desarrollo y están próximos a madurar. En estos casos la hembra perfora el fruto con su ovopositor y deja los huevos a una profundidad de 2 mm,



dependiendo de la calidad y cantidad de frutos en el cultivo. Después de la eclosión, las larvas construyen galerías en diferentes direcciones del mango, expulsando excrementos que contaminan y causan pudriciones (ASOHOFRUCOL, 2003). La larva pasa por tres estadios antes de emerger del fruto en forma de pupa y caer al suelo (Litz, 2000). La mayoría de las veces se entierra en el suelo, hecho que generalmente coincide con la caída de los frutos y penetra en el suelo a una profundidad de 2 a 5 cm. En ocasiones la larva se desplaza "saltando" por medio de movimientos de su cuerpo, con lo cual se impulsa hacia una distancia aproximadamente de 15 cm por salto.

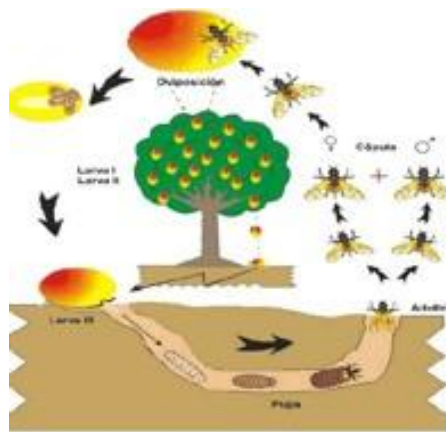


Figura 3. Ciclo de vida de la mosca de la fruta

Fuente: ASOHOFRUCOL (2003)

La duración de los estados de la mosca de la fruta pueden presentar algunas variaciones dependiendo principalmente de la fruta hospedante que sirvió de alimento a la larva y la calidad nutritiva del material que tomaron los adultos, así como el efecto de las condiciones ambientales presentes en el medio (ASOHOFRUCOL, 2003). Los principales factores abióticos de mortalidad de las moscas son la humedad y la temperatura. La humedad influye en la supervivencia de las pupas en el suelo, ya que a baja humedad las pupas se deshidratan y con humedad alta se ahogan, siendo atacadas por entomopatógenos (SEDER, 2007).

La infestación facilita la oxidación y maduración prematura, originando pudrición en los frutos afectados. En frutos verdes infestados se observan manchas amarillas en los puntos de oviposición, mientras que en los mangos maduros son de color café (Galán-Saúco, 1999).



1.8.2 Métodos de control y erradicación de acuerdo a normas.

Actualmente, las actividades inherentes al manejo integrado de las moscas de la fruta que se realizan en México, tienen sustento jurídico y técnico con base en la **NOM-023-FITO-1995**, por la que se establece la Campaña Nacional contra Moscas de la Fruta (publicada en el Diario Oficial de la Federación [DOF] el 11 de febrero de 1999). Esta regulación establece los parámetros para el reconocimiento de tres categorías fitosanitarias sobre la base de índices poblacionales de la plaga, como son: zona bajo control fitosanitario, zona de baja prevalencia y zona libre.

Los Huertos temporalmente libres son Predios en los que no se detectan adultos ni larvas de moscas de la fruta desde 45 días previos al primer corte y durante la temporada de producción.

La situación de la mosca de la fruta en 2008 se presenta en la figura 4.



Figura 4. Situación de la mosca de la fruta (2008)

Fuente: SENASICA/DGSV/SAGARPA (2008)

La tecnología de erradicación está sustentada en un sistema de Manejo Integrado de Plagas (MIP) que comprende acciones de monitoreo (trameo y muestreo de frutos) y de control (aspersión de cebo específico, actividades culturales, liberación de enemigos naturales y de moscas estériles).



- Para el trapeo se cuenta con una red para la detección de moscas que consta de 75 rutas con 2,000 trampas tipo McPhail y Pherocon AM, cebadas con proteína hidrolizada y acetato de amonio, respectivamente (Fig. 5).



Figura 5. Trampa McPhail.

- El Control legal se realiza en los accesos terrestres, puertos y aeropuertos de la Entidad, con el fin de vigilar la movilización de frutos hospederos de estas plagas.

- La Técnica del Insecto Estéril es un método de control de la plaga muy efectivo, pero principalmente de tipo ecológico y biológico. Consiste en reproducir masivamente a moscas macho para someter a las pupas a dosis de radiación ionizante (125 Gy) aproximadamente de 36 a 40 horas antes de la emergencia de adultos. Al término de este proceso las pupas estériles son trasladadas al centro de empaque de adulto frío, donde emergerán los adultos para su posterior liberación en campo (SENASICA/DGSV/SAGARPA, 2008) Su uso presenta grandes ventajas ya que sustituyen parcial ó totalmente a los insecticidas tradicionalmente utilizados para controlar estas plagas, los cuales tienen efectos negativos a la ecología, salud ambiental y humana (Montoya *et al.*, 2000)

Para fortalecer las medidas de mitigación de riesgo de zonas libres y de baja prevalencia de moscas de la fruta, el 23 de abril de 1998, se publicó la **NOM-075-FITO-1997**, por la que se establecen los requisitos y especificaciones para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta.

Dicha norma establece el muestreo de la siguiente forma (Tabla 7):

**Tabla 7.** Muestreo de mangos

En cajas comerciales:

Número de cajas	Número de cajas ⁺ a muestrear por embarque
001-100	1
101-300	2
301-800	3
>800	4

Fuente: FITO (1997)

El muestreo de frutos se podrá realizar en origen (centros de acopio y comercialización) o en destino (puntos de verificación). Cuando el muestreo se lleve a cabo en origen se debe realizar en instalaciones avaladas por la Secretaría, en este caso, los productos destinados a zonas libres y de baja prevalencia de mosca de la fruta se someterán a tratamiento.

La aplicación de tratamientos fitosanitarios se llevará a cabo en caso de que el nivel de infestación sea menor de 0.5% de frutos con larvas vivas de moscas de la fruta. Si en el muestreo se detecta un índice igual o mayor de 0.5% de frutos infestados, el embarque no debe fumigarse y su comercialización sólo se permitirá en zonas bajo control fitosanitario. En los casos en que se detecten larvas muertas se procederá a realizar un segundo muestreo

El tratamiento de fumigación para mango debe realizarse en cámaras de fumigación, con Bromuro de Metilo (100% puro), con una dosificación de 40 g/m³ durante dos horas de exposición a presión atmosférica normal y con media hora de ventilación.

Para el caso del mango también se acepta el tratamiento hidrotérmico aplicado en origen. El tratamiento hidrotérmico autorizado por la SAGARPA deberá aplicarse a una temperatura constante de 46.1 grados centígrados como se indica en la tabla 8:

**Tabla 8.** Condiciones de tratamiento hidrotérmico

Variedades	Peso	Tiempo de exposición
Redondas	700 g o menos	90 minutos
	500 g o menos	75 minutos
Alargadas	570 g o menos	75 minutos
	375 g o menos	65 minutos

Fuente: SAGARPA (1997)

El 29 de enero de 2008 se acordó el **Plan de Trabajo para el Tratamiento y Certificación de Mangos Mexicanos (2008)**, el cual forma parte del Programa de Exportación de Mango a los Estados Unidos de América que es operado bajo el acuerdo U.S. Department of Agriculture (USDA), Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) representada por la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV).

Entre otras cosas, se establece que, para ingresar a los Estados Unidos:

- Los mangos deben someterse a tratamiento con agua caliente según lo especificado en el Manual de Tratamientos de APHIS PPQ.
- Las actividades del programa se llevarán a cabo en México bajo la supervisión de oficiales de APHIS IS.
- Los mangos estarán sujetos a inspección y otras acciones relativas en los puertos de entrada a los EUA.
- La participación de Empacadores/exportadores será aprobada individualmente para participar en el programa.
- Empacadores de Mango de Exportación A.C. (EMEX) es la asociación civil con reconocimiento oficial que representa a los Empacadores/Exportadores para los fines de este Plan de Trabajo.
- Los mangos deben tener un punto de madurez (50%) determinado en base a forma, sabor, textura de pulpa y aroma característicos de cada variedad.
- Se rechazará cualquier lote que se encuentre infestado con larvas vivas de mosca de la fruta, se negará su certificación y exportación a los Estados Unidos.



- Se verificará que los huertos se hayan sometido a las medidas de control fitosanitario para mantener a niveles bajos la población de la mosca de la fruta.

Se ha propuesto el uso de la irradiación gamma como tratamiento postcosecha para eliminar a la mosca de la fruta en mangos, ya es una técnica viable y aprobada por organismos internacionales como la FAO, lo que permite, además de controlar infecciones e infestaciones, retrasar ciertos aspectos del crecimiento como la maduración y el rebrote de productos vegetales (Wills *et al.*, 1998) sin afectar sustancialmente la calidad.

2. IRRADIACIÓN

2.1 Conceptos de irradiación.

La *Enciclopedia Científica Van Nostrand* define *radiación* como (Molins, 2004):

“La emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material en forma de ondas; por ejemplo la emisión de ondas electromagnéticas, ondas sonoras, etc.”

“(…) El término radiación o energía radiante, cuando no tiene cualidades, generalmente se refiere a la radiación electromagnética; dicha radiación es comúnmente clasificada según la frecuencia, como radiofrecuencia, microonda, infrarrojo, visible (luz), ultravioleta, rayos X y rayos γ (gamma)”.

El uso más común del término *radiación*, tanto científica como popularmente, se refiere a las ondas o rayos en el espectro electromagnético. Este espectro presenta la totalidad del rango de frecuencias o longitudes de onda de la radiación electromagnética. Normalmente se representa como una regla a lo largo de la cual se reparte el intervalo de frecuencias. Muchas de las regiones del espectro son muy conocidas. Microondas, infrarrojo, ultravioleta y rayos X son fuentes de energía que utilizamos habitualmente. El espectro electromagnético se representa en la figura 6.

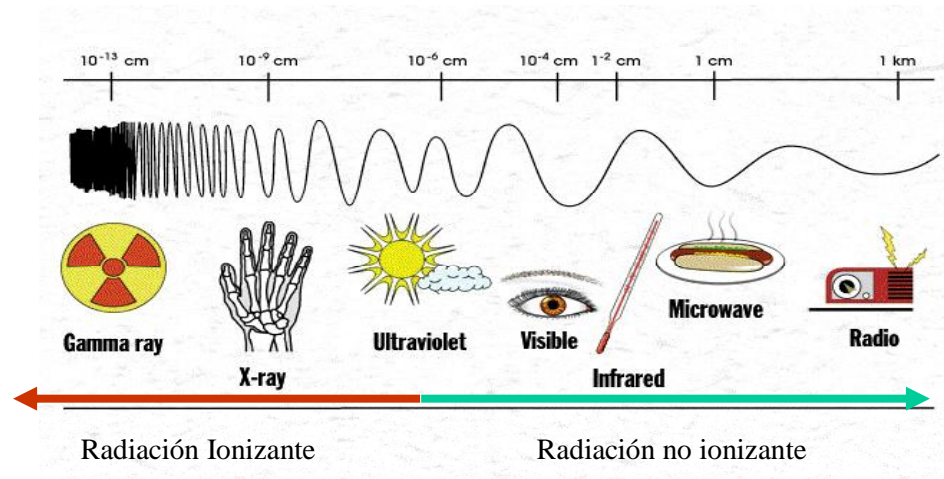


Figura 6. Espectro electromagnético.

La irradiación se refiere a la exposición o a la iluminación por rayos u ondas de todo tipo.

El *Diccionario Webster* describe la *irradiación* como sigue:

Iluminar o esparcir luz; despedir esplendor o brillantez; iluminar; penetrar por radiación; tratar de curar por radiación, como rayos X o rayos ultravioleta.

Los nombres originales de los distintos rayos están basados simplemente en su dirección de emisión en un campo magnético (Fig. 7). Los rayos alfa (α), siempre van hacia el polo norte de un imán, los rayos beta (β) hacia el polo sur y los rayos gamma (γ) van dirigidos al centro.

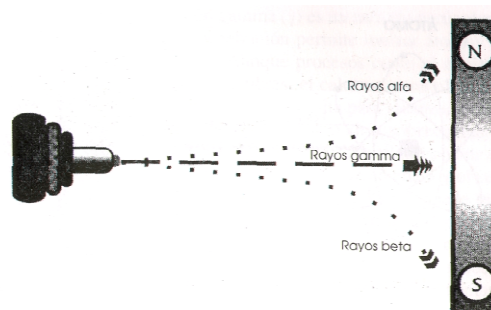


Figura 7. La radiación en un campo magnético.

Fuente: Molins (2004)

Los rayos α , β , y γ tienen diferentes niveles de energía y difieren en su capacidad para penetrar materiales. Si para comparar damos el valor de 1 al poder de penetración de los



rayos α , los rayos β tendrían un valor de 100 y los rayos γ de 10 000. Mientras los rayos α apenas penetran las capas superficiales de la piel, los rayos β (dependiendo de si proceden de la radioactividad o de aceleradores de electrones) pueden penetrar desde una fina hoja de papel hasta el grosor de un dedo de tejido vivo. Los rayos gamma, son tan energéticos que sólo pueden ser detenidos por una pesada hoja de plomo o varios pies de agua u hormigón (Molins, 2004) (Fig. 8).

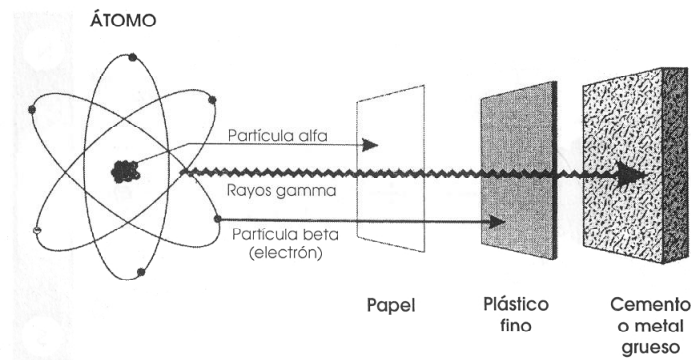


Figura 8. Poder de penetración de los rayos.

Fuente: Molins (2004)

A los rayos gamma, como a los rayos X y a los haces de electrones de alta energía, se les llama radiación *ionizante* porque son capaces de llevar electrones fuera de sus órbitas normales. Esto hace que el átomo o la molécula no sea eléctricamente neutro y busque otro electrón que lo neutralice de nuevo. Cuando los átomos o moléculas están cargados eléctricamente (un electrón puede añadirse o perderse), se llaman *iones o radicales libres* y se dice que se han *ionizado*. Los radicales libres son un estado intermedio en la mayoría de las reacciones que se dan normalmente en la naturaleza (Molins, 2004).

En este estado de radical libre, los átomos son muy reactivos y se combinan con otros radicales libres u otras sustancias. La radiación ionizante es por lo tanto, otra forma de ionizar átomos o moléculas para llevar a cabo reacciones. El calor o la luz pueden hacer lo mismo. La radiación gamma (γ) es un método particularmente efectivo de lograrlo pues su poder de penetración permite ionizar átomos o moléculas uniformemente a través del material (Molins, 2004).



La ionización y la formación de radicales libres son parte normal de todas las reacciones que se dan en la naturaleza, incluidas las transformaciones que tienen lugar durante el procesado de alimentos. Ajustando adecuadamente un proceso para realizar una transformación concreta, es posible alcanzar un efecto deseable y específico.

2.1.1 Fuentes de irradiación gamma.

Para obtener los efectos deseables en el proceso de irradiación de los alimentos, los productos se exponen a la radiación ionizante de una manera muy controlada. La fuente de radiación más utilizada es el isótopo cobalto⁶⁰ (Co⁶⁰). Es un material fabricado por el hombre a partir de la alta purificación de Co⁵⁹ no radioactivo. Luego se comprime herméticamente en pequeñas píldoras cilíndricas que son cuidadosamente encajadas en tubos de acero limpios no más largos que un lapicero. Estos tubos en forma de lapicero se colocan en un reactor nuclear donde se les bombardea constantemente con neutrones durante un año. Este proceso origina Co⁶⁰ altamente purificado en píldoras, las cuales producen una emisión controlada de rayos γ durante su transformación al estado estable de níquel⁶⁰. El Co⁶⁰ que se usa en la irradiación de alimentos es el mismo que se emplea en los tratamientos médicos y es producto de un diseño, elaboración y proceso de control de calidad muy sofisticados (Molins, 2001).

Estos rayos γ de alta energía se utilizan después con un equipo diseñado específicamente para irradiar alimentos. El diseño de un irradiador es bastante sencillo (Fig. 8). La fuente de irradiación (Co⁶⁰) se sitúa en la cámara de irradiación y se almacena en un ambiente protegido cuando no se utiliza. Cuando se necesita, la fuente se saca de su protección para tratar los productos en cuestión. El entorno protegido puede ser una piscina de agua que absorbe completamente la energía, o incluso podría ser el revestimiento protector de plomo en que la fuente se transportó originalmente. La cámara de irradiación se construye con gruesas paredes de hormigón para retener todos los rayos γ que no absorbe el producto (Molins, 2001).

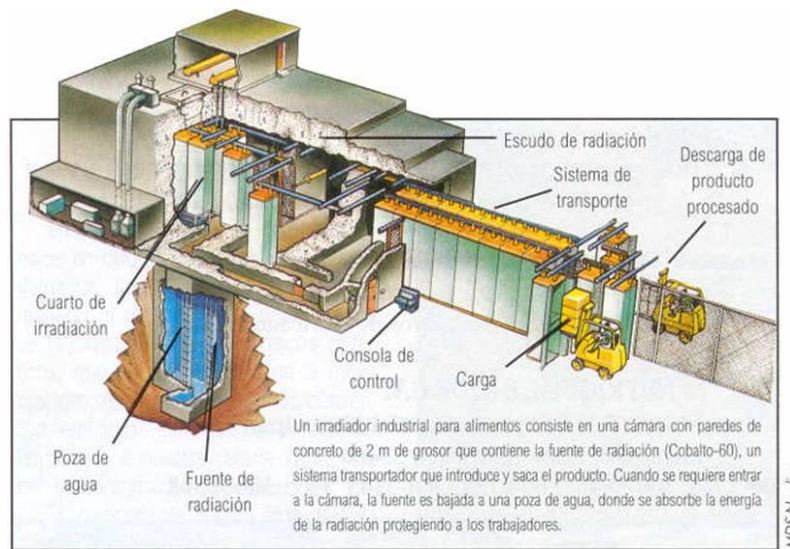


Figura 9. Irradiador industrial

Fuente: Olvera (2008)

2.2 Irradiación en alimentos.

2.2.1. Unidades de radiación y dosis absorbida.

La cantidad de energía irradiada que un alimento absorbe se mide en Grays (Gy). La unidad representa la cantidad de energía que 1 kilogramo de producto recibe de la radiación ionizante. Un Gy es equivalente a un *julio* (unidad de energía) por kilogramo. El rango habitual para la irradiación de alimentos es generalmente desde 50 Gy hasta 10000 Gy, dependiendo del alimento en cuestión y del efecto deseado. La irradiación penetra completa y uniformemente, por lo que una cantidad pequeña de energía puede cumplir el objetivo requerido sin necesidad de la lenta penetración térmica (Morton, 1997).

2.2.2. Aplicaciones.

Desde un punto de vista práctico, hay tres tipos de aplicaciones generales y categorías de dosis para los alimentos tratados con radiaciones ionizantes (Morton, 1997; González *et al.*, 2001):

- A) dosis bajas (< 1kGy)
 - inhibición de brotación en bulbos y tubérculos
 - Desparasitación de carnes



- Retardo de maduración (extensión de vida útil)
- Desinfestación

B) Dosis medias (1-10 kGy)

- Destrucción de microorganismos (reducción de contaminación)
- Mejoramiento de las propiedades tecnológicas de los alimentos

C) Dosis altas (> 10 kGy)

- Esterilización
- Eliminación de virus.

A continuación se describirán brevemente algunas de las aplicaciones en alimentos de origen vegetal (Morton, 1997):

- Inhibición de brotación. El uso de muy bajas dosis de irradiación inhibe la brotación de tubérculos y bulbos como: papas, cebollas y ajos. Esta aplicación evita el uso de agentes químicos que son utilizados con este propósito. Es una de las aplicaciones más difundidas a nivel mundial. Las dosis a aplicar son del orden del 0,008 – 0,14 kGy para papas y de 0,03 – 0,12 para cebollas y ajos.
- Retardo de maduración y aumento de vida útil. Bajas dosis de irradiación retardan la maduración de algunas frutas como; plátanos, mangos, papayas y guayabas aumentando por otra parte su vida útil. Este efecto fisiológico no debe confundirse con el aumento de la vida útil que se obtiene por la reducción de la población de microorganismos. Una extensión de vida útil razonable se puede obtener con dosis de 0,3 – 0,5 kGy.
- Desinfestación. Dosis bajas pueden causar la muerte o esterilidad de insectos. La desinfestación por medio de radiación es uno de los mejores sustitutos de los agentes químicos que el hombre posee en la actualidad. Como se requieren dosis de alrededor de 0,3 kGy, los cambios en frutas frescas y hortalizas son insignificantes. Si se controlan adecuadamente las condiciones ambientales y se realiza una buena selección del estado Fisiológico del producto, estos cambios pueden reducirse a niveles no detectables.



2.2.3. Efecto de la irradiación en alimentos.

▪ Efecto a nivel molecular.

Los alimentos están constituidos por cuatro componentes básicos: agua, carbohidratos (almidón y azúcar), lípidos (grasa y aceite) y proteínas. También hay otros constituyentes como las vitaminas, minerales y varios elementos menores o trazas. La irradiación de alimentos, como todos los procesos, afecta a estos componentes por cambios causados en la *ionización*. Los iones reactivos o radicales libres formados durante la irradiación se combinan con otros iones para alcanzar un estado más estable. Este proceso se llama *radiolisis* y los elementos formados *productos radiolíticos* (Molins, 2004).

Dependiendo del tipo de alimento irradiado, los productos radiolíticos pueden formarse de inmediato, o lentamente durante un extenso periodo de tiempo. Cuando se forma el primer radical libre, busca una pareja con la que pueda combinarse. Si la encuentra, se obtiene un producto estable. Pero tiene que existir movilidad para la búsqueda. Como el agua es un fluido, los materiales disueltos, o los que tienen un alto contenido de humedad, proporcionan una considerable movilidad a los radicales libres. Los productos finales estables se formarán rápidamente. Por otro lado, los productos muy secos no permiten el mismo grado de movilidad y el tiempo que necesitan los radicales libres para formar productos estables es mayor (Molins, 2004).

Todas las pruebas científicas indican que los radicales libres y los productos radiolíticos formados durante la irradiación de alimentos y la mayoría de los procesos alimentarios comunes, no suponen ningún problema para nosotros. Sin embargo, debido a que los términos *radicales libres* y *productos radiolíticos* no son muy conocidos fácilmente se pueden sacar fuera de contexto y hacer que suenen amenazadores. También se puede obtener la impresión de que únicamente se forman en la irradiación de alimentos. No es así de sencillo. Estos productos son tan naturales como lo es el ajo cultivado ecológicamente. Los cereales o las tostadas que se toman en el desayuno diariamente pueden tener niveles de los mismos productos ionizados, incluso mayores que los alimentos irradiados. De hecho, la



formación de radicales libres es una de las reacciones bioquímicas más básicas que se llevan a cabo en el organismo y es un aspecto normal del metabolismo diario (Molins, 2004).

Una vez más, el término operacional es ionización. Las moléculas grandes y complejas o macromoléculas, semejantes a los ácidos nucleicos, son responsables directa o indirectamente de la alteración. Debido a que estas macromoléculas son tan grandes, las probabilidades de ser golpeadas e ionizadas por la energía de rayos γ son altas. Para que estas macromoléculas lleven a cabo sus funciones específicas, deben permanecer absolutamente intactas en su estructura y composición. La ionización modifica ligeramente o rompe su estructura, lo que hace que estas moléculas no funcionen normalmente (Molins, 2004).

Entre las aplicaciones más importantes de la irradiación está la destrucción o reducción de bacterias patógenas en los alimentos. La vida y reproducción de estos microorganismos depende de sus ácidos nucleicos, ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico). Como son macromoléculas grandes y complicadas, son muy sensibles a la ionización y en consecuencia, bastan exposiciones relativamente bajas a la radiación γ para reducir drásticamente el potencial patógeno de estas bacterias en los alimentos.

La irradiación se emplea para matar los insectos y huevos, o prevenir su desarrollo, dejando la fruta lo más parecida a su estado natural como es posible. Hay otros métodos para conseguir el mismo efecto, pero no se consideran tan seguros o efectivos para eliminar estos riesgos. Como en casos anteriores, es la ionización de las macromoléculas críticas lo que hace el trabajo. Los huevos de los insectos constituyen la fase de su ciclo vital más sensible a la irradiación, seguida de las de larva, pupa y adulto. La mayor parte de los insectos se esterilizan a dosis de 50-200 Gy. Algunos insectos adultos sobreviven 1 kGy, aunque su progenie sea estéril (Wills *et al.*, 1998). Investigaciones recientes corroboran esta información al encontrar que dosis de 100 Gy para especies de *Anastrepha* y de 150 Gy para *C. capitata* previenen la emergencia de moscas adultas (Bustos *et al.*, 2004).



▪ Efecto en el valor nutricional.

Los cambios en el valor nutricional en alimentos irradiados dependen de muchos factores. Estos incluyen la dosis de irradiación, el tipo de alimento, el empaque y las condiciones de proceso, así como la temperatura de irradiación y el tiempo de almacenamiento.

Los estudios han reportado que los carbohidratos, proteínas y grasas sufren un pequeño cambio durante la irradiación aún en dosis superiores de 10 kGy. Similarmente, aminoácidos esenciales, minerales, elementos traza y la mayoría de las vitaminas no sufren pérdidas significativas (Molins, 2004).

La sensibilidad de las vitaminas a la irradiación depende de la complejidad del sistema del alimento y de la solubilidad de las vitaminas en agua o grasa. La irradiación de vitaminas en solución pura resulta en una considerable destrucción. Por ejemplo, en vitamina B1 (tiamina= en solución acuosa se mostró un 50% de pérdida al irradiar a 0,5 kGy, mientras que al irradiar harina de huevo a la misma dosis, la destrucción de esta vitamina fue de 5%. Esto se debe a la protección mutua de los constituyentes de los alimentos. La pérdida de vitaminas se puede disminuir irradiando alimento congelado o empacado en atmósfera inerte como nitrógeno (ICGFI, 1999).

Se han encontrado cuatro vitaminas altamente sensibles a la irradiación B1, C (ácido ascórbico), A (retinol) y E (alfa-tocoferol). La vitamina B1 es más sensible al calor que a la irradiación. Contradictoriamente, se han encontrado bajas y altas pérdidas en vitamina C en algunos alimentos irradiados. Algunos investigadores determinan ácido ascórbico mientras que otros determinan una mezcla de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico (Fig. 9) Ambos ácidos tienen actividad biológica de vitamina C y son fácilmente transformados de uno a otro. Si solo se evalúa el contenido de ácido ascórbico, cualquier reducción aparente sería exagerada (ICGFI, 1999).

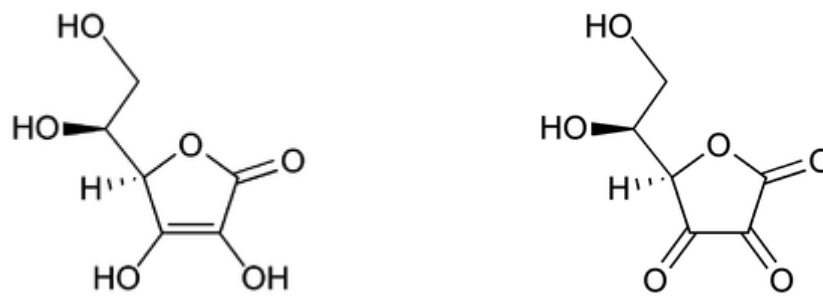


Figura 10. a) Ácido ascórbico y b) ácido dehidroascórbico

La irradiación prácticamente no tiene efecto en los niveles de β -caroteno y otros carotenoides precursores de vitamina A formados en frutas durante la maduración (ICGFI, 1999).

La inactivación de enzimas en alimentos expuestos a radiación ionizante se debe a efectos directos e indirectos. La irradiación en frutas y vegetales produce efectos inmediatos al dañar a la molécula enzimática y efectos secundarios producidos por desórdenes fisiológicos en el periodo post-irradiación (Viljoen *et al.*, 1987).

2.2.4. Efecto de irradiación en mangos.

Se ha evaluado constantemente la aplicación de la irradiación en frutas y concretamente en mangos con distintas finalidades, desde desinfestación de plagas, hasta mejoramiento de la calidad microbiológica.

Algunos resultados sobre mangos variedad 'Kent' infestados con 4 moscas (*Anastrepha ludens*, *A. obliqua*, *A. serpentina* y *Ceratitis capitata*) sugieren que dosis de 100 Gy para especies de *Anastrepha* y 150 Gy para *C. Capitata* son suficientes para prevenir la emergencia de moscas adultas. Se recomiendan dosis de 150 Gy para tratamiento de cuarentena en mangos de exportación. Cabe señalar que estas dosis son insuficientes para evitar la formación de pupas. El único efecto en la calidad de los mangos se observó en el decremento de ácido ascórbico. El análisis sensorial no reportó diferencia significativa en olor y sabor hasta dosis de 1 kGy (Bustos *et al.*, 2004).



En experimentaciones para eliminar microorganismos tales como: mesófilos, pseudomonas, hongos, en mango mínimamente procesado variedad ‘Tommy Atkins’ y ‘Haden’, sometiendo cubos a dosis de hasta 2 kGy, se reporta el crecimiento de dichos microorganismos durante el almacenamiento independientemente de la dosis, encontrando una mayor contaminación en la variedad ‘Haden’. En cuanto al análisis sensorial se reporta que dosis de 1 kGy no afectan la apariencia ni textura de los frutos durante 4 días a 7°C. Se analizaron de igual forma vegetales como lechuga, piña y sandía (Landgraf *et al.*, 2006). Se ha demostrado que la inactivación de la enzima málica por radiación ionizante se debe a la destrucción del sitio activo así como de la desnaturalización en general (Viljoen *et al.*, 1987).

El incremento de la enzima málica, usualmente observada durante la maduración del mango, decrece por irradiación gamma (Frylinck *et al.*, 1987). En cuanto a la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO), ésta incrementa de acuerdo a la dosis de irradiación aplicada.

2.2.5 Ventajas y Desventajas de la irradiación en alimentos.

En la tabla 9 se muestran de las ventajas y desventajas de la irradiación gamma en alimentos.

Tabla 9. Ventajas y desventajas de la irradiación en alimentos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• La irradiación de cualquier alimento con una dosis promedio de hasta 10 kGy no presenta riesgos toxicológicos.• Retardo de la maduración (extensión de vida)• Desinfestación de frutas sin afectar las cualidades nutrimentales y sensoriales de los frutos.• Desparasitación de carnes• Inhibición de brotación en bulbos y tubérculos.• Esterilización.	<ul style="list-style-type: none">• Tecnología dependiente.• Tecnología costosa.• Desconocimiento general del tema.• Preocupación de los consumidores por los efectos a largo plazo.• Falta de métodos analíticos confiables para determinar productos irradiados.• Variación en el efecto de acuerdo a las características del alimento.



La tabla 10 muestra una comparación entre la irradiación gamma y otros tratamientos cuarentenarios aplicados para eliminar a la mosca de la fruta. Comparado con otros tratamientos cuarentenarios, la irradiación gamma es superior en la velocidad de tratamiento y en la tolerancia que presentan los productos. El costo es relativamente moderado al igual que la aceptación en la industria y consumo.

La eficacia de la irradiación gamma está calificada como alto al igual que el resto de los tratamientos cuarentenarios (inmersión en agua caliente, microondas, fumigación con bromuro de metilo, etc).

Tabla 10. Comparación de varios tratamientos cuarentenarios

Tratamiento	Eficacia	Tolerancia de producto	Costo	Velocidad	Logística	Aceptación
Aire caliente	Amplia	Moderada	Moderado	Moderado	Moderado	Alta
Inmersión en agua caliente	Amplia	Moderada	Bajo	Rápido	Moderado	Alta
Irradiación	Amplia	Alta	Moderado	Rápido	Moderado	Moderada
Fumigación con bromuro de metilo	Amplia	Moderada	Bajo	Rápido	Fácil	Alta
Microondas	Amplia	Moderada	Alto	Rápido	Difícil	Alta
Pesticidas	Amplia	Alta	Bajo	Rápido	Fácil	Baja

Fuente: IAEA – FAO (1973)

2.2.6 Métodos de detección de Alimentos Irradiados.

Desde mediados de 1980, se han realizado extensas investigaciones que derivaron en el desarrollo de pruebas para determinar el estado de irradiación en una gran variedad de alimentos. Los métodos que han sido más estudiados y se ha encontrado mayor alcance de aplicación son la espectroscopia de resonancia del spin electrónico (ESR), espectroscopía, termoluminiscencia (TL) y el monitoreo de la formación de una cadena larga de hidrocarburo y 2-alkilciclobutanona. En 1996 éstas pruebas fueron aceptadas como métodos estándares de referencia para la detección de alimentos irradiados por el Comité Europeo de Normalización (CEN) (ICGFI, 1999).



2.2.7. Normas Nacionales e Internacionales.

La aplicación de la irradiación en alimentos comenzó en 1950, cuando la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos (USAEC) inició un programa coordinado de investigación sobre el uso de la radiación ionizante para la conservación de alimentos. Se promovieron investigaciones en universidades y a principios de los años 60 se construyó un irradiador de Co^{60} en Massachussets. Se estimularon esfuerzos para investigación en Europa. Sin embargo, los debates sobre la seguridad de alimentos irradiados ha sido la mayor limitante para su consumo por lo que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO) y un grupo de 24 países formaron en 1970 el Proyecto Internacional para Irradiación de Alimentos (IFIP) con sede en Alemania. La Organización Mundial para la Salud (OMS) asesora el proyecto (Alcérreca, 2007b).

Tras realizar una serie de análisis químicos y estudios de alimentación en animales, en 1980, se estableció que: “la irradiación de cualquier producto alimenticio con una dosis de hasta 10 kGy no requiere de pruebas toxicológicas ni representa ningún peligro” y “la irradiación de alimentos hasta una dosis de 10 kGy no presenta problemas nutricionales o microbiológicos” (Alcérreca, 2007b).

En 1984 el *Codex Alimentarius*, publicó el *Codex General Standard for Irradiated Foods* y *Recommended International Code of Practice for the Operation of Irradiation Facilities Used for the Treatment of Food* que establecen que “Para la irradiación de cualquier alimento, la dosis mínima absorbida deberá ser suficiente para asegurar el propósito tecnológico y la dosis máxima absorbida deberá ser menor que la que podría comprometer la seguridad del consumidor, inocuidad o afectar adversamente la integridad estructural, propiedades funcionales o atributos sensoriales. La dosis máxima entregada al alimento no deberá exceder los 10 kGy, excepto cuando sea necesario asegurar un propósito tecnológicamente legítimo” (CODEX STAN 106-1983, REV.1-2003) estos documentos formaron bases para la legislación de muchos países (*Codex Alimentarius*, 2003).

A nivel global, la legislación en las naciones es aún divergente. Esto representa el



mayor impedimento al comercio internacional. Países como Holanda, Bélgica y Francia realizan irradiación en forma rutinaria, mientras que Alemania se resiste. La República de Sudáfrica permite la irradiación a 45 kGy en productos cárnicos precocidos (Alcérreca, 2007b) En 2007, se han aprobado conjuntamente la irradiación de más de 50 alimentos en 40 países (Fig. 11).

Se cuenta con organismos internacionales como The International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), cuya función es proporcionar información a los Estados Miembros de la FAO, WHO y IAEA sobre la seguridad y el uso apropiado de la irradiación en alimentos (ICGFI, 1999)



Figura 11. Uso de la irradiación en el mundo.

En América Latina, la mayoría de los países no cuentan con legislación para uso de la irradiación en alimentos. Tan solo Brasil, Paraguay y Perú cuentan con normatividad al respecto.

Recientemente el OIEA elaboró un documento denominado *Perfil Estratégico Regional* (PER), a través del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL). Este documento identifica a la irradiación como un tratamiento poscosecha alternativo para evitar el uso de químicos además, propone elaborar un plan de trabajo en un lapso de 3 a 5 años como guía de seguimiento (Alcérreca, 2007a).



En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA-1993, Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, se canceló en 2005. Esto se debe a que las dosis que puede aplicarse en nuestro país, no representan un riesgo por sí mismas, lo que ocasiona una salida de divisas, sin aportar condición alguna a la reducción de riesgos sanitarios; que no existe metodología analítica que permita demostrar que un producto ha sido irradiado y que se incluyen dosis máximas para propósitos comerciales, mismos que escapan a la competencia de la Secretaría de Salud (Secretaría de Salud, 2005).

Desde noviembre de 2008, México ha exportado guayabas irradiadas, se estima la colocación de 10 mil toneladas de producto para este año. Aguascalientes se convirtió en el primer Estado del país en iniciar la venta de guayaba al mercado exterior. Se calcula que, mientras un kilo de guayaba en el mercado nacional alcanza un precio de ocho pesos, después de recibir el tratamiento de irradiación se cotiza en el mercado internacional hasta en 32 pesos el kilogramo (Bentley, 2009; Gobierno del Estado de Aguascalientes, 2008)

A finales de julio se comenzó a exportar mango ‘Manila’ irradiado procedente de huertos certificados del estado de Guerrero. La variedad de mango ‘Manila’, que es la que más se produce en México, no había llegado al mercado estadounidense, debido a que no cumplía con los estándares norteamericanos por no soportar el tratamiento fitosanitario hidrotérmico. Se tiene previsto exportar otras variedades, que incluyen mangos ‘Ataulfo’, ‘Tommy atkins’, ‘Kent’, ‘Keitt’ y ‘Haden’ (Bentley, 2009; Lombrana, 2008).

- Etiquetado

El comité de etiquetado de la JECFI (Joint Expert Committee on Food Irradiation) pretende normar la uniformidad del etiquetado entre 130 países miembros del Codex. De acuerdo a la FDA, los productos irradiados deben identificarse usando el símbolo internacional de irradiación y la leyenda *Tratado con radiación, Tratado por radiación o Irradiado*. Si los ingredientes irradiados representan el 10% o más del producto terminado, deberán ser incluidos como “irradiados” en la lista de ingredientes (Alcérreca, 2007b).



El símbolo de Radura (Fig. 12) se utiliza para identificar los alimentos irradiados. Los pétalos representan el alimento, el círculo central la fuente de radiación y el círculo ranurado ilustra los rayos que emanan de la fuente de energía.



Figura 12. Símbolo Radura

Fuente: Alcérreca, (2007b)



II. OBJETIVOS

Objetivo General.

Desarrollo del protocolo para la aplicación de tratamientos por irradiación gamma en mangos variedad 'Ataulfo' que cumpla los requisitos fitosanitarios para exportación al mercado Norteamericano.

Objetivo particular 1

Aplicar tratamientos de irradiación gamma (Co^{60}) a diferentes dosis a mangos que permita establecer las condiciones del tratamiento que no dañe la calidad del producto y que cumpla con los requisitos de cuarentena fitosanitaria.

Objetivo particular 2

Simular las condiciones de transporte del mango (13°C) después de la irradiación hasta el punto de destino en la cadena de comercialización para asegurarse de la calidad final del producto.

Objetivo particular 3

Evaluar el efecto de la irradiación gamma en los parámetros fisiológicos (respiración), calidad (pH, acidez, color, firmeza, sólidos solubles), y nutrimentales (vitaminas C) en mangos variedad 'Ataulfo'.

Objetivo particular 4

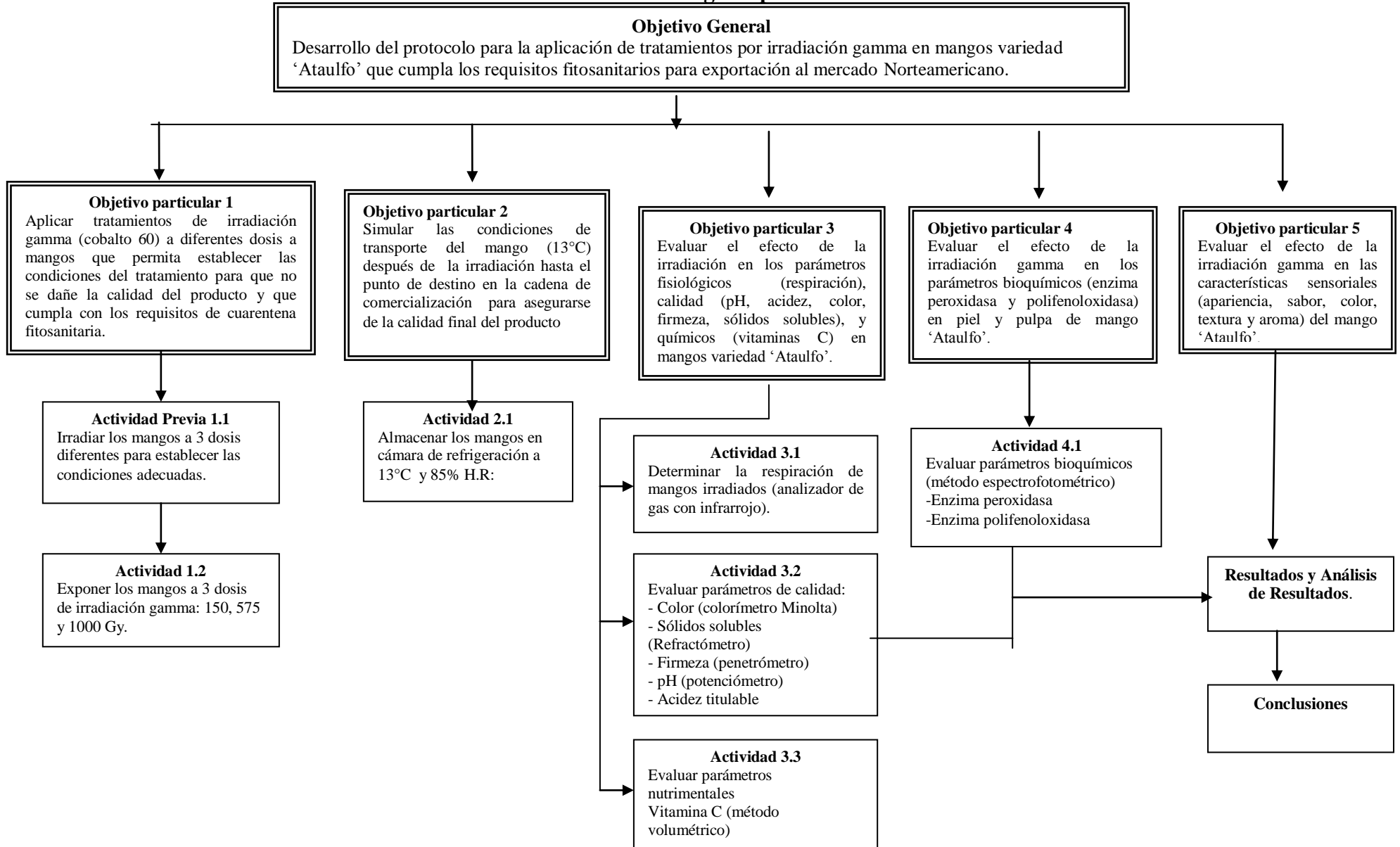
Evaluar el efecto de la irradiación gamma en los parámetros bioquímicos (enzima peroxidasa y polifenoloxidasas) en piel y pulpa de mango 'Ataulfo'.

Objetivo particular 5

Evaluar el efecto de la irradiación gamma en las características sensoriales (sabor, color, firmeza) del mango 'Ataulfo'.



III. Metodología experimental





MATERIALES Y MÉTODOS.

1.1 MATERIAL BIOLÓGICO.

Se trabajó con mangos de la variedad 'Ataulfo' en estado inmaduro, procedentes del estado de Sinaloa adquiridos en la Central de Abastos de la Ciudad de México y con mangos de la variedad 'Ataulfo' en estadio preclimático, (a los dos días de haber sido cosechados) procedentes de Tecpan de Galeana, Guerrero, adquiridos directamente de productores dedicados a la exportación. Se transportaron vía terrestre en cajas de cartón de 4.5 kg (Fig. 13).



Figura 13. Mangos empacados en cajas de cartón

1.2 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS.

Los mangos se seleccionaron, clasificaron en calidad extra y primera y se lavaron para eliminar tierra y material extraño previo al empaclado. Posteriormente se realizó una caracterización física tomando el peso y diámetro polar y ecuatorial. Los frutos fueron empacados de acuerdo al peso en cajas de cartón de 4.5 kg aproximadamente.

Las dimensiones de las cajas certificadas por USDA para exportación a Estados Unidos fueron de 32.5 cm de largo, 27.5 cm de ancho y 11 cm de alto. Contaron con 3 orificios en la parte inferior, 2 a los costados y una separación a lo largo en la parte superior, esto con el objetivo de facilitar la respiración y mantener la frescura.

1.3 IRRADIACIÓN DE MUESTRAS.

El procedimiento para irradiar alimentos constó de varias etapas. Para determinar el tiempo total que el alimento debió permanecer dentro del irradiador industrial, la empresa encargada, tomó en cuenta la dimensión de las cajas, el apilado de las mismas y la dirección



de los rayos gamma. Posteriormente se realizó un mapeo, el cual consistió en introducir dosímetros de alanina en puntos estratégicos de las cajas muestra y someter a irradiación gamma el alimento durante el tiempo estimado para alcanzar la dosis solicitada. Una vez finalizada la irradiación se procedió a analizar los dosímetros y realizar los ajustes pertinentes (Fig. 14).

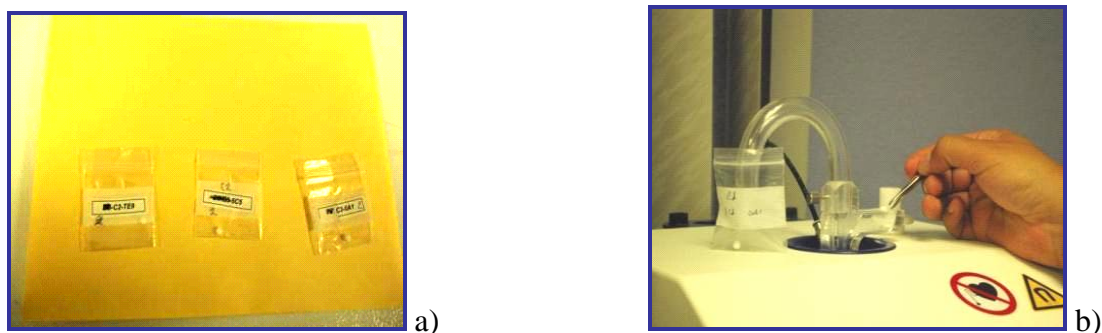


Figura 14. Mapeo. a) Dosímetros de alanina b) Análisis de dosímetros.

Los mangos se sometieron a 3 dosis diferentes de irradiación gamma (150, 575 y 1000 Gy) en la planta de irradiación gamma Sterigenics ubicada en Tepeji del Río, Hidalgo.

1.4. SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TRATAMIENTO DE IRRADIACIÓN.

Para establecer las condiciones del tratamiento se llevó a cabo el siguiente diseño experimental (Tabla 11):

Tabla 11. Diseño experimental para establecer condiciones del tratamiento.

	Respiración	Pruebas FQ, Q y enzimáticas	Total
Control (3 cajas)	18 mangos	24 mangos 6 mangos por estadío	42
150 Gy (3 cajas)	18 mangos	24 mangos 6 mangos por estadío	42
575 Gy (3 cajas)	18 mangos	24 mangos 6 mangos por estadío	42
1000 Gy (3 cajas)	18 mangos	24 mangos 6 mangos por estadío	42



Se contó con 18 mangos por dosis para evaluar la respiración y 24 mangos por dosis para pruebas de calidad, bioquímicas y nutrimentales, los mangos se almacenaron en la incubadora a 20°C, conservando así las mismas condiciones en todos los mangos.

Las pruebas de calidad, fisiológicas y nutrimentales se evaluaron en los siguientes estadios de maduración: E1 (preclimaterio), E2 (inicio del climaterio), E3 (máximo climaterio) y E4 (postclimaterio) de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 1.7.

Los estadios se establecieron de acuerdo al incremento del CO₂, evaluando inmediatamente color, firmeza y sólidos solubles. Los mangos se congelaron a -18°C para posteriormente realizar el resto de las pruebas.

1.5 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO EN PARAMETROS DE CALIDAD, FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS.

Una vez establecidas las condiciones de irradiación, se recibieron mangos irradiados y se dividió el lote para almacenar una mitad en incubadora a 20°C la otra en cámara de refrigeración a 13°C (Fig. 15).



Figura 15. Mangos almacenados a) incubadora a 20°C y en b) cámara de refrigeración a 13°C



A lo largo de la experimentación se utilizó un código de colores de la siguiente manera (Fig. 16):

Grupo control – Amarillo

Dosis Baja (150 Gy) – Verde

Dosis Media (575 Gy) – Rojo

Dosis Alta (1000 Gy) – Azul



Figura 16. Mangos irradiados a 3 diferentes dosis.

Para evaluar el efecto de los tratamientos se llevó a cabo el siguiente diseño experimental (Tabla 12):

Tabla 12. Diseño experimental de irradiación de mango ‘Ataulfo’ almacenado a 20 y 13 °C.

	Respiración	Pruebas FQ, Q y enzimáticas	Análisis sensorial	Total
Control (5 cajas)	12 mangos	20 mangos (5 mangos por día de evaluación)	4 mangos Durante periodo postclimatérico	36 por condición de almacenamiento.
150 Gy (6 cajas)	12 mangos	24 mangos (6 mangos por día de evaluación)	4 mangos Durante periodo postclimatérico	40 por condición de almacenamiento.
575 Gy (6 cajas)	12 mangos	24 mangos (6 mangos por día de evaluación)	4 mangos Durante periodo postclimatérico	40 por condición de almacenamiento.
1000 Gy (6 cajas)	12 mangos	24 mangos (6 mangos por día de evaluación)	4 mangos Durante periodo postclimatérico	40 por condición de almacenamiento.

Para los dos tratamientos, se destinaron 12 mangos por dosis para evaluar la respiración y 24 mangos (6 por día de evaluación) para pruebas de calidad, bioquímicas,



nutrimentales. Se reservaron 4 mangos para realizar el análisis sensorial durante el periodo postclimático.

Para evaluar la respiración se colocaron 4 mangos por frasco, contando con 3 frascos por dosis. La medición de CO₂ a 20°C se realizó diariamente durante la mañana hasta que, considerando el aspecto físico y el descenso de la actividad respiratoria, se determinó que los mangos estaban en la etapa de senescencia.

Para evaluar los parámetros de calidad de los mangos almacenados a 20°C se determinaron los días: 1, 4, 7 y 12, mientras que para los mangos almacenados a 13°C se evaluaron los días: 1, 7, 14 y 21 analizando color, firmeza y sólidos solubles, de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 1.7.2.

Los mangos se congelaron a -18°C para posteriormente realizar la determinación de pH, acidez, vitamina C y actividades enzimáticas de PPO y PDO, de acuerdo a las técnicas analíticas descritas en el apartado 1.7.2, 1.7.3, y 1.7.4.

1.6. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO EN PARAMETROS SENSORIALES.

Una vez que los mangos desarrollaron madurez comercial, se pelaron y picaron para proceder con el análisis sensorial (Fig. 17)



Figura 17. Muestras de mango para análisis sensorial



Se solicitó la colaboración de 25 panelistas no entrenados para realizar el análisis sensorial. Se aplicó una prueba de atributos para evaluar color, aroma, textura, sabor y apariencia utilizando una escala hedónica del 1 al 5 (Tabla 13).

Tabla 13. Relación de la escala hedónica con atributos

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

Posteriormente se aplicó una prueba de preferencia de los mangos no irradiados y los irradiados utilizando una escala del 1 al 10 (Fig. 18).

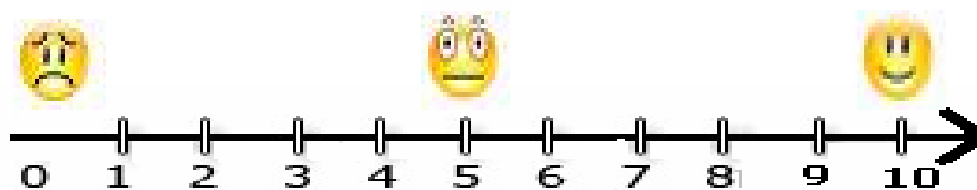


Figura 18. Escala de preferencia.

1.7 TÉCNICAS ANALÍTICAS.

Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa a 80°C. Calculando el contenido de agua en la muestra por pérdida de peso debido a la evaporación de agua (Pearson, 1998). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.



Determinación de Carbohidratos.

Se determinaron los carbohidratos en la muestra mediante el método de Lane y Eynon, el cual se basa en la reacción de oxidación-reducción del ión cúprico (Cu^{++}) a ion cuproso (Cu^{+}) o agentes oxidantes suaves, que reaccionan con aldosas de los azúcares reductores en presencia de un indicador (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g/100 g de muestra.

Determinación de Proteínas.

El contenido protéico se determinó por el método de Lowry, el cual se basa en la reacción de las proteínas con cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Follin-Ciocalteu (ácido fosfomolibdicofosfotúngstico), que reduce a heteropolimolibdeno azul por oxidación de aminoácidos aromáticos que es catalizada por cobre. La reacción se lleva a cabo en medio alcalino (pH 10 – 10.5) (Lowry *et al.*, 1951). Se utilizó como estándar albúmina sérica bovina (marca Sigma). Los valores de concentración de proteína se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 720 nm y se expresaron como mg/ml.

Determinación de Grasa.

El contenido de grasa se determinó de acuerdo al método de Soxhlet, en la cual la grasa se extrae de la muestra por arrastre con éter de petróleo a partir del residuo desecado. El solvente se elimina por evaporación. El residuo de grasa se pesa y se expresan los resultados en g/100g de muestra (Pearson, 1998).

Determinación de Fibra Cruda.

Se realizó por medio del método de Kennedy-Wendy, el cual se fundamenta en la determinación de materia insoluble (ligninas, celulosas y hemicelulosas) presente en el fruto. La fibra se obtiene después de realizar una hidrólisis en medio ácido y otra en medio alcalino (Pearson, 1998). Se reportó en g/100 g de muestra.



Determinación de Cenizas totales.

Para determinar cenizas se utilizó el método de Klemm. La obtención del residuo inorgánico resulta después de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 550°C (Pearson, 1998). Se reporta en g/100 g de muestra.

1.7.1 Determinación de parámetros fisiológicos.

▪ Determinación de la respiración

Los frutos se colocaron en contenedores con entrada y salida de aire que permitió medir la composición del gas (CO₂) generado por el metabolismo del fruto (Domínguez y Vendrell, 1993). La respiración se valora en función de la producción de CO₂ medido con un analizador de gas infrarrojo (Fig. 19) (marca NITEC modelo 513-469-9080). Los resultados se expresan en mg CO₂ kg⁻¹h⁻¹.



Figura 19. Analizador con gas infrarrojo.

1.7.2. Determinación de parámetros de calidad.

▪ Determinación de color.

La determinación de color se llevó a cabo con un colorímetro marca Minolta modelo CR300 por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares. Los valores 'a' en abscisas se mueven desde los valores negativos para el verde a valores positivos; para el rojo, los valores 'b' en ordenadas van desde el azul al amarillo y el parámetro 'L' representa la luminosidad desde la reflexión nula (L=0) a reflexión difusa perfecta (L=100). Las medidas de color se realizaron en la piel en un punto de la zona ecuatorial del mango (Mc Guire, 1992).



- **Determinación de sólidos solubles (°Brix).**

Los sólidos solubles se determinaron directamente mediante lectura en un refractómetro (marca ATAGO, mod. 2111) a 20°C. Éste se calibró con una gota de agua destilada en la superficie del prisma ajustando la lectura a cero. Posteriormente se tomó una gota del líquido que sale al exprimir el mango y se colocó en la superficie del prisma del refractómetro (Fig. 20). Los sólidos solubles se expresaron en °Bx



Figura 20. Refractómetro marca Atago.

- **Determinación de pH.**

Para la determinación del pH, se pesaron 10 g de pulpa y se homogenizaron con 100 ml de agua destilada, se filtraron a través de papel filtro y se determinó el pH con un potenciómetro manual (marca HANNA instruments, mod. PHep1) introduciendo el electrodo en la muestra (Fig. 21).



Figura 21. Potenciómetro manual marca Hanna

- **Determinación de acidez.**

La acidez se determinó del filtrado valorando con hidróxido de sodio 0.1 N (Fig. 22). Los resultados se expresan en % de ácido cítrico (AOAC; 1990),



Figura 22. Determinación de acidez por método volumétrico

▪ **Determinación de la firmeza.**

La firmeza se determinó sobre una de las caras en la zona media de cada mango y se evaluó como la fuerza de ruptura de la piel por medio de un penetrómetro manual con un diámetro del punzón de 5 mm (marca TESTER modelo FT 327) (Fig. 23). Los resultados se expresan en kg/cm^2 .



Figura 23. Penetrómetro manual marca Tester.

1.7.3. Determinación de parámetros nutrimentales.

▪ **Determinación de ácido ascórbico (vitamina C)**

Se determinó por método volumétrico (Fig. 24), se fundamenta en la propiedad del ácido ascórbico de reaccionar con el indofenol (2,6 dicloro fenol indofenol), decolorando el color azul y la cantidad decolorada es proporcional a la cantidad de vitamina C presente en el alimento. La cantidad de ácido ascórbico se expresa en mg de vitamina C por 100 g de alimento.



Figura 22. Determinación de vitamina C por método volumétrico

1.7.4. Determinación de parámetros bioquímicos.

- **Actividades enzimáticas.**

El extracto crudo enzimático fue preparado a 4°C de acuerdo al método propuesto por Cano *et al.* (1997) con algunas modificaciones.

- **Determinación de la actividad de polifenol oxidasa.**

La actividad de la polifenol oxidasa fue determinada espectrofotométricamente siguiendo el procedimiento descrito por Cano *et al.*, (1997) con algunas modificaciones, utilizando como sustrato dopamina hidroclicorada. Los cambios de absorbancia debidos a la oxidación de la Dopamina por la acción de la PPO fueron evaluados en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, MOD génesis 10 UV) a 420 nm durante 4 minutos. La actividad de PPO se calcula con base en la pendiente de la proporción lineal de la curva a 420 nm contra el tiempo. La actividad se expresó como $\Delta A_{420} \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$.

- **Determinación de la actividad de peroxidasa.**

La actividad de la peroxidasa se determina espectrofotométricamente siguiendo el procedimiento descrito por Cano *et al.* (1997) con algunas modificaciones, utilizando como sustratos *p*-fenilendiamina y H₂O₂. Los cambios de absorbancia debidos a la oxidación de la *p*-fenilendiamina por la POD fueron registrados en un espectrofotómetro (marca TERMO SPECTRONIC, mod. GÉNESIS 10 UV) a 485 nm durante 4 minutos. La actividad de POD se calcula con base en la pendiente de la porción lineal de la curva a 485 nm contra el tiempo. La actividad se expresa como $\Delta A_{485} \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ (Fig. 25).



Figura 25. Espectrofotómetro marca TERMO SPECTRONIC

1.7.5 Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos. Se aplicaron pruebas de comparaciones múltiples y pruebas de rango (Duncan y Tukey) mediante el programa estadístico SPSS versión 1.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1. Caracterización Química y Fisicoquímica del mango 'Ataulfo'.

La caracterización se realizó con la finalidad de conocer la composición química del mango 'Ataulfo' para posteriormente evaluar el efecto en sus principales componentes. En la Tabla 14 se muestra la composición del mango 'Ataulfo' en madurez comercial. Se observó un gran contenido de agua, carbohidratos y bajo contenido de fibra a diferencia de otras variedades de mango. En la Tabla 15 se muestran los parámetros fisicoquímicos. Los sólidos solubles y la acidez se relacionan con el estado de madurez del mango (pulpa amarilla, olor y sabor característicos).

Tabla 14. Composición química del mango 'Ataulfo' en madurez comercial.

Componente	Cantidad (%)
Humedad	83.83 ± 0.97
Carbohidratos	13.02 ± 1.02
Proteína	0.54 ± 0.34
Grasas	1.08 ± 0.49
Fibra Cruda	0.05 ± 0.04
Cenizas	0.47 ± 0.41

Tabla 15. Características fisicoquímicas del mango 'Ataulfo' en madurez comercial.

Parámetro	Cantidad
Acidez (% ácido cítrico)	0.046 ± 0.03
pH	3.83 ± 0.9
Sólidos solubles (°Brix)	12.63 ± 0.89



1. Selección de condiciones para el tratamiento por irradiación gamma.

◆ Caracterización física.

De acuerdo a la NMX-FF-058-SCFI-2006, (Productos Alimenticios no industrializados para consumo humano – Fruta Fresca – Mango (*Mangifera indica* L.) – Especificaciones) la calidad de los mangos, objeto de estudio, en la caracterización y selección de condiciones del tratamiento para irradiación fue de Categoría Primera al presentar escurrimiento de látex manifestando color café claro o negro en una o varias áreas del fruto, considerando dicho defecto como grado mayor, así mismo, se encontraron manchas de lluvia en algunos de los mangos (manchas irregulares de color más oscuro que la cáscara) (SCFI, 2006). El mango 'Ataulfo' presentó forma alargada y cáscara suave y color ligeramente amarillo.

Una vez efectuada la recepción de los mangos, se procedió a pesar y medir el diámetro polar y ecuatorial de los mangos (Tabla 16). De acuerdo al peso de los mangos los frutos fueron de código de calibre 20, este código indica el número de mangos que se pueden colocar en un empaque de 4.536 kg, según la NMX-FF-058-SCFI-2006.

Tabla 16. Características físicas del mango 'Ataulfo'

Parámetro	
Peso (g)	231.74 ± 26.69
Longitud ecuatorial (cm)	6.39 ± 0.58
Longitud polar (cm)	10.41 ± 1.19

**Los datos muestran el valor promedio ± desviación estándar,
siendo n = 220**

Para seleccionar las condiciones de los tratamientos por irradiación gamma, se aplicaron 3 dosis diferentes y se evaluaron los parámetros de calidad.



◆ **Apariencia.**

En la Tabla 17, correspondiente al estado preclimaterio, se observó uniformidad en el color, forma y tamaño de los mangos para las 3 dosis diferentes y el control. El color de la piel fue verde con ligera tendencia a amarillo.

En el inicio del climaterio se observó la evolución del color con respecto al preclimaterio. Para este momento, la clorofila comenzaba a degradarse para dar lugar a la manifestación de otros compuestos responsables del color. Se observó una ligera diferencia entre el grupo control y los mangos irradiados, teniendo el primero mayor área de tonalidad amarilla que el resto.

Durante el máximo climaterio, se hizo evidente el retardo de la maduración a medida que se incrementó la dosis de irradiación. El color de la piel del grupo control fue amarillo, mientras que los mangos irradiados a dosis de 1000 Gy permanecieron verde-amarillo. También se observaron daños por quemaduras en los mangos irradiados.

Los resultados en el postclimaterio, se caracterizaron por un color totalmente amarillo acentuado y marcas de infección por antracnosis en algunos mangos del grupo control. Los mangos sometidos a dosis de 150 Gy presentaron ligeras marcas de quemadura por irradiación, dicho defecto fue mayor a medida que aumentó la dosis de irradiación, mientras que la apariencia de los mangos irradiados a dosis de 1000 Gy presentaron tonalidades verdes. Los mangos irradiados desarrollaron un color amarillo pálido como se muestra en la tabla 17.

En la figura 26 se muestran los efectos de la irradiación tanto en la piel como en la pulpa durante el estadio postclimaterio. La apariencia de la piel de los mangos es determinante en la selección del consumidor, por lo que los mangos irradiados podrían ser rechazados a pesar de que la pulpa no fue afectada. Esto sería una desventaja para los productores, sin embargo, cabe señalar que otros estudios realizados en mangos y otros frutos no han reportado efectos similares para las dosis señaladas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 17. Tabla comparativa de mango 'Ataulfo' irradiado a diferentes dosis durante 4 estadios de maduración.

	Control	Dosis 150 Gy	Dosis 575 Gy	Dosis 1000 Gy
Preclimaterio	<p>MANGO ATAULFO 31/07/08 Control -E1C7</p>	<p>MANGO ATAULFO 31/07/08 Dosis Baja -E1C1</p>	<p>MANGO MANILA 31/07/08 Dosis 1 -E1C3</p>	<p>MANGO MANILA 31/07/08 Dosis 2 -E1C5</p>
Inicio del climaterio	<p>MANGO ATAULFO 4/08/08 Control -E2C7</p>	<p>MANGO ATAULFO 4/08/08 Dosis Baja -E2C1</p>	<p>MANGO ATAULFO 4/08/08 Dosis Media -E2C3</p>	<p>MANGO ATAULFO 4/08/08 Dosis Alta -E2C5</p>
Máximo climaterio	<p>MANGO ATAULFO 6/08/08 Control -E3C7</p>	<p>MANGO ATAULFO 6/08/08 Dosis Baja -E3C1</p>	<p>MANGO ATAULFO 6/08/08 Dosis Media -E3C3</p>	<p>MANGO ATAULFO 6/08/08 Dosis Alta -E3C5</p>
Postclimaterio	<p>MANGO ATAULFO 11/08/08 Control -E4C7</p>	<p>MANGO ATAULFO 11/08/08 Dosis Baja -E4C2</p>	<p>MANGO ATAULFO 11/08/08 Dosis Media -E4C4</p>	<p>MANGO ATAULFO 11/08/08 Dosis Alta -E4C6</p>

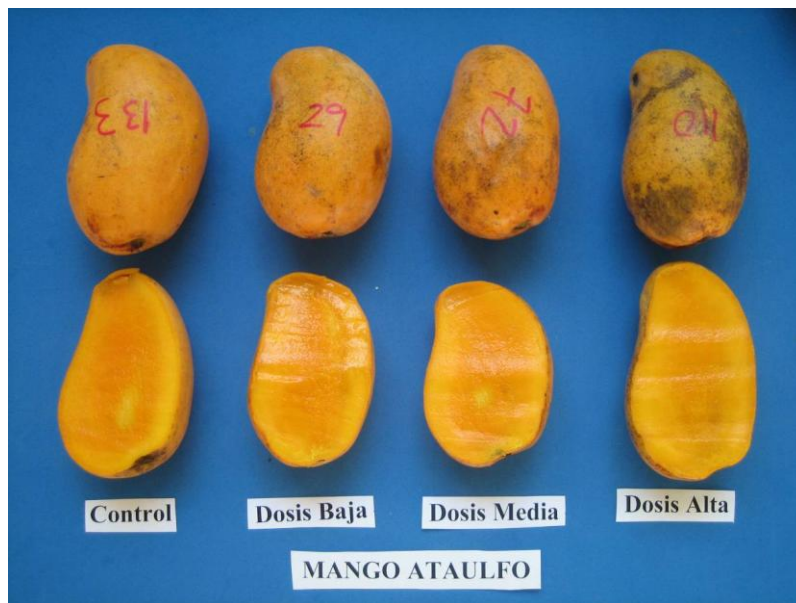


Figura 26. Mango 'Ataulfo' irradiado a diferentes dosis : baja (150 Gy), media (575 Gy) y alta (1000 Gy) después de 12 días de almacenamiento a 20°C.

◆ **Color.**

En la Figura 27A se muestran las mediciones de la luminosidad de los mangos durante 4 estadios de maduración, para los diferentes tratamientos. Todos los tratamientos presentaron la misma tendencia. Durante el periodo preclimaterico y el inicio del climaterio, la luminosidad permanece prácticamente constante con valores de 59 a 64. Posteriormente, la luminosidad asciende gradualmente hasta presentar valores cercanos al 100, en términos prácticos, se comienzan a desarrollar colores claros, sin embargo, se observa un rezago en la dosis de 1000 Gy al registrar 87.73 (10 unidades menos que el grupo control). Finalmente, el grupo control obtuvo el valor más alto (97.73), mostrando colores amarillo más intensos, como se muestra en la figura 27. A dosis de 150, 575 y 1000 Gy se registraron valores de 93.98, 90.29 y 90.93, respectivamente. Los mangos sometidos a dosis altas presentaron un menor valor de L debido a la presencia de tonos verdes.

La Figura 27B corresponde a los valores de tono donde se observó que en el periodo del preclimaterio y hasta el inicio del climaterio no existe una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el control y los mangos irradiados. En el máximo climaterio a dosis de 150 Gy se presentó un incremento sustancial, llegando a un valor de 86.53. En el postclimaterio, todos presentaron



una caída en el ángulo HUE, el que disminuyó más fue el grupo control llegando a un valor de 30.10 y los frutos sometidos a dosis de 150 Gy presentaron un tono de 41.18, habiendo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos. El grupo control y los frutos de dosis de 575 Gy obtuvieron un mayor valor de HUE (lo cual significa que la irradiación con dosis más altas llegaron al post climaterio con valores similares al pre climaterio no habiendo una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre éstos dos estadios).

En la figura 27C se muestra que para el croma en el periodo del preclimaterio los frutos con dosis baja presentaron un valor de 49.85 obteniendo el mayor valor de croma. Para el inicio del climaterio el control aumentó. Se observa que en el máximo climaterio tanto el control como los irradiados presentaron una caída notoria, siendo el de 150 y 575 Gy los más afectados. Sin embargo, en el postclimaterio todos llegaron a valores similares con valores de entre 3.42 y 5.19 para el control y 1000 Gy, respectivamente.

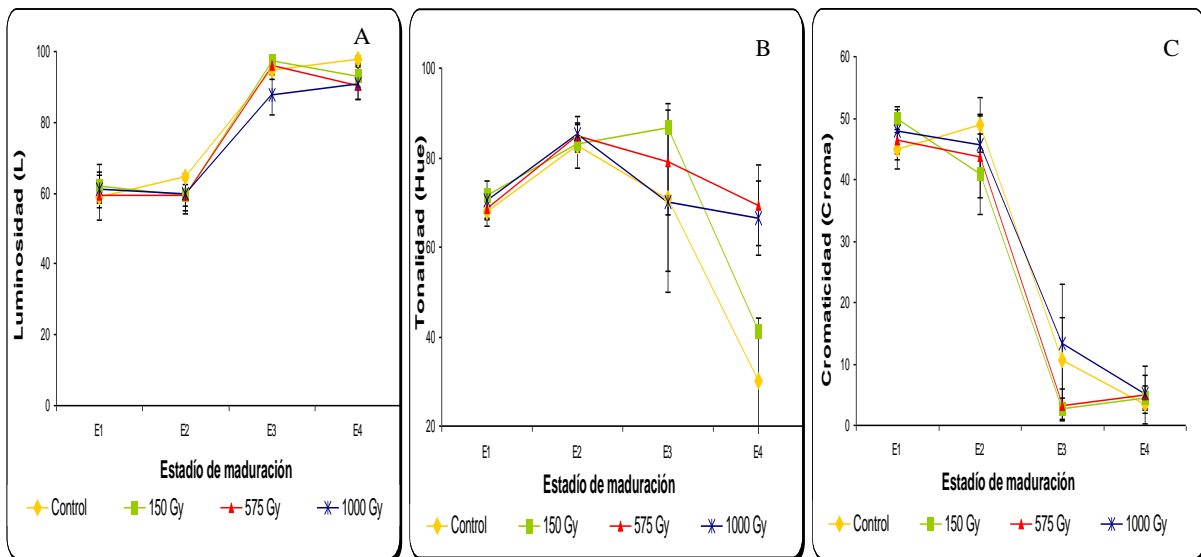


Figura 27. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la (A) luminosidad, (B) tono y (C) cromaticidad de la piel del mango Ataulfo durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).



◆ **Sólidos solubles.**

En la figura 28 se muestra el efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en el contenido de sólidos solubles del mango. La concentración de sólidos solubles aumentó a medida que maduró el fruto debido a la hidrólisis de almidón. No se observó efecto de la irradiación sobre los sólidos solubles, sin embargo, a medida que avanza el grado de madurez, se refleja el retardo de la maduración en dicho parámetro al tener el grupo control mayor concentración de sólidos solubles en los 4 estadíos.

El grupo control presentó un valor de sólidos solubles inicial de 10.25 y el de dosis de 1000 Gy de 9.5 °Bx. En el periodo postclimaterico el control y el de dosis de 1000 finalizaron con valores similares (23.66 y 23.87, respectivamente) no existiendo diferencia significativa entre éstos ($p \geq 0.05$).

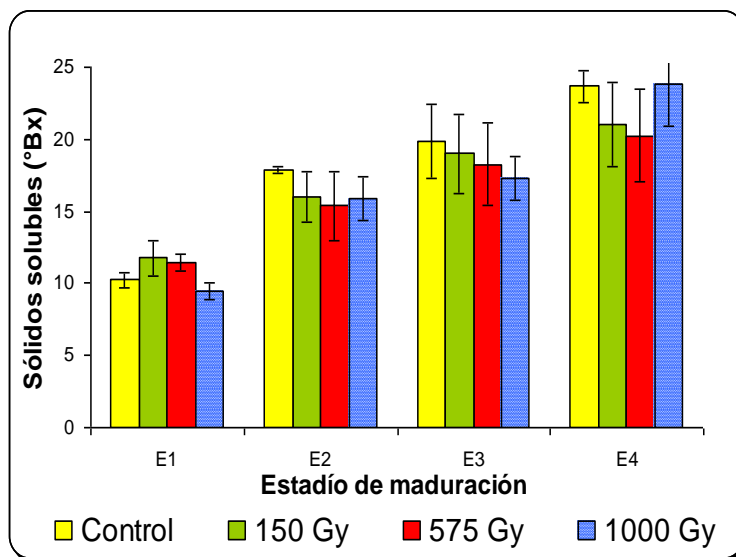


Figura 28. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en los sólidos solubles de mango durante la maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).

◆ **Firmeza**

La firmeza disminuyó a medida que maduró el fruto debido a cambios bioquímicos en la pared de la piel del mango. En esta experimentación no se reflejó efecto significativo alguno de la irradiación gamma sobre este parámetro. Se observó que en el máximo climaterio (E3) y



postclimaterio (E4) existió una disminución notable de la firmeza en todos mangos. Los mangos con la dosis de 1000 Gy presentaron la mayor firmeza (14.72 kg/cm^2) con respecto al control (10.94 kg/cm^2) durante el periodo postclimatérico. El porcentaje de pérdida de firmeza al final del almacenamiento fue de: de 57.69, 51.92, 69.42, y 37.68 para el grupo control, 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente. De acuerdo a esto, los mangos sometidos a dosis de 575 Gy perdieron mayor firmeza.

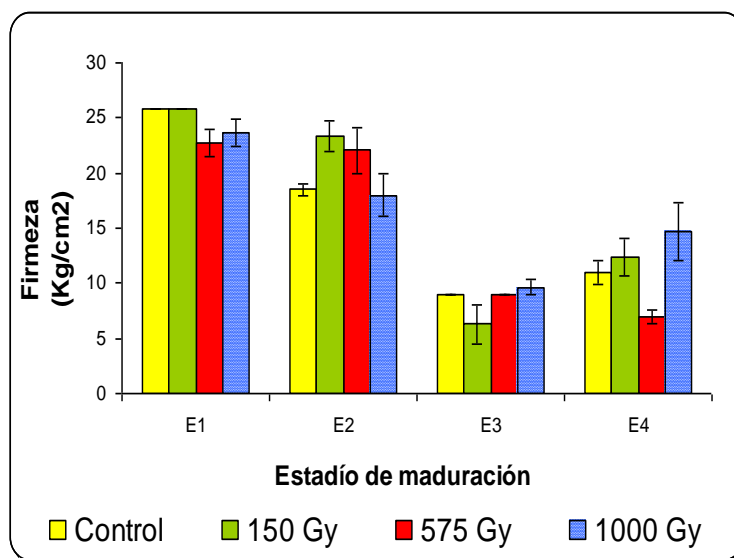


Figura 29. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la firmeza del mango 'Ataulfo' durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).

◆ pH

La figura 30 muestra los cambios en el pH de mango. Durante el proceso de maduración todos presentaron un incremento en el pH. Para el periodo preclimaterio no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) del control con respecto a los mangos tratados. Los mangos control presentaron un pH de 3.42 en el preclimaterio, llegando hasta un valor de 5.76 en el postclimaterio. En el inicio del climaterio (E2) y máximo climaterio (E3) no se observó relación entre la dosis de irradiación y el pH, sin embargo en el estadio postclimaterio el pH decreció y se observó diferencia significativamente ($p \leq 0.05$) entre el control (5.76) y la dosis de 1000 Gy (5.02). La diferencia del pH de los mangos control y los tratados con dosis de 150



Gy fue mínima. Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento presentó un efecto en la maduración de los frutos provocando un retraso de la senescencia.

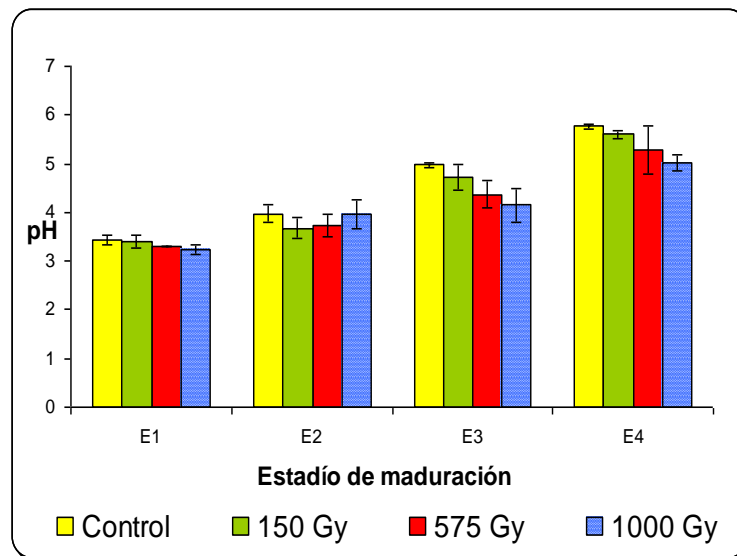


Figura 30. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en el pH de mango 'Ataulfo' durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4).

◆ Acidez

El porcentaje de acidez determinado volumétricamente se reportó como ácido cítrico ya que es el principal ácido orgánico en el mango. En el período preclimaterio (E1) los mangos tratados a dosis de 1000 Gy fueron los que tuvieron mayor acidez al inicio de la irradiación con un valor de 0.07 y el control de 0.05 existiendo así, una diferencia significativa entre éstos, sin embargo, en el inicio del preclimaterio (E2) se observó una disminución con respecto a la dosis de 150 y 575 Gy. Durante el máximo climaterio (E3) el efecto de la irradiación fue similar para la dosis de 150 y 575 Gy (0.014 y 0.016, respectivamente). En el postclimaterio (E4) existió una diferencia significativa entre la dosis 1000 y la 575 Gy con respecto al control ($p \leq 0.05$). La dosis alta obtuvo el valor más alto en el postclimaterio (0.02 % de Ac. cítrico) (Fig. 31).

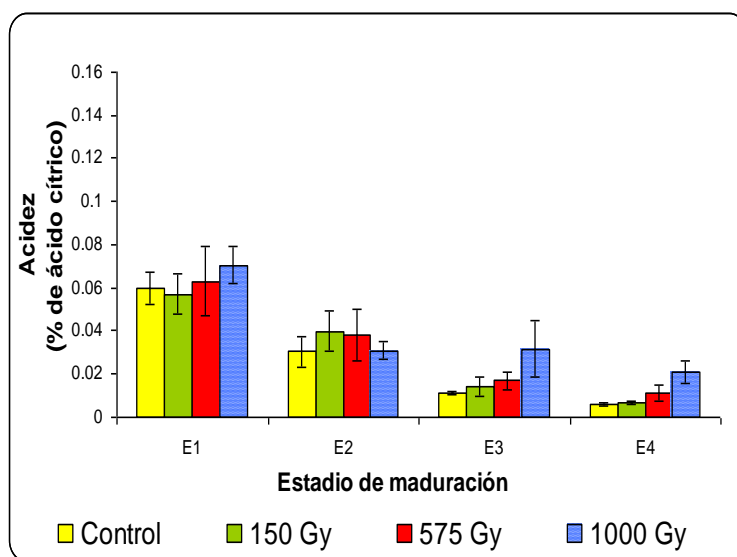


Figura 31. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la acidez del mango 'Ataulfo' durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4)

◆ Vitamina C.

En la figura 32 se observa notablemente el efecto de la irradiación sobre la vitamina C. En el periodo preclimaterio (E1) el control obtuvo un valor de 68.21 mg/100g y la dosis de 575 Gy de 94.13 mg/100g. En el inicio del climaterio (E2) todos los mangos irradiados tuvieron valores, desde 50.80 mg/100g para la dosis de 1000 Gy hasta 70.75 mg/100g en dosis de 150 Gy; estos valores fueron mayores al control (35.41 mg/100g). Para el post climaterio (E4) la dosis de 150 Gy y el control finalizaron con la mayor concentración de vitamina C 62.48 y 60.20 mg/100g, respectivamente, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a las dosis de 575 y 1000 Gy (35.75 y 47.32 mg/100g respectivamente).

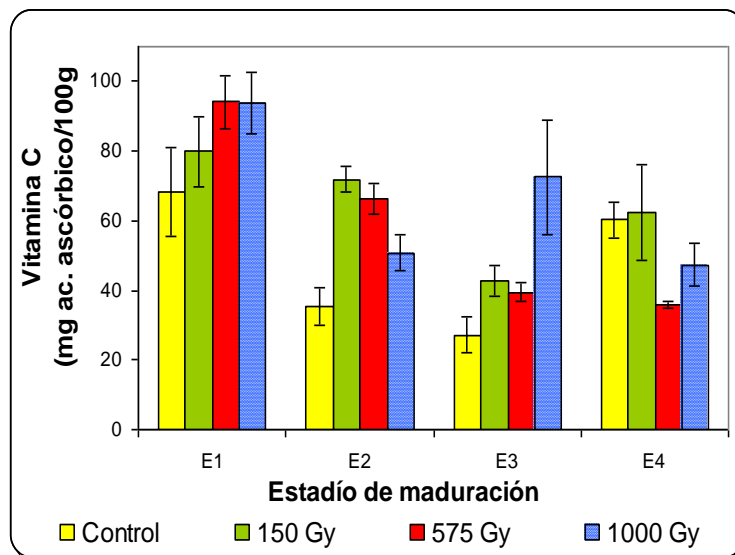


Figura 32. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la vitamina C del mango 'Ataulfo' durante 4 estadios de maduración: preclimaterio (E1), inicio del climaterio (E2), máximo climaterio (E3) y postclimaterio (E4)

◆ Respiración.

En la figura 33 se muestran los cambios en la respiración de los mangos irradiados. La respiración no reflejó una tendencia clara asociada con el tratamiento. Inmediato al tratamiento, se observó que los mangos control presentaron una respiración de 225 mg CO₂/ Kg PF h correspondiente al preclimaterio, al 5° día de almacenamiento comenzó el máximo climaterio para después iniciar con el postclimaterio. Los mangos tratados por irradiación presentaron un comportamiento similar a los frutos del grupo control, pero con niveles más bajos de producción de CO₂, observándose que en el máximo climaterio los frutos tratados a 150 Gy presentaron un pico de producción de CO₂ de 331 mg CO₂/Kg PF h, mientras que los mangos sometidos a dosis de 575 y 1000 Gy presentaron una respiración de 356 y 402 mg CO₂/Kg PF h, respectivamente; indicando que a mayor dosis mayor producción de CO₂, manteniendo una menor producción que los frutos sin tratamiento. Al final del almacenamiento se mantuvo la misma tendencia del comportamiento descrito anteriormente.

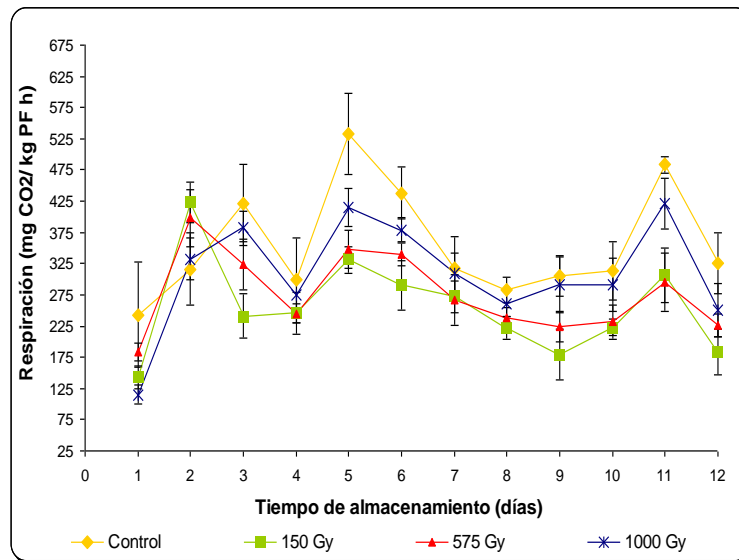


Figura 33. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la respiración del mango 'Ataulfo'.

A partir de los resultados obtenidos se establecieron las condiciones más apropiadas para aplicar el tratamiento, como fueron:

- Las dosis de irradiación evaluadas (150, 575 y 1000 Gy) no provocaron daños importantes en los frutos.
- Es indispensable tomar en cuenta el estado de madurez de los mangos 'Ataulfo', seleccionando un estadio preclimático, lo más cercano a la cosecha para minimizar quemaduras en la piel.
- Seleccionar mangos de otra región para evitar los daños fisiológicos causados por la lluvia.
- Mantener un manejo adecuado de los mangos.
- Utilizar cajas de cartón certificadas que proporcionen una mejor protección de los frutos y que cumplan con los requisitos para la exportación a Estados Unidos.



2. Efecto de la irradiación gamma en parámetros de calidad, bioquímicos y nutricionales del mango 'Ataulfo'.

◆ Caracterización física

Los mangos de esta experimentación se clasificaron en Categoría extra al presentar menos del 6 % de daños y/o defectos, de acuerdo a la NMX-FF-058-SCFI-2006 (SCFI, 2006).

El mango 'Ataulfo' presentó forma alargada y cáscara suave. Se observaron lisos, limpios y bien formados, con cáscara color verde.

Después de la recepción de los mangos, se procedió a pesar y medir el diámetro polar y ecuatorial de los mangos (Tabla 18). Tanto el peso como la longitud de estos mangos, fueron mayores a los de la actividad anterior, esto se relaciona con la clasificación superior en la que están catalogados. El calibre asignado a este lote fue 14.

Tabla 18. Características físicas del mango 'Ataulfo' almacenado a 20 y 13°C

Parámetro	20°C	13°C
Peso (g)	305.72 ± 53.58	298.41 ± 40.22
Longitud ecuatorial (cm)	6.97 ± 0.42	7.09 ± 0.43
Longitud polar (cm)	11.40 ± 0.72	11.43 ± 0.70

Los datos muestran el valor promedio ± desviación estándar siendo n=160.

◆ Apariencia.

En la tabla 19 se muestran las imágenes de los mangos posterior al tratamiento de irradiación gamma, no se observaron diferencias de color, daño o enfermedad entre el control y los mangos irradiados. Todos presentaron color verde homogéneo. En la Tabla 20 se muestran las imágenes durante los días 4° y 7° de almacenamiento a 20 y 13°C, no se presentaron diferencias en función del tratamiento. El color fue verde-amarillo característico del inicio del climaterio.



La tabla 21 muestra a los mangos en los días 7° y 14° de almacenamiento a 20 y 13°C, respectivamente. Se observó que a ambas temperaturas, el grupo control desarrolló color amarillo tanto en pulpa como en piel. La piel de los mangos de dosis 575 y 1000 Gy continuaron parcialmente verde y la pulpa mostró color amarillo pálido.

El retardo de la maduración se hizo evidente en el periodo postclimatérico (Tabla 22). A 20°C, el grupo control comenzó a degradarse y a presentar manchas de antracnosis, el color de la pulpa fue amarillo intenso. Los mangos sometidos a dosis de 150 Gy presentaron manchas de antracnosis en áreas más reducidas que el control. Los mangos tratados a dosis de 1000 Gy desarrollaron un color amarillo pálido tanto en piel como en pulpa. Notablemente se encontraron en estado de maduración retardada en comparación con el grupo control.

Los mangos almacenados a 13°C sufrieron mayor ataque de antracnosis, sin haber logrado desarrollar la intensidad de color de los mangos a 20°C. A 13°C, los mangos más afectados por el hongo, fueron los de dosis de 150 Gy (aún más que el grupo control). También se observó palidez en la pulpa de los mangos en función del incremento de dosis de irradiación.

Después de pelar los mangos se observó que, a medida que pasaba el tiempo, la pulpa de los mangos irradiados comenzaba a oxidarse presentándose un obscurecimiento en función de las dosis aplicadas. Esta situación se produjo en mayor medida en los mangos almacenados a 13°C.

A diferencia de la actividad anterior, no se observaron quemaduras en la piel, esta condición se puede atribuir a que la irradiación se llevó a cabo inmediatamente después de la cosecha, cuando los mangos son más resistentes al estrés y daños mecánicos. Observándose que el estado de madurez es un aspecto sumamente importante para la aplicación de los tratamientos.



Tabla 19. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' durante el día posterior al tratamiento.

	Día 1	
	20° C	13° C
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		



Tabla 20. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango ‘Ataulfo’ almacenado a 20°C y 13°C durante el día 4 y 7 respectivamente.

	Día 4		Día 7	
	20° C		13° C	
Control				
150 Gy				
575 Gy				
1000 Gy				



Tabla 21. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C y 13°C durante el día 7 y 14 respectivamente.

	Día 7		Día 14	
	20° C		13° C	
Control				
150 Gy				
575 Gy				
1000 Gy				



Tabla 22. Efecto de la irradiación gamma en la apariencia del mango 'Ataulfo' almacenado a 20°C y 13°C durante el día 12 y 21 respectivamente.

	Día 12	Día 21
	20° C	13° C
Control		
150 Gy		
575 Gy		
1000 Gy		



◆ Color

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

En la figura 34A se muestran los cambios en la luminosidad de la piel del mango irradiado. En el primer día los mangos tratados con la dosis de 1000 Gy presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los valores de L^* con respecto a los frutos tratados por las demás dosis y el grupo control, siendo éste el valor más bajo (62); sin embargo para el 4° día se observó un incremento. Los días 7° y 12° siguieron una tendencia similar tanto irradiados como el control, no existiendo una diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

La luminosidad de los mangos almacenados a 20°C (Figura 34A) presentó el primer día valores de L^* un poco más elevados que para 13°C, siendo el de dosis de 1000 Gy a 20 °C el valor más bajo con $L=71.49$. Para el 4° día a 20 °C se observó un incremento tanto del control como de los irradiados. Hasta el día 12 todos los frutos disminuyeron y se comportaron con la misma tendencia, obteniendo a 150 Gy un valor de $L=73.92$ y para los mangos tratados a la dosis de 1000 Gy $L=71.49$.

La luminosidad tanto del grupo control como de los frutos irradiados a 13°C presentó durante todo el proceso de maduración una tendencia de incremento, al contrario de los frutos almacenados a temperatura de 20° C. El grupo control (figura 34B) comenzó con un valor de L de 59.14 llegando al día 21 a un valor de 97.45. Del día 14 y hasta el día 21 se observó una diferencia entre el control y los irradiados, siendo los frutos tratados a dosis de 1000 Gy los que presentaron la más baja luminosidad con un valor de 89.30.

Se hizo la relación con el parámetro de a^* entre el control y los mangos irradiados a 20°C observándose el cambio de coloración durante el proceso de maduración del mango. El control tuvo valores en el día 1° de -10.11 hasta llegar al día 12 con un valor de 11.96 para el control y



para la dosis alta un valor de a^* -13.27 al inicio y 5.57 al final de los días, existiendo así una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y la dosis alta.

Con la irradiación aumentaron los valores de L^* y disminuyeron los valores de a^* durante el periodo de almacenamiento, Miller *et al.* (1994) reportó que con tratamientos de irradiación gamma arriba de 3 kGy no se tuvo un efecto negativo en el color de moras, pero el color de las frambuesas y naranjas fueron significativamente afectadas por la irradiación (Boylston *et al.*, 2002; Kim y Yook, 2009).

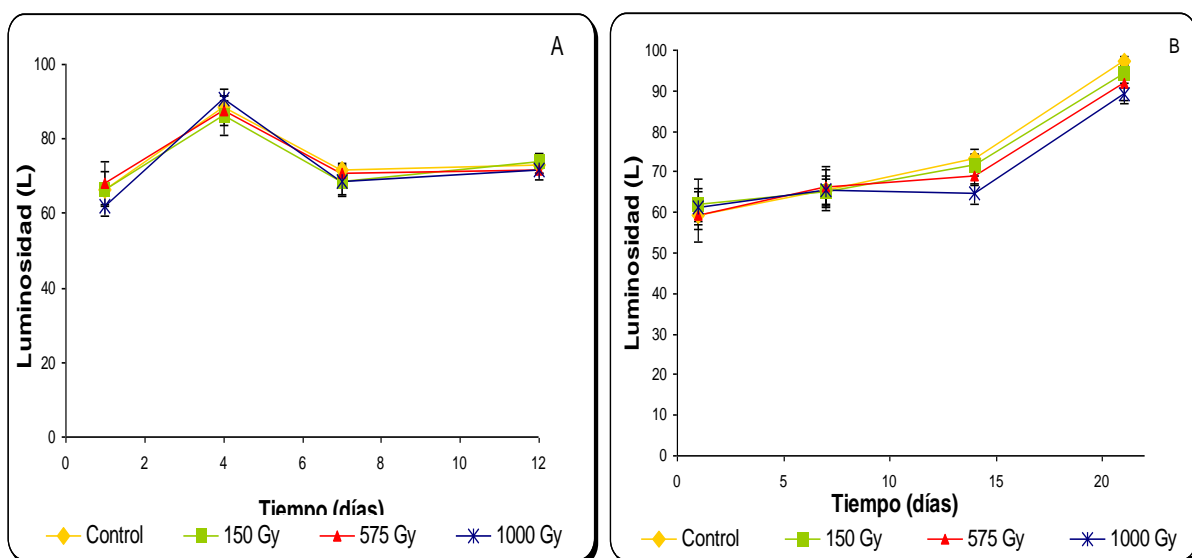


Figura 34. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la luminosidad de la piel de mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R..

En la Figura 35A se observa que el tono para la dosis de 1000 Gy presentó valores de ángulo de HUE menores a las demás dosis y al control, teniendo un valor de 71.35 en el día 1. Para el día 4 existió una disminución de todos siendo menos notable el del control. A dosis de 575 Gy se incrementó para el día 7 y para el último día el control terminó con el menor ángulo de HUE con un valor de 77.98 y la dosis de 1000 Gy con valor de 83.62, lo que significó un efecto de los rayos gamma en los mangos irradiados con respecto al control y una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre éstos.



Para la temperatura de refrigeración (Figura 35B) todos los mangos, tanto irradiados como no irradiados, se observó un comienzo de tonalidad muy similar. Para el día 14 los mangos del grupo control, y los tratados a 150 y a 575 Gy obtuvieron un valor de tono cercanos entre ellos 84.76, 84.98 y 83.06, respectivamente; a diferencia de la dosis de 1000 Gy que tuvo un valor de 76.51 existiendo así una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre éstos. Entre el día 14 y el 21 disminuyeron notablemente tanto el control como los tratados, cambiando drásticamente los matices al final de la maduración comercial. Con esto se determinó que existió una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) del control con respecto a los tratados.

Comparando las dos temperaturas se concluyó que el matiz a baja temperatura se vio seriamente afectado al final de la maduración, siendo los mangos control y los tratados a dosis de 150 Gy los más afectados en la tonalidad. Concluyendo que el efecto observado en el tono fue más por la temperatura de almacenamiento que por el tratamiento de irradiación.

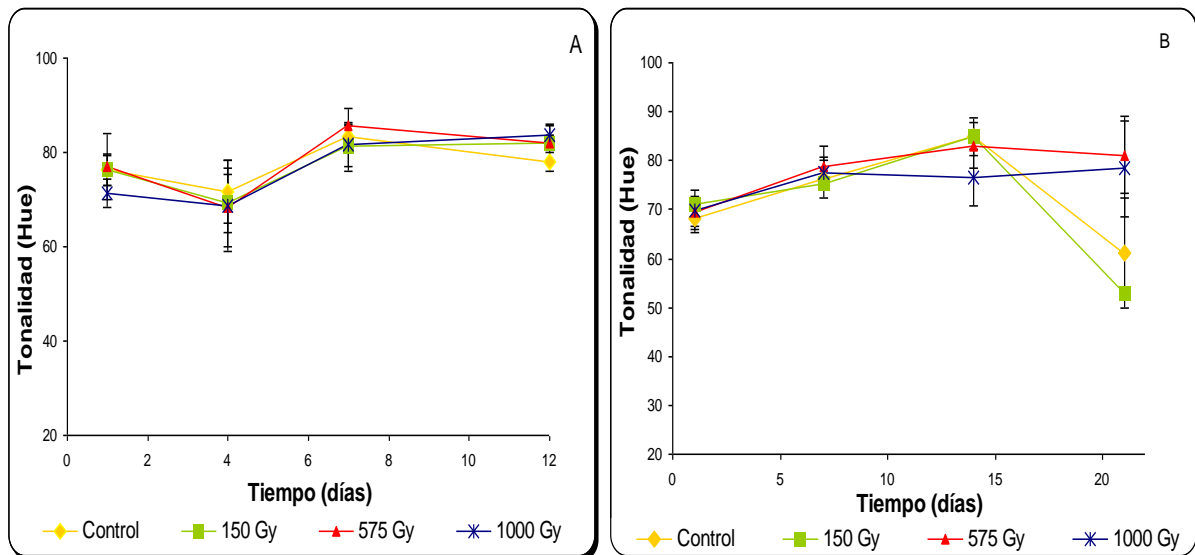


Figura 35. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma el tono de la piel del mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R.

En la Figura 36A se muestran los cambios en el croma o intensidad de luz. Todos los mangos tanto irradiados como el control tuvieron un comportamiento muy similar en el primer



día, sin embargo hubo una disminución en todos para el día 4, siendo el de 1000 Gy el de menor valor de croma con un valor de 31.44 y el grupo control tuvo mayor intensidad de luz (41.63). En el día 7 hubo un incremento tanto del control como de los irradiados, llegando el de dosis de 150 Gy con el mayor valor de croma (56.39) al final de la maduración comercial, existiendo así una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre éste y los demás.

El croma a 13°C (Fig. 36B) para dosis de 150 Gy comenzó con la mayor intensidad de luz (49.73). En el día 14 la dosis de 150 Gy incrementó llegando hasta un valor de 54.9, existiendo así una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de la dosis de 150 Gy y el control con respecto a la dosis de 575 y 1000 Gy que obtuvieron valores de 45.93 y 44.97 respectivamente. Al día 21 todos sufrieron una gran disminución especialmente a dosis de 1000 Gy (5.78) que ya se había comportado con el menor valor desde el día 14.

En ambas temperaturas de almacenamiento se comenzaron con valores de entre 40 y 50, sin embargo fue notable la diferencia que ocasionó el cambio de temperatura en la intensidad de luz tanto en el control como en los mangos irradiados principalmente desde el día 14 a 13 °C. La cromaticidad durante todo el proceso de maduración fue en aumento a 20 °C y a 13 °C hubo una gran disminución.

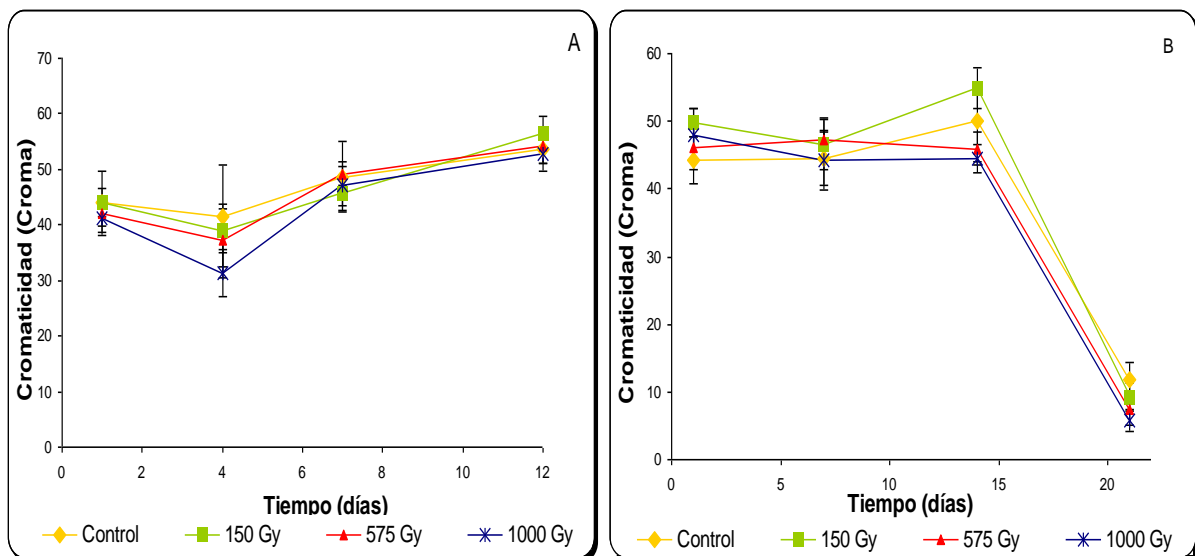


Figura 36. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la cromaticidad de la piel del mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R.



◆ Sólidos solubles.

El contenido de azúcares fue medido como sólidos solubles totales, que es un índice aproximado de la concentración de sólidos disueltos que se acepta comercialmente, como si todos los sólidos disueltos fueran sacarosa (Primo, 1998).

Se observó que, a ambas temperaturas (Fig. 37), los sólidos solubles se registraron en un rango de entre 5 y 8 °Bx lo cual indica que, al inicio, la irradiación no tuvo un efecto en los mangos, sin embargo para el 12° día, a 20°C (Fig. 37A) el comportamiento del control y los mangos tratados comenzó a diferenciarse, siendo el control el de mayor concentración de sólidos solubles totales (15.82) y la dosis de 575 Gy el de menor valor (12.17), existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) únicamente entre el control y los mangos tratados.

La Figura 37B muestra un comportamiento muy similar en los mangos almacenados a 13°C aunque con menor cantidad de sólidos solubles durante todos los días de maduración. En éste caso la dosis de 575 Gy reportó los mayores valores de sólidos solubles totales (15.21) y el de dosis de 1000 Gy el de menor valor (12.35) durante los últimos días de maduración. Se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre estas dosis, así como entre el control y la dosis de 150 Gy. En las dos temperaturas se observa en general un comportamiento similar hasta el final de los días. D’Innocenzo y Lajolo (2001) reportaron que el contenido total de sólidos solubles en la papaya no eran alterados por el proceso de irradiación; esto también fue reportado por trabajos de Moy *et al.* (1973) y Milleratal (1994) y Kim y Yook, (2009) en diversos frutos. Nair no observó diferencias en azúcares reductores y no reductores y sólidos solubles en dosis de hasta 750 Gy, en diferentes variedades de mango (IAEA-FAO, 1973).

A temperatura de 20° C se observa con mayor claridad una diferencia entre el control y los irradiados como lo menciona Nair.

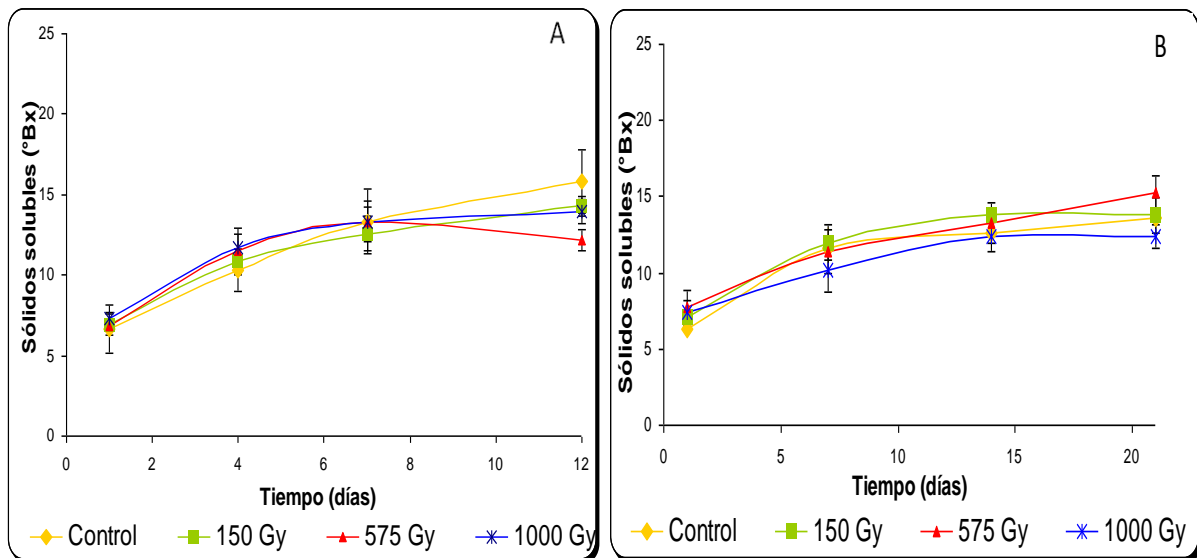


Figura 37. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en los sólidos solubles del mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R.

◆ Firmeza.

La pérdida de firmeza en los frutos se debe a los cambios en el grosor de la pared celular, permeabilidad de la membrana y cantidad de espacios intercelulares que contribuyen al ablandamiento de los tejidos (Pantástico, 1979).

Al momento de ser irradiados todos los mangos excedieron los 25.86 kg/cm² de firmeza. Conforme transcurrió el tiempo, los cambios bioquímicos en la pared celular dieron lugar a una disminución de este parámetro. En la figura 38A se observa que, durante los últimos días, el control perdió firmeza en mayor proporción (61%) que los mangos tratados (43% a 150 Gy, 48.8% a 575 Gy y 44% a 1000 Gy). Los mangos irradiados a dosis 575 y 1000 Gy presentaron una tendencia similar durante la mayor parte de la maduración conservando niveles superiores de firmeza que el control.

En la figura 38B se observa que, desde el día 7 hasta el final del desarrollo, el control perdió mayor firmeza que los mangos tratados. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se observaron alrededor del día 14 cuando el control marcó 17.06 kg/cm², la dosis de 575 Gy 24.56 kg/cm² y la dosis de 1000 Gy 21.65 kg/cm².



Con respecto a la temperatura de almacenamiento, los mangos control almacenados a temperatura ambiente registraron valores de 10.07 kg/cm² mientras que sus similares almacenados a 13°C obtuvieron valores de 16.79 kg/cm² durante el período de senescencia, por lo que, el mayor efecto de conservación de firmeza se debe principalmente al almacenamiento y no a la irradiación.

Johnson *et al.* (1965) irradió fresas con rayos gamma, éstos perdieron firmeza cuando se incrementó la dosis de 1 a 4 kGy. Moreno *et al.* (2006) reporta que los mangos irradiados de 1 a 3 kGy presentaron una diferencia significativa en la pérdida de textura comparado con los frutos no tratados (Kim y Yook, 2009). De acuerdo a estos antecedentes y a nuestros resultados es necesario aumentar las dosis de irradiación para observar diferencias significativas en la firmeza.

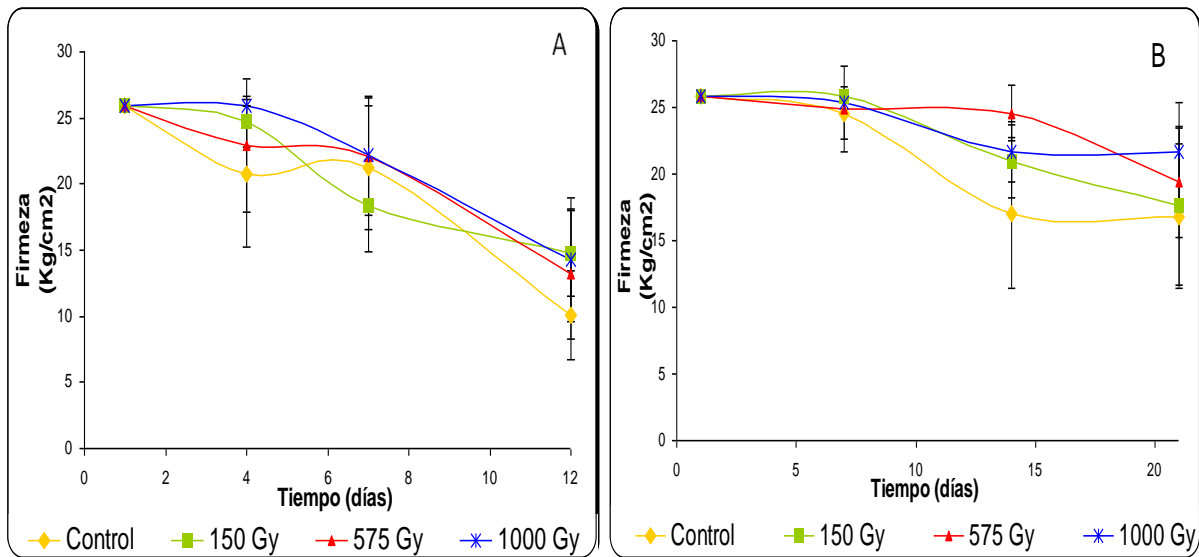


Figura 38. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la firmeza del mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R..



◆ pH

Ha quedado bien establecido que durante la maduración de los mangos hay una considerable disminución de la acidez en los frutos, cambiando el pH de 2.2 a 5.5 (Pantástico, 1979).

En la figura 39 se observa que el mango tuvo un pH bajo (3 aproximadamente) a condiciones normales al inicio de la maduración, hasta el día 6 no hubo ningún cambio en los mangos irradiados con respecto al control en ambas temperaturas. Posterior al día 7 a 20°C (Fig. 39A) el pH de los mangos control se incrementó constantemente hasta registrar valores de 4.88 durante el día 12, mientras que a dosis de 150, 575 y 1000 Gy el pH fue de 4.48, 4.21 y 3.78, respectivamente, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre cada uno y el control. A temperatura baja (figura 39B) la irradiación gamma tuvo un efecto similar a la descrita para 20°C. La diferencia de temperaturas provocó que el pH no aumentara a los niveles mencionados, sin embargo se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y los mangos tratados durante la mayor parte del desarrollo de los mangos. Al día 24 se registraron valores de pH de 4.07, 3.8, 3.78 y 3.58 para los frutos del grupo control y los tratados a dosis de 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente.

Por lo tanto el efecto de la irradiación gamma en el pH sugiere desaceleración en la maduración conforme se incrementa la dosis.

Al-Bachir (1999) reportó que la irradiación disminuía el valor de pH en el jugo de manzana (Kim y Yook, 2009). Sin embargo, en el presente trabajo no se observó ese efecto.

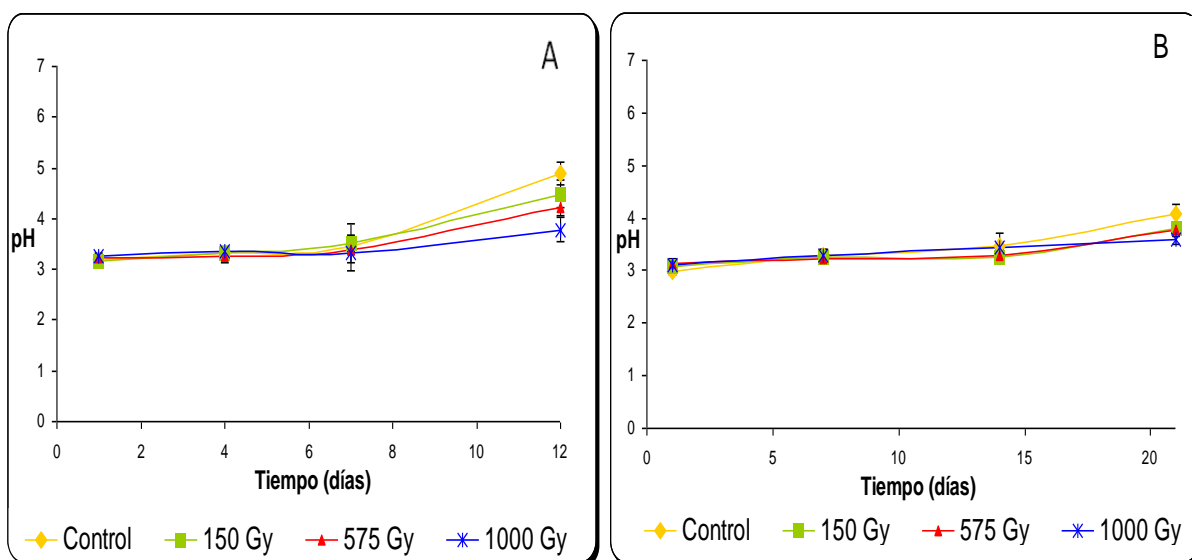


Figura 39. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en el pH del mango 'Ataulfo' almacenados a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R..



◆ **Acidez.**

La acidez disminuye a medida que pasa el tiempo, lo cual es un comportamiento propio de los frutos. Los principales ácidos que se han identificado en el mango son el cítrico, el málico y el ascórbico (Pantastico, 1979).

En la figura 40A, la acidez presenta diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre dosis de 575 (0.113) y 1000 Gy (0.123%) respecto al control y dosis de 150 Gy (0.126% ambos) inmediatamente después de la irradiación. Todos los tratamientos describen una tendencia de menor cantidad de ácido cítrico con respecto al control durante los primeros 7 días, esta situación se invierte para finalizar con valores mayores conforme se incrementa la dosis. Esto concuerda con lo investigado por Bustos *et al.* (2004) quienes señalaron que el valor promedio de la acidez en mangos irradiados a 600 y 1000 Gy fue ligeramente mayor que los irradiados a 300 y el grupo control.

Se observa en la figura 40B un comportamiento similar al de los mangos almacenados a temperatura ambiente. La acidez presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos 0.028, 0.032 y 0.047 para 150, 575 y 1000 Gy, respectivamente y el control (0.018) hasta el último día de experimentación correspondiente al periodo de senescencia. Los mangos almacenados a 13°C finalizaron con una acidez ligeramente mayor que los almacenados a 20°C por efecto de la temperatura, estos últimos registraron valores de 0.008, 0.012, 0.021 y 0.029% desde el control hasta dosis de 1000 Gy.

Saito y Igarashi (1971, 1972) encontraron que la irradiación parece acelerar la pérdida de ácido málico durante el almacenamiento, el cual puede deberse al aumento de respiración y el metabolismo de otros ácidos (Kim y Yook, 2009). Este fenómeno se observó durante las tres primeras etapas de experimentación.

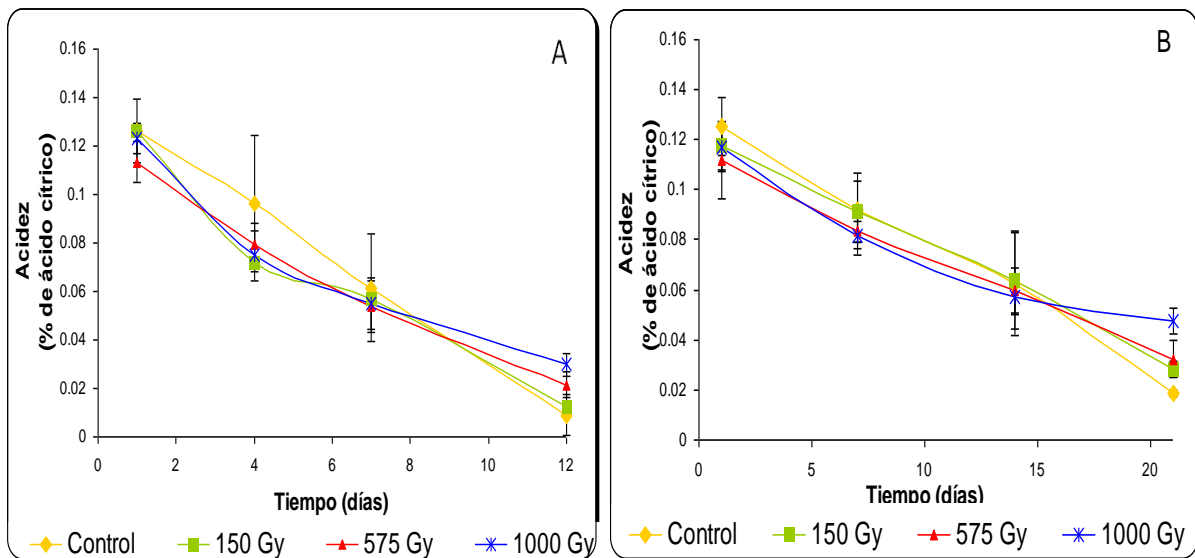


Figura 40. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la acidez del mango 'Ataulfo' almacenados a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R..

◆ Pérdida de peso.

El porcentaje de pérdida de peso es la diferencia entre el peso de los mangos y el peso inicial. El porcentaje de pérdida de peso a 13°C es menor que a 20°C ya que la temperatura baja ayuda a conservar las propiedades físicas del mango por más tiempo.

La pérdida de peso se atribuye a la disminución del contenido de agua por efecto de los procesos fisiológicos y bioquímicos, así como al rompimiento de ciertas sustancias complejas a simples durante la maduración del fruto (Doreyappa-gowda y Huddar, 2001).

Estudios realizados en mangos irradiados afirman que la radiación ionizante aumentó la susceptibilidad a los daños mecánicos y la tendencia a perder agua (Pantastico, 1979). Sin embargo, en la figura 41A podemos observar que el control tendió a perder mayor cantidad de peso que los mangos tratados con irradiación gamma, ya que la reducción fue de 11.84 % mientras que, para dosis de 150 Gy fue de 10.94%, para dosis de 575 Gy fue de 10.72% y para 1000 Gy de 10.67%.

A temperatura de refrigeración (Fig. 41B), se observó que, a dosis de 150 Gy, a partir del día 7 y hasta aproximarse al día 21, se perdió menos peso que en el resto de los tratamientos. La mayor diferencia se registró el día 14 con un porcentaje de pérdida de peso de



2.99, mientras que el resto de los tratamientos y el control excedían a la dosis de 150 Gy en un 1.18% en promedio.

Los mangos finalizaron su vida útil con pérdidas de peso de 6.09% en el grupo control, 5.89% a 150 Gy, 5.76% a 575 Gy y 6.16 % para 1000 Gy. Es importante señalar que, al igual que con los mangos almacenados a 20°C, no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro.

Con relación al almacenamiento, se observó que los mangos almacenados en refrigeración lograron retener casi el doble del porcentaje de peso del grupo control que sus similares almacenados a 20°C (6.09 y 11.84% respectivamente) durante el periodo de senescencia. El mismo fenómeno se observó para los mangos tratados, por lo que se concluye que no hay efecto significativo de la irradiación gamma con las dosis y la temperatura de almacenamiento señaladas.

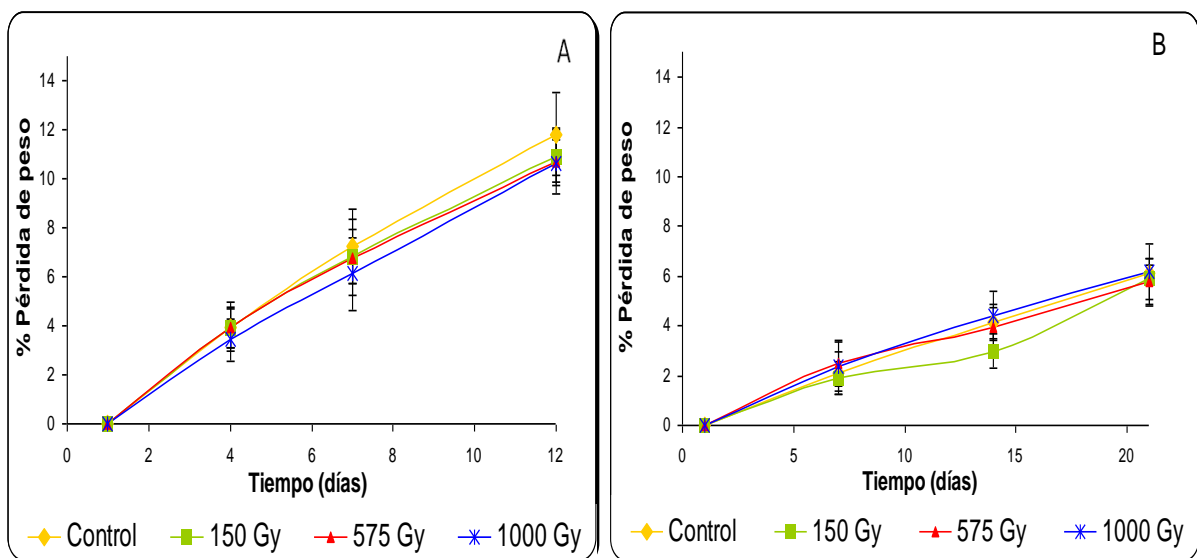


Figura 41. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la pérdida de peso del mango 'Ataulfo' almacenados a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R.

◆ Vitamina C.

En la figura 42A se muestra que, al principio, la irradiación no tuvo mayor efecto en los mangos irradiados ni en el control. La tendencia del grupo control es regular y decreciente. En el 4° día los mangos tratados quedaron muy por debajo del control existiendo una diferencia



significativa ($p \leq 0.05$). En el día 7 y hasta el día 12 la dosis de 1000 Gy registró menor cantidad de vitamina C (16.80 mg/100g), mientras que la dosis de 150 Gy superó al grupo control con 33.13 mg/100g. En este periodo se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control con respecto a la dosis de 575 y 1000 Gy. La dosis de 150 Gy no se diferenció del control.

A 13°C (Fig. 42B) se observó el efecto de la irradiación gamma en la disminución de la vitamina C con respecto al control, ya que los tratados obtuvieron valores desde 64 hasta 67 mg/100g y el control de 75.87 existiendo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) desde el día primero. Para el día 7 la dosis de 1000 Gy incrementó inclusive por arriba del control hasta un valor de 66.18 mg/100g pero para el día 14 disminuyó de forma considerable hasta un valor de 22.22 mg/100g, al contrario de la dosis de 150 Gy, la cual fue en aumento llegando hasta un valor de 52.69 mg ácido ascórbico/100g. Se observó diferencia significativa entre todos los valores ($p \leq 0.05$).

En ambas temperaturas el control tuvo un comportamiento y valores similares. La dosis de 575 Gy llevó una tendencia muy cercana al control durante todo el desarrollo de maduración del fruto en 13 °C, a 150 Gy se vio un incremento en ambas temperaturas, lo contrario a 1000 Gy ya que sufrieron una mayor reducción de contenido de vitamina C, especialmente a 13°C.

La sensibilidad del ácido ascórbico a las radiaciones ionizantes fue estudiada por Loharanu (1971) en la variedad de mango “Okrong” y por Pablo *et al.* (1971) en mango “Carabao”. Ambos estudios coinciden que no existen pérdidas significativas de ácido ascórbico en mangos irradiados a 0.6 kGy (Pantastico, 1979). Bustos *et al.* (2004) aseguran que se registró una pérdida aproximada al 10% de ácido ascórbico en mangos irradiados en referencia al control, utilizando dosis de 300, 600 y 1000 Gy. Esto confirma los resultados antes descritos en éste trabajo.

El contenido de ácido ascórbico en los kiwis es conocido por ser rico en vitamina C y varios otros componentes antioxidantes. El ácido ascórbico es termolabile e hidrosoluble a la radiación. El ácido ascórbico en kiwis irradiados a 1 y 2 kGy y el control no tenían variación significativa. Durante el periodo completo de almacenamiento, los kiwis irradiados tenían



menor contenido de ácido ascórbico que el control. Al final del periodo de almacenamiento, todas las muestras mostraron un alto contenido de ácido ascórbico (Kim y Yook, 2009). Éste estudio se puede explicar para 20 °C pero a 13 °C se ve notablemente la disminución en la dosis alta (1 kGy)

En estudios realizados por González-Aguilar (2005) con irradiación UV- C en mangos 'Tommy Atkins' se encontró una disminución significativa ($p<0.05$) del contenido de ácido ascórbico y β -caroteno debido al tiempo de irradiación (1, 3, 5 y 10 minutos). En el caso del presente trabajo, a pesar de que el tratamiento aplicado a mangos fue con irradiación ionizante presentó un efecto similar a los reportados por González-Aguilar (2005) con irradiación UV-C.

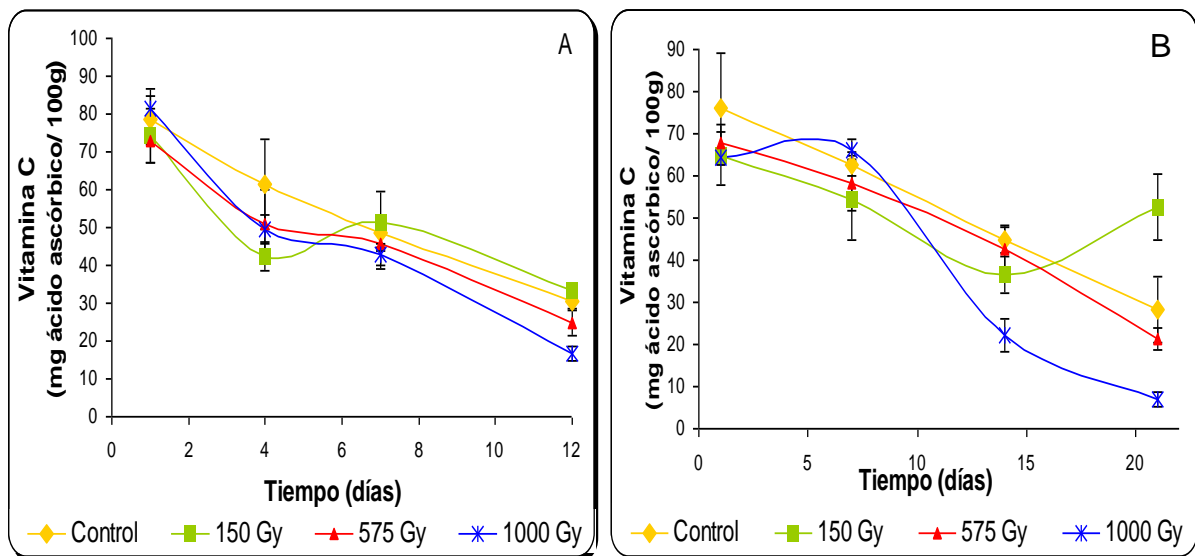


Figura 42. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la vitamina C del mango 'Ataulfo' almacenados a: (A) 20°C y a (B) 13°C y 85% H.R.

◆ **Respiración.**

La respiración se vio notablemente afectada en los mangos irradiados. En los primeros días se observó un incremento importante en la producción de CO₂ consecuencia del estrés provocado por la irradiación, tanto en los mangos almacenados a 20°C, como a 13°C. En estudios similares aplicando dosis de irradiación de 100 y 150 Gray a aguacate se registró un incremento inmediato en la intensidad respiratoria y permaneció mayor que en los frutos testigo (Arévalo – Galarza, 2002). Frylinck (1987) sostiene que los tratamientos por irradiación gamma en mangos provocan una condición de estrés que, dependiendo de la dosis, se puede



sobrellevar o manifestar en distorsión de los patrones bioquímicos durante las fases de maduración y senescencia.

En la figura 43A se muestra la respiración de los mangos almacenados a 20°C en donde se observó que inmediato al tratamiento la producción de CO₂ del grupo control fue de 91.21 mgCO₂/kgPFh, los mangos tratados a 150 Gy reportaron 259.12 mgCO₂/kgPFh, es decir 184% más; a 575 Gy la producción fue de 308.54 mgCO₂/kgPFh (incremento de 238%) y a 1000 Gy, 332 mgCO₂/kgPFh (263% más que el control).

A los dos días de almacenamiento se llegó a producir 465 mgCO₂/kgPFh en los frutos tratados a 1000 Gy, mientras que el grupo control produjo un promedio de 127 mgCO₂/kgPFh. Al día siete, la respiración se comenzó a normalizar convergiendo todos los tratamientos en el mismo rango de producción de CO₂. En los días subsecuentes continuaron las diferencias con la misma tendencia que los primeros días pero sin ser tan pronunciadas.

En los mangos almacenados a 13°C (Figura 43B), la mayor producción de CO₂ se registró al día siguiente de la irradiación, superando los mangos irradiados a dosis de 1000 Gy al grupo control a razón de 2.5:1 en cantidad. Posteriormente se normalizó la respiración y se minimizó la diferencia. No encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y los frutos tratados por irradiación a partir del octavo día. La producción de CO₂ no excedió los 210 mgCO₂/kgPFh en ninguno de los tratamientos.

La respuesta de la respiración frente a la temperatura de almacenamiento fue evidente. A 13°C, al retardar el mecanismo fisiológico (además del bioquímico y microbiológico) se prolongó la vida útil de los mangos hasta por 10 días. La diferencia en la producción de CO₂ fue mayor a 100 mgCO₂/kgPFh por efecto de las bajas temperaturas durante el primer día para dosis de 1000 Gy y para el grupo control fue de 10 mgCO₂/kgPFh.

Cabe mencionar que el incremento de la respiración no aceleró la maduración de los mangos.

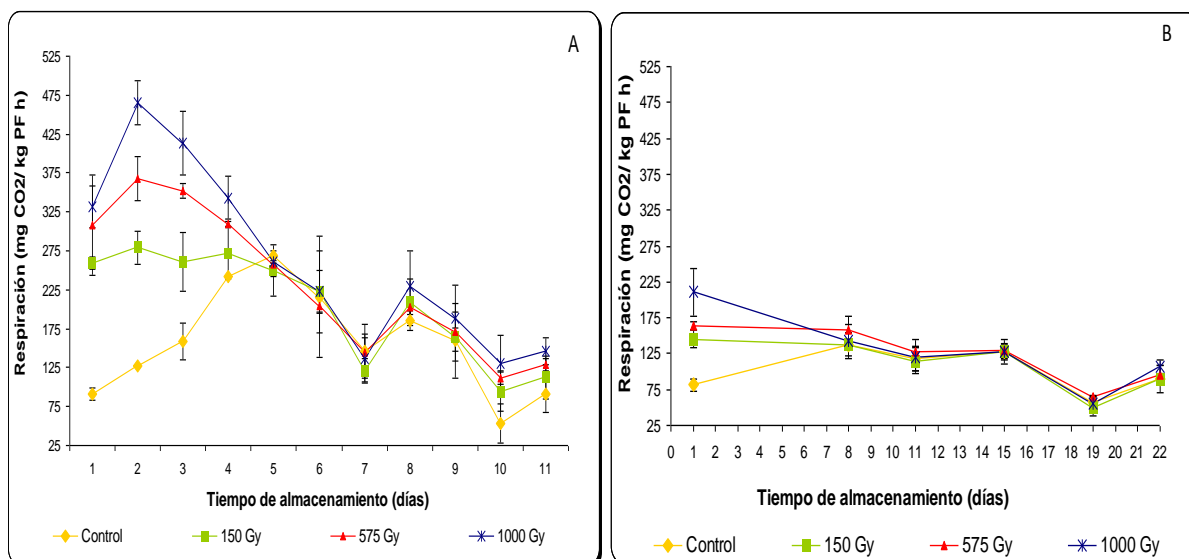


Figura 43. Efecto de diferentes dosis de irradiación gamma en la respiración del mango 'Ataulfo' almacenado a: (A) 20°C y (B) 13°C y (5% H.R.).

◆ Actividad Enzimática de PPO y PDO.

Muchos de los efectos químicos y físicos que se observan durante la maduración de los frutos son atribuidos a acciones enzimáticas. Se ha correlacionado el incremento de las actividades de las enzimas con una mayor eficiencia respiratoria de los frutos del mango (Pantástico, 1979).

La enzima peroxidasa (PDO), al igual que la polifenoloxidasa (PPO), se encuentran localizadas en la célula, parcialmente en forma soluble en el citoplasma y parcialmente insoluble en membrana celular. Éstas enzimas están involucradas en la degradación oxidativa de compuestos fenólicos (Tomás - Barberán *et al.*, 1997). Es característico, que los compuestos fenólicos, que actúan como sustratos de PPO y PDO, se encuentran en células especiales o en vacuolas, separados de las enzimas. Cuando sucede un daño mecánico o Fisiológico, como la irradiación, los sustratos y las enzimas entran en contacto y, en presencia de oxígeno, ocurre el pardeamiento enzimático. La solubilización puede ocurrir por daño en la membrana. (Frylinck *et al.*, 1987). Estos mecanismos modifican la calidad de frutos y vegetales. De hecho, el pardeamiento enzimático es el mayor fenómeno oxidativo que induce un desarrollo indeseable en el color, sabor y pérdida de nutrientes (Tomás - Barberán *et al.*, 1997).



El paso inicial del pardeamiento es la oxidación enzimática de fenoles en quinonas de débil color. Estas quinonas son entidades muy activas sujetas a varias reacciones permitiendo la formación de pigmentos de color intenso. Diferentes situaciones desencadenan el pardeamiento: fisiología durante la maduración, desordenes durante el almacenamiento y procesos tecnológicos que involucran lesiones (Tomás - Barberán *et al.*, 1997).

♦ **Actividad de Peroxidasa en piel y pulpa de mango.**

Se cree que la enzima peroxidasa es responsable del deterioro en sabor, color, textura y cualidades nutricionales en productos postcosecha. A pesar de que juega un importante rol en la fisiología de las plantas, su efecto en el pardeamiento enzimático está limitado a la disponibilidad de peróxido de hidrógeno (Tomás - Barberán *et al.*, 1997).

En la figura 44 se muestra la actividad residual a ambas temperaturas de almacenamiento, se observa una estimulación inicial de la enzima PDO, debido a la irradiación gamma. A 20°C (Fig 44A), ésta estimulación fue relativamente baja, llegó a ser un 50% mayor en dosis de 1000 y 575 Gy con respecto al control, posteriormente decreció y su actividad continuó por debajo del control durante el resto del desarrollo.

A 13°C (44B), la estimulación fue más pronunciada, ya que se prolongó hasta el día 7 y llegó a superar en 142 y 128%, la dosis de 1000 y 575 Gy respectivamente, al grupo control existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$), posteriormente y hasta la senescencia, la actividad de PDO se reguló y permaneció sin diferencia ($p \geq 0.05$) respecto al control.

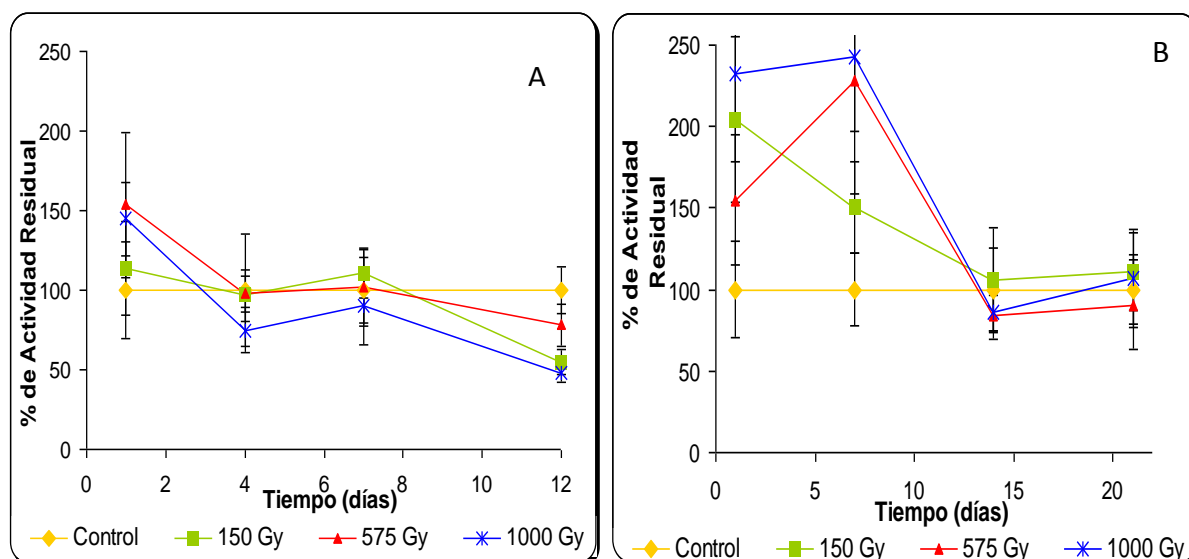


Figura 44. Porcentaje de actividad residual de peroxidasa en pulpa de mango irradiado y almacenado a: (A) 20°C y (B) 13°C y 85% H.R.

La actividad de peroxidasa en piel fue menor que en pulpa, sin embargo el efecto por irradiación gamma fue más notorio: En ambos casos, se observó mayor estimulación de la actividad de PDO a medida que se incrementa la dosis de irradiación gamma. En piel (Figura 45), en el periodo preclimático (día 1), a 20°C y 13°C, la diferencia de la dosis de 1000 Gy respecto al control llegó a ser 9 a 1 y de 8 a 1. A dosis de 575 Gy a 13°C, al igual que a 150 Gy, la relación fue de 5 a 1, con el control. Frylinck *et al.* (1987) asegura que la irradiación gamma afecta casi inmediatamente estimulando la actividad de PDO, el cual continua incrementándose constantemente durante la maduración hasta el punto climático, después del cual, la actividad declina. Se especula que este fenómeno está relacionado con la eliminación del peróxido de hidrógeno, el cual incrementa a medida que aumenta el estrés. El incremento de la actividad puede representar una reacción de protección inducida que provoca el retardo en la senescencia.

Nuevamente, a medida que transcurrían los días, las diferencias en actividad de peroxidasa por efecto de la irradiación gamma, decrecieron en ambos casos. Al finalizar la experimentación la actividad en dosis de 1000 Gy a 20°C excedió al control en 136 %, mientras que a 13°C el exceso fue de 280%. El resto de los mangos irradiados no presenta mayor diferencia.

La actividad de PDO se vio afectada por las condiciones de almacenamiento, reportándose mayor diferencia del control con respecto a los irradiados a 13°C que a 20°C.



Los resultados demuestran el estrés inmediato por la irradiación en la piel, ya que es la parte del fruto más expuesta a los rayos gamma, existiendo mayor diferencia entre dosis.

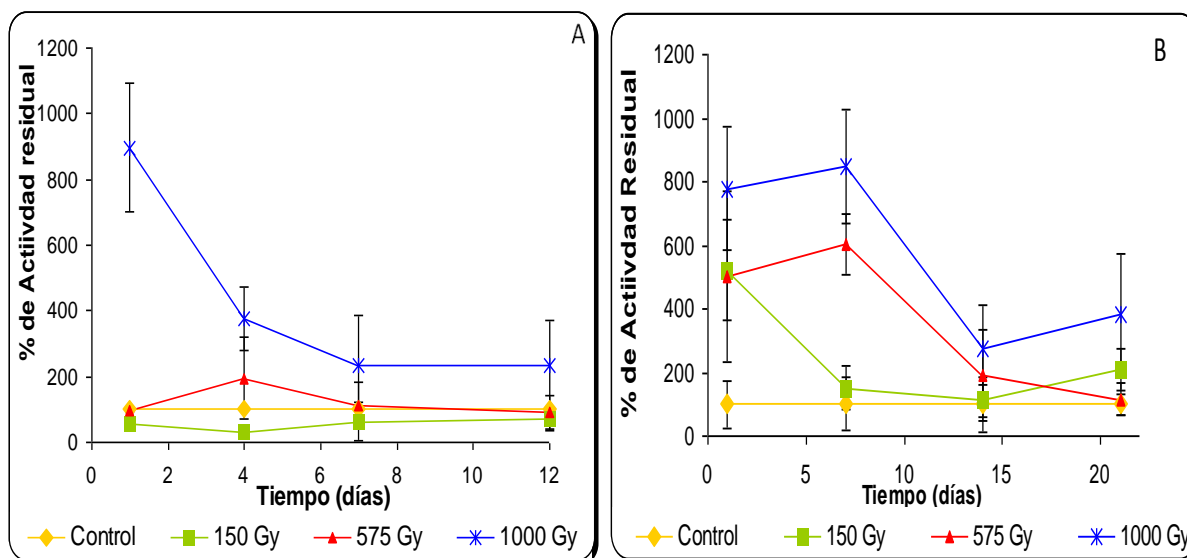


Figura 45. Porcentaje de actividad residual de peroxidasa en piel de mango irradiado y almacenado a: (A) 20°C y (B) 13°C y 85% H.R.

◆ **Actividad de Polifenoloxidasa en piel y pulpa de mango**

La enzima polifenoloxidasa está relacionada, en la mayoría de los casos, a la decoloración y pardeamiento de frutas y vegetales (Tomás - Barberán *et al.*, 1997). Se cree que la función fisiológica de la PPO se relaciona con mecanismos de defensa de microorganismos y virus patógenos.

En estudios realizados sobre el efecto de la irradiación gamma sobre la actividad de PPO en mangos, en relación al oscurecimiento de los tejidos inducido por radiación, se encontró que el incremento en las dosis de 1000 a 2000 Gy ocasionó un aumento considerable en dicha actividad. Se asegura que las manifestaciones externas de daños por radiación son paralelas al aumento de la actividad enzimática (Pantástico, 1971). Frylinck *et al* (1987) concuerdan al asegurar que los resultados obtenidos en mangos irradiados son dependientes de las dosis aplicadas, encontrando un incremento en la actividad de PPO al aumentar la dosis.

Los resultados en pulpa a 20°C (Fig. 46A) no guardan dicha relación, probablemente debido a que se aplicaron dosis más bajas. La mayor diferencia registrada respecto al control es



a dosis de 150 Gy durante el día 12, ya que superó en 115% la actividad enzimática de PPO. A dosis mayores, la diferencia fue menor: 73 y 34% para dosis de 575 y 1000 Gy.

Se ha sugerido que la irradiación causa daño en la membrana, lo cual ocasiona solubilización de PPO que se manifiesta en un aumento más rápido de la actividad en relación al grupo control (Frylinck, 1987). Esto se observó a 13°C (figura 46B) desde el día posterior al tratamiento ya que se registró un 120% más de actividad residual en dosis de 1000 Gy, un 55% más en dosis de 575 Gy y un 73% en dosis de 150 Gy con respecto al control, dichas diferencias son significativa ($p \leq 0.05$) excepto entre dosis de 150 y 575 Gy. Las proporciones continúan siendo mayores hasta el día 14, cuando se decrecen las diferencias con el control.

Un vez más, el porcentaje de actividad residual se vio incrementado por el almacenamiento a temperatura de refrigeración (13°C).

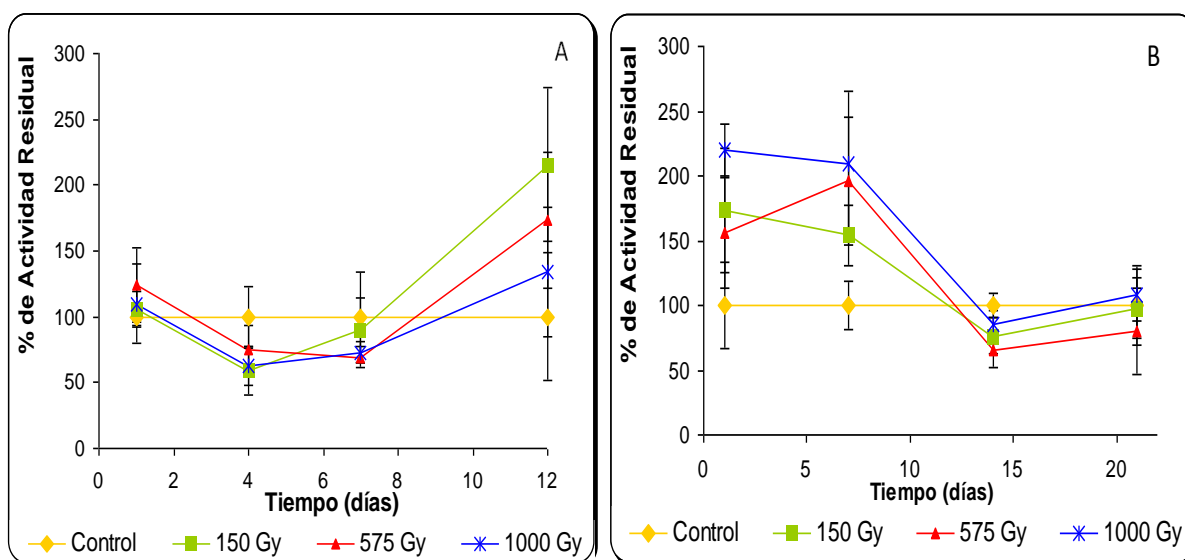


Figura 46. Porcentaje de actividad residual de polifenoloxidasas en pulpa de mango irradiado y almacenado a: (A) 20°C y (B) 13°C y 85% H.R.

La actividad de PPO es generalmente máxima en estadios tempranos de maduración, los cambios en la actividad son acompañados con cambios en la solubilidad de la enzima. Los cambios en la actividad de PPO durante el almacenamiento frecuentemente son contradictorios, algunas veces se reporta un incremento, pero frecuentemente permanece constante (Tomás - Barberán *et al.*, 1997).



La actividad residual de la enzima polifenoloxidasas en piel de mango no varió significativamente ($p \geq 0.05$) entre los mangos control y los tratados con irradiación y almacenados a 20°C (Fig.47A). El comportamiento en dosis de 150 y 575 Gy es irregular, mostrando inicialmente un descenso seguido de un aumento en proporción con el control. La tendencia de la dosis de 1000 Gy es constante, con diferencias que van desde 33% a 10% con respecto al control. Los mangos que fueron almacenados a 13°C (Fig. 47B) sí reportan diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control durante los primeros 7 días. A dosis de 1000 Gy comenzó siendo superior al control en un 111%, continuó constante (110%) y posteriormente disminuyó hasta tener diferencias insignificantes ($p \geq 0.05$). La dosis de 575 Gy tuvo comportamiento irregular a lo largo del tiempo, sin embargo permaneció dentro del rango y sólo se registró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) durante el día 7 (118%).

Posterior a la irradiación, la dosis de 150 Gy excedió en un 58% al grupo control, en los días subsiguientes disminuyó la diferencia a 11% para finalizar prácticamente igual. No registró diferencias significativas ($p \geq 0.05$).

En estudios realizados con plátanos y mangos la actividad fue mayor en frutos irradiados sugiriendo que este incremento se deba a cambios en la conformación, activación de enzimas latentes o *de novo* síntesis. Esto se observó únicamente en los mangos almacenados a 13°C, lo que sugiere una estimulación a causa de la temperatura. Se ha reportado que el mango contiene PPO latente (Tomás - Barberán *et al.*, 1997).

La actividad total de PPO fue mucho menor a temperatura de refrigeración, ya que los procesos bioquímicos son retardados.

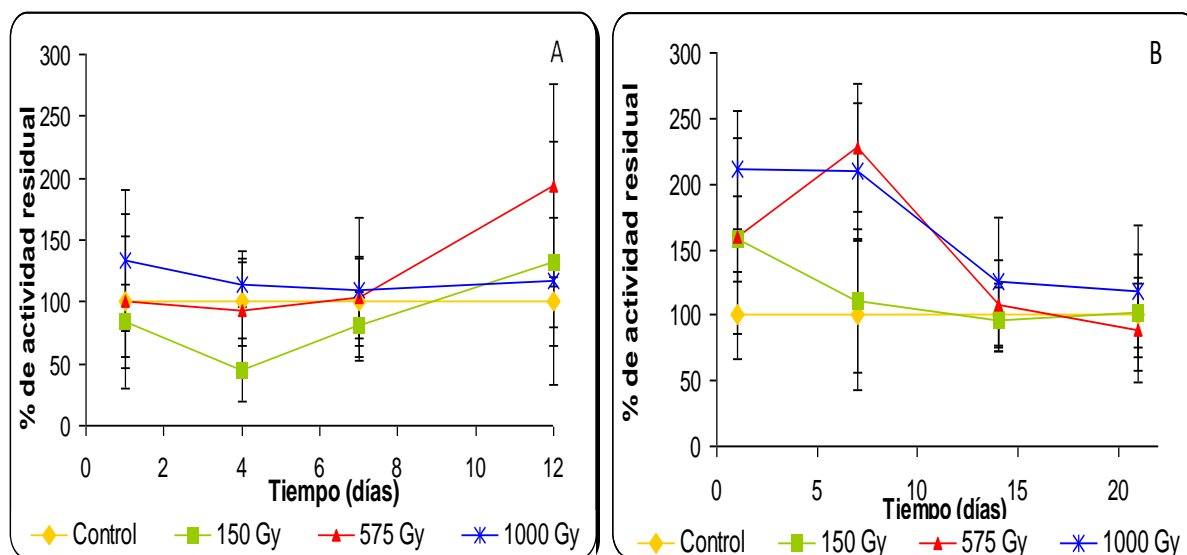


Figura 47. Porcentaje de actividad residual de polifenoloxidasas en piel de mango irradiado y almacenado a: (A) 20°C y (B) 13°C y 85% H.R.

3. Efecto de la irradiación gamma en parámetros sensoriales del mango ‘Ataulfo’.

La evaluación sensorial es una disciplina de la química analítica de los alimentos y se ocupa de los métodos y procedimientos de medición en los cuales los sentidos humanos constituyen el *instrumento* (Torricela *et al.*, 2007). El ser humano, es capaz de determinar atributos que mediante otros métodos analíticos no podrían ser estudiados.

Los productos serán bien aceptados por el consumidor si, además de inocuidad y valor nutrimental, tienen un excelente perfil sensorial. La primera impresión del consumidor hacia un alimento es cómo lo visualizan, de ello dependerá si la persona se decide por el producto o mira más allá en el anaquel (Torricela *et al.*, 2007).

Los atributos sensoriales de un alimento como color, olor, sabor, apariencia y textura deben ser evaluados constantemente para garantizar la calidad sensorial de este (Torricela *et al.*, 2007).

La evaluación sensorial por atributos aplicada a mangos irradiados y almacenados a 20°C se muestra en la tabla 23 y figura 48.



La apariencia de todas las muestras de mango, se describió entre ni agradable ni desagradable y agradable con valores de 3.52 a 3.72 sin diferencia significativa ($\rho \geq 0.05$) entre el control y los tratamientos. El color se calificó en el mismo rango que la apariencia con valores entre 3.52 y 3.96, sin presentar diferencia significativa. El valor asignado al aroma en los tratamientos fue menor a 3, es decir, ligeramente aromático, sin embargo sólo se presentó diferencia significativa ($\rho \leq 0.05$) entre la dosis de 1000 Gy (2.44) y el control (3.2), describiéndose esta última como ni agradable ni desagradable.

La textura se percibió ligeramente dura en los mangos tratados a dosis de 150 Gy mientras que, los tratados a dosis de 575 Gy presentaron la mayor calificación dentro del rango de “ni duro ni suave”. El sabor se describió menos dulce a medida que aumentaba la dosis, sin embargo no hay diferencia significativa ($\rho \geq 0.05$) entre el control, la dosis de 150 y 575 Gy.

Tabla 23. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 20°C.

TRATAMIENTO/ ATRIBUTO	CONTROL	150 Gy	575 Gy	1000 Gy
APARIENCIA	3,68 \pm 1.10 a	3,72 \pm 1.02 a	3,52 \pm 0.91 a	3,72 \pm 0.93 a
COLOR	3,96 \pm 0.97 a	3,8 \pm 0.86 a	3,8 \pm 0.7 a	3,92 \pm 0.7 a
AROMA	3,2 \pm 1.11 a	2,56 \pm 1.08 abc	2,72 \pm 1.27 abc	2,44 \pm 1.15 c
TEXTURA	3,36 \pm 1.11abc	2,84 \pm 0.8 a	3,44 \pm 0.82 c	3,04 \pm 0.78 abc
SABOR	3,8 \pm 0.81 a	3,56 \pm 0.82 a	3,32 \pm 0.98 a	2,52 \pm 1.19 b

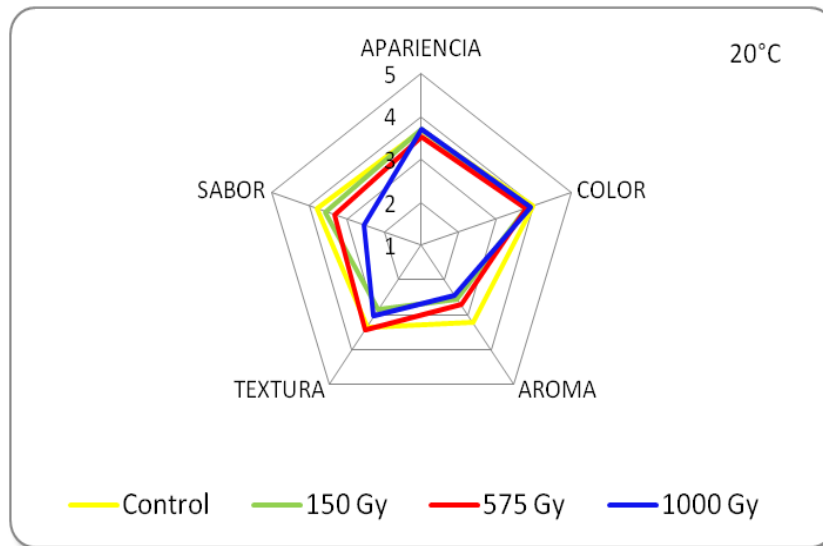


Figura 48. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 20°C.

En la tabla 24 y figura 49, se muestran los resultados de la prueba de atributos en mango irradiado a 150, 575 y 1000 Gy y almacenado a 13°C.

Estudios previos sostienen que el color, olor y sabor en mangos irradiados usando dosis máxima de 1000 Gy y almacenados 15 días a 12°C fueron iguales que los no irradiados (Bustos, 2004). Nuestro panel calificó la apariencia de las muestras entre ni agradable ni desagradable y agradable, 3.92 para el control, 3.88 para 150 Gy, 3.24 para 575 Gy y 3.56 para 1000 Gy, favoreciendo significativamente ($p \leq 0.05$) al grupo control y al sometido a dosis de 150 Gy. El color peor calificado correspondió a la dosis de 575 Gy seguida de la de 1000 Gy (3.56 y 3.6 respectivamente).

En cuanto al aroma el panel coincidió en que las muestras fueron ligeramente aromáticas sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos. Los mangos irradiados y almacenados a 20°C desarrollaron mejor este parámetro. La textura de los mangos sometidos a dosis de 150 Gy resultó descrita como suave (3.92), mientras que el resto ni duro ni suave. Se percibió sabor ácido en todas las muestras excepto en la dosis de 150 Gy.



Tabla 24. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 13°C.

TRATAMIENTO/ ATRIBUTO	CONTROL	150 Gy	575 Gy	1000 Gy
APARIENCIA	3,92 ± 1.03 a	3,88 ± 0.83 a	3,24 ± 0.96 ab	3,56 ± 1.08 b
COLOR	4,2 ± 0.81 ab	4,32 ± 0.69 a	3,56 ± 0.86 c	3,6 ± 1 bc
AROMA	2,84 ± 1.34 a	2,72 ± 1.02 a	2,56 ± 1.15 a	2,56 ± 1.29 a
TEXTURA	3,88 ± 0.97 ab	3,92 ± 0.75 a	3,36 ± 0.90 bc	3,08 ± 0.99 c
SABOR	2,6 ± 0.91 b	3,44 ± 0.82 a	2,56 ± 1.04 b	2,32 ± 1.02 b

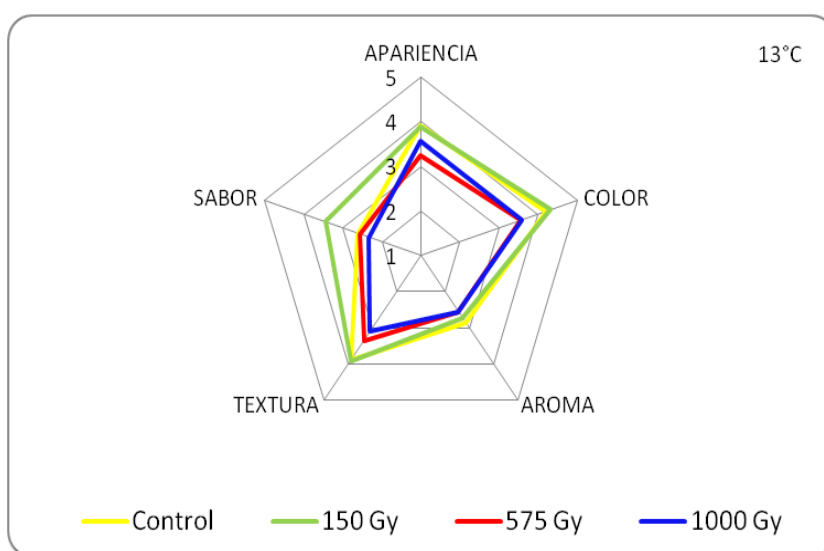


Figura 49. Prueba de atributos (apariencia, color, aroma, sabor y textura) en mango 'Ataulfo' irradiado a 3 dosis diferentes y almacenado a 13°C.

En relación a la temperatura de almacenamiento, el sabor de los mangos a 13°C se percibió más ácido que los almacenados a 20°C, (Tabla 23 y 24) esto no influyó en que se calificara mejor a los mangos almacenados a 13°C en la prueba de preferencia (Tabla 25). Cabe señalar que, al tener tiempo de vida útil diferente, no se puede asegurar la equivalencia en el estado de maduración comercial.

Tabla 25. Prueba de preferencia de muestras irradiadas de mango 'Ataulfo' y almacenadas a 20 y 13°C.

	Control	150 Gy	575 Gy	1000 Gy
20°C	7.04 ± 1.69	7.6 ± 1.77	6.4 ± 1.87	6.68 ± 1.99
13°C	7.15 ± 1.46	7.3 ± 1.32	7.13 ± 1.42	6.86 ± 1.90



Los valores de la tabla 25 son el promedio del valor asignado por el panel en función de la preferencia, donde 0 es desagradable y 10 agradable.

El resultado del análisis sensorial de preferencia muestra una inclinación favorable hacia los mangos tratados a dosis 150 Gy a ambas temperaturas de almacenamiento con una puntuación de 7.6 y 7.3. A 13°C, la calificación más baja corresponde a los mangos tratados a dosis de 1000 Gy (6.86), mientras que a 20°C, esta posición corresponde a la dosis de 575 Gy (6.4). Cabe mencionar que la desviación estándar es relativamente alta esto se debe a que la prueba fue realizada por panelistas no entrenados y provocó diferencia en las evaluaciones de las muestras existiendo una diferencia significativa a 575 Gy.

Por lo anterior se deduce que el efecto de la irradiación gamma en la evaluación sensorial es imperceptible a dosis de 150 Gy, mientras que a dosis mayores disminuye la aceptación del producto, debido al retraso en la senescencia del fruto por efecto del tratamiento de irradiación. Las dosis aplicadas de irradiación gamma en mangos tuvieron efecto en algunos parámetros evaluados.

En los parámetros de calidad se observaron efectos principalmente durante el periodo de senescencia, es decir, los días 12 y 21 para 20 y 13°C.

La irradiación no afectó la apariencia de los mangos durante el preclimaterio y el inicio del climaterio. Sin embargo, a partir del máximo climaterio se observó que los mangos tratados a dosis de 575 y 1000 Gy, continuaban parcialmente verdes mientras que, los tratados a 150 Gy y el control presentaron colores amarillos. En general, los mangos almacenados a 13°C presentaron tonos pálidos. La luminosidad de la piel de los mangos almacenados a 20°C no presentó diferencia significativa entre el control y los tratados, a diferencia de los almacenados a 13°C donde se obtuvieron menores valores conforme se incrementaba la dosis durante los últimos días de maduración. Esto es congruente con la apariencia descrita.

Para el 12° día, a 20°C, el comportamiento de sólidos solubles totales del control y los mangos tratados comenzó a diferenciarse, siendo el control el de mayor concentración.

Los mangos irradiados a dosis 575 y 1000 Gy presentaron una tendencia similar de firmeza durante la mayor parte de la maduración conservando niveles superiores que el control a ambas temperaturas.



El incremento del pH fue menor a medida que se aumentaba la dosis. Los mangos almacenados a 20°C tuvieron mayores valores que los almacenados a 13°C.

Los mangos tratados describieron una tendencia de menor cantidad de ácido cítrico con respecto al control durante los primeros 7 días, esta situación se invirtió para finalizar con valores mayores conforme se incrementaba la dosis.

El grupo control tendió a perder mayor cantidad de peso que los mangos tratados con irradiación gamma, sin embargo no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro.

Se observó el efecto de la irradiación gamma en la disminución de la vitamina C con respecto al control, la diferencia fue significativa ($p \leq 0.05$).

La respiración se vio notablemente afectada en los mangos irradiados. En los primeros días se observó un incremento importante en la producción de CO₂ consecuencia del estrés provocado por la irradiación, tanto en los mangos almacenados a 20°C, como a 13°C. En los días subsecuentes continuaron las diferencias pero sin ser tan pronunciadas.

Se observó una estimulación inicial de las enzimas PDO y PPO, debido a la irradiación gamma principalmente en los mangos almacenados a 13°C.

A 13°C, la estimulación de PDO en pulpa se prolongó hasta el día 7 y llegó a superar en 142% y 128%, la dosis de 1000 y 575 Gy respectivamente, al grupo control, mientras que a 20°C sólo fue del 50%. En piel, en el periodo preclimático (día 1), a 20°C y 13°C, la diferencia de la dosis de 1000 Gy respecto al control llegó a ser 9 a 1 y de 8 a 1. A dosis de 575 Gy a 13°C, al igual que a 150 Gy, la relación fue de 5 a 1, con el control. La actividad de peroxidasa en piel fue menor que en pulpa, sin embargo el efecto por irradiación gamma fue más notorio.

Los resultados de PPO en pulpa a 20°C no reflejaron efecto asociado a la irradiación gamma. En 13°C se registró un 120% más de actividad residual en dosis de 1000 Gy, un 55% más en dosis de 575 Gy y un 73% en dosis de 150 Gy con respecto al control después del tratamiento. Posteriormente disminuyeron las diferencias.

La actividad residual de la enzima PPO en piel de mango no varió significativamente ($p \geq 0.05$) entre los mangos control y los tratados con irradiación y almacenados a 20°C. Los mangos



irradiados y almacenados a 13°C sí reportaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control durante los primeros 7 días en dosis de 575 y 1000 Gy.

El análisis sensorial mostró que las principales diferencias en los atributos de los mangos fueron el sabor y aroma, ya que se describieron más ácidos y menos aromáticos a medida que se incrementaba la dosis en los mangos almacenados a 20°C. En mangos almacenados a 13°C, el aroma no registró diferencia significativa. El sabor de los mangos tratados a dosis de 150 Gy se percibió más dulce que el resto. En cuanto a preferencia se observó una inclinación favorable hacia los mangos tratados a dosis 150 Gy a ambas temperaturas de almacenamiento con una puntuación de 7.6 y 7.3. A 13°C, la calificación más baja correspondió a los mangos tratados a dosis de 1000 Gy (6.86) mientras que a 20°C, esta posición correspondió a la dosis de 575 Gy (6.4).



V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados presentados en el presente trabajo se concluye:

- El efecto de la irradiación gamma sobre organismos vivos es complejo, depende de diversos factores como la estructura, composición, estado de maduración o de desarrollo, así como de factores externos como las condiciones de almacenamiento.
- La irradiación distorsiona ciertos procesos bioquímicos de modo que la senescencia es retardada. Esto explica el hecho de que los mangos irradiados no lograron desarrollar las características organolépticas de los mangos control.
- Los parámetros de calidad (sólidos solubles, pH, acidez) mostraron un comportamiento gradual de retardo de senescencia en función a la dosis aplicada. Los efectos más significativos se dieron en las dosis altas, mientras que a 150 Gy se produjeron cambios mínimos con respecto al grupo control. La firmeza y la pérdida de peso no registraron diferencias significativas. La vitamina C se vio reducida por causa de la irradiación. El efecto sobre la respiración fue notoriamente marcado al mostrar un estado de estrés inicial en los mangos irradiados a ambas temperaturas de almacenamiento.
- Los efectos en la respiración y actividad enzimática se registraron durante los primeros días posteriores al tratamiento, los efectos en los parámetros de calidad, apariencia y nutrimentales se observaron al finalizar la vida útil del mango.
- La actividad de PDO se vio estimulada por efecto de la irradiación durante los días posteriores al tratamiento tanto en piel como en pulpa. La actividad de PPO no se diferenció significativamente en función al tratamiento a 20°C, sin embargo sí hubo diferencia a 13°C. El porcentaje de actividad residual se vio potencializando por el almacenamiento a temperatura de refrigeración (13°C).
- Los efectos adversos encontrados recaen principalmente en las quemaduras en la piel observadas en los mangos sometidos a dosis altas (1000 Gy), (cuando se irradia varios



días después de la cosecha) y el pardeamiento de la pulpa tras ser pelado y cortado. Este último efecto comenzó a manifestarse conforme pasaba el tiempo, sin embargo, a dosis de 150 Gy el pardeamiento fue mínimo.

- El análisis sensorial demostró que el efecto de la irradiación gamma es prácticamente imperceptible a dosis de 150 Gy, en parámetros como apariencia, color, aroma, textura y sabor mientras que a dosis mayores disminuye la aceptación del producto.
- El tratamiento cuarentenario de irradiación gamma en mangos Ataulfo resultó adecuado a dosis baja (150 Gy) ya que el efecto en los parámetros de calidad, enzimáticos y sensoriales fueron mínimos.
- La temperatura de almacenamiento prolongó la vida útil hasta por 9 días, por lo que la extensión de la vida útil producido por la irradiación pasa a segundo término.
- Comparado con otros tratamientos cuarentenarios, la irradiación gamma es recomendable por la tolerancia que presentan los productos, la rapidez del tratamiento, reducción en el uso de un recurso natural como es el agua, y porque es un tratamiento aceptado internacionalmente que, con dosis adecuadas, cumple con el requisito del control de la mosca de la fruta para su exportación.



VI. RECOMENDACIONES

1. Estudiar el efecto y las dosis adecuadas de irradiación gamma para cada organismo previo a su aplicación a nivel industrial.
2. Evaluar el efecto de la irradiación gamma en el control de la mosca de la fruta en diferentes variedades de mango como ‘Haden’, ‘Ataulfo’, ‘Manila’, ‘Kent’ y ‘Tommy Atkins’.
3. Estudiar el efecto de la irradiación en el control de antracnosis y otras enfermedades.
4. Evaluar el efecto de la irradiación en el control de patógenos como E. coli y Salmonella.

**VII. REFERENCIAS**

- 1 Alcérreca, M.I. (2007a). Taller sobre uso de irradiación como tratamiento fitosanitario. *Revista Contacto Nuclear*, No. 48, pp. 7.
- 2 Alcérreca, M.I. (2007). La irradiación de alimentos, su Normativa y Etiquetado. *Revista Contacto Nuclear* No.48, pp. 13
- 3 AOAC (1990). *Oficial Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Food Composition; Additives, Natural Contaminants*, Volume two. Published by the Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 15^a Edition, 1298 pp. 1298.
- 4 Arévalo-Galarza, L. (2002). *Maduración de frutos de aguacate Hass tratados con radiación gamma*, Artículo. México. Disponible en:
<<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2002/nov-dic/art-4.pdf>>
- 5 Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFrucol) (2003) Las moscas de las frutas. *Revista Frutas y Hortalizas*. Disponible en:
<<http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/mosca.php>>
- 6 Bentley, A. (2009), La irradiación permite por primera vez la exportación de mangos Manila a los EE.UU. El periódico de Negocios de la Industria de Frutas y Hortalizas. Periódico The Packer. Disponible en:
<<http://www.thepackerenespanol.com/ArticleLanding/tabid/54/Default.aspx?tid=1&cid=365193>>
- 7 Bustos, M. E.; Enkerlin, W.; Reyes, J. y Toledo, J. (2004), Irradiation of Mangoes as a Postharvest Quarantine Treatment for Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*. 97(2): 286-292.
- 8 Bustos, M.E. y F. Rocabado (1991). Irradiación de Alimentos, *Memoria del Seminario Nacional* Realizado en México, DF, Noviembre de 1990, OPS/OMS/SSA/ININ, México.
- 9 Cadena Agroalimentaria del Mango (2003) Red para el desarrollo sostenible de México, A.C, México.
- 10 Cano, M. P. O., Marin, M. A. y Fuster, C. (1997) Differences among Spanish and Latin American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 59: 411 – 419.



- 11 Codex Alimentarius (2003). Revised Codex General Standard for irradiated Foods. Disponible en: <www.codexalimentarius.net/download/standards/16/CXS_106e.pdf>
- 12 Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, (2006). *Perfil del Mango*. Gobierno del Estado de Veracruz. Diciembre., pp 2.
- 13 Cortez, E. y Orduño, F. (2008) Manejo integrado de escama parlatoria en mango, Fundación Produce, Sinaloa A. C., México. Disponible en: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=section&id=8&layout=blog&Itemid=371&limitstart=63>
- 14 Doreyappa-Gowda, I. N. y Huddar, A. G. (2001). Studies on ripening changes in mango (*Mangifera indica L.*) fruits. *Journal of Food Science and Tecnology*, 38: 135-137.
- 15 Figueroa, V. P., González, R. D.; Palmeros, M. G. (2002) *El mango en México y el Mundo*. Consejo Nacional de Productores de Mango A.C. Disponible en: <<http://conpromango.com.mx/primer.html>>
- 16 Food and Water watch (2006) Status of Food Irradiation Around the World. Disponible en: <<http://www.foodandwaterwatch.org/world/publications/reports/food-irradiation-status-2006>>
- 17 Freire, M. (2006) *A comparative analysis from the effects of gamma irradiation of mangoes cv. Tommy Atkins to different storage conditions*, Artículo. Brasil. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/2006926.html>
- 18 Frylinck, L., Dubery, I. y J. Schabort, (1987). Biochemical Changes involved in stress response and ripening behaviour of gamma-irradiated mango fruit. Atomic Energy Corporation Research Group for Radiation Biochemistry. Department of Biochemistry, Rand Afrikaans University, Johannesburg, South Africa *Phytochemistry*. 26. (3): 681-686.
- 19 Galán-Saúco, V. (1999). *El cultivo del mango*. Ed.. Mundi-Prensa, España, pp. 298.
- 20 Gobierno del Estado de Aguascalientes (2008) Comenzó la exportación de Guayaba a los Estados Unidos de Norteamérica, Boletín No. 4049. Disponible en <http://www.phytosan.com/documents/Guayaba_de_exp.pdf>
- 21 González, D. M. y González, V. (2001). Efecto de factores combinados (Irradiación y Temperatura) sobre la estabilidad química del aguacate Hass (*Persea americana Mill*). Tesis Licenciatura, UNAM, México.



- 22 González-Aguilar G.A. (2005). *Irradiación (UV-C) de mango fresco cortado y su efecto en la capacidad antioxidante*, Artículo, México. Disponible en: <<http://www.horticom.com/pd/imagenes/65/983/65983.pdf>>
- 23 IAEA – FAO, (1973). *Radiation Preservation of Food, Proceedings of a Symposium*, , Vienna, pp774.
- 24 ICGFI (1999). Facts about food irradiation a series of Fact Sheets from International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), *International Consultative Group on Food Irradiation*, Vienna.
- 25 Kim, K., Yook, H., (2009). *Effect of gamma irradiation on quality of kiwi fruit (Actinidia deliciosa var. deliciosa cv. Hayward)*. Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea.
- 26 La Jornada (2009) Estudian insectos que afectan exportaciones, La Jornada en la ciencia, México. Disponible en < <http://ciencias.jornada.com.mx/ciencias/noticias/estudian-insectos-que-afectan-exportaciones>>
- 27 Landgraf, M.; Goularte, L.; Martins, A.; Cestari, T. Nunes (2006). Use of Irradiation to Improve the Microbiological Safety of Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Revista Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin*, IAEA TECDOC Series No. 1530, pp. 41- 59.
- 28 Lees, R. (1980) *Análisis de los Alimentos, Métodos Analíticos y de Control de Calidad*, Ed. Acribia, Zaragoza, España, pp. 288.
- 29 Litz, R. (2000) *The Mango. Botany, Production and Uses*, Edit CAB International, UK, pp. 587.
- 30 Lombrana, J. (2008) US exports requirements for Mexican Mangoes. Disponible en: <<http://www.phytosan.com/documents/USexportsRequirements4MexicanMangoes.pdf>>
- 31 Lowry, O., Rosebrough, N., Lewis, A., Randall, R. (1951), *Protein measurement with the folin phenol reagent*, Artículo The Journal of biological chemistry, 193: 265-275. Disponible en: <<http://www.jbc.org/cgi/reprint/193/1/265>>
- 32 Mc Guire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hort Science*, **27**:1254-1255.



- 33 Mitchell, G. E.; Mclauchlan, R. L.; Isaacs, A. R.; Williams, D. J y Nottingham, M. (1992) Effect of Low Dose Irradiation on Composition of Tropical Fruits and Vegetables, *Journal of Food Composition and Analysis*, 5, 291- 3 11.
- 34 Molins, R. A. (2004). *Irradiación de Alimentos. Principios y Aplicaciones*, Ed. Acribia. pp.490.
- 35 Molins, R. A. (2001). *Food Irradiation. Principles and Applications*, Wiley – Interscience, USA, pp 469.
- 36 Montoya, P.; Liedo, P.; Benrey, B.; Cancino, J.; Barrera, J.; Sivinski, J. y Aluja, M. (2000) Biological Control of *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in Mango Orchards through Augmentative Releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) *Biological Control* No. 18, pp 216 –224.
- 37 Morton, S. (1997). *La Irradiación de los Alimentos*, Acribia, España, pp 175.
- 38 Olvera, R. (2008) Proceso de Irradiación, Comunicación oral en Seminario impartido en la Empresa Sterigenics, México.
- 39 Ortiz, S. (2004). *Control Químico de la mosca de la fruta del mango en Variedades Tommy Atkins y Haden*, Artículo, México. Disponible en: <http://www.oaxaca.gob.mx/seder/investigacion/inv_03.pdf>
- 40 Pantastico, E.R. B. (1979) *Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*, C. E. C. S. A., México, pp. 663.
- 41 Pearson, D. (1998). *Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos*. Ed. Acribia. S.A. 3ª, reimpresión. Zaragoza, España, pp 331.
- 42 Primo, Y. E. (1998). *Química de los Alimentos*, Editorial Síntesis, España, pp. 461.
- 43 SAGARPA (2007). *Síntesis Ejecutiva del Cultivo del Mango en el Estado de Chiapas*. Disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/chiapas/agricultura/Perennes/mango.htm>>
- 44 SAGARPA/SE, (2005) PC-005-2005 Pliego de Condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Mango.
- 45 SCFI (2006). NMX-FF-058-SCFI-2006 Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – Fruta fresca- Mango (*Mangifera indica* L.) – Especificaciones.
- 46 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (1997). NOM-075-FITO-1997. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta.



- 47 Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER) (2007). Paquete tecnológico para el cultivo de mango en el Estado de Colima. Disponible en: <<http://seder.col.gob.mx/Paquetes/MANGO.pdf>>
- 48 SENASICA/DGSV/SAGARPA (2008) Programa Nacional Contra la Mosca de la Fruta. Disponible en: < <http://www.senasica.sagarpa.gob.mx>>
- 49 SENASICA/DGSV/SAGARPA (2004) Apéndice técnico para la identificación de moscas de la fruta. pp 7, 17, 18,19.
- 50 SSA (2005). Aviso de la Cancelación de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA-1993, Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, publicada el 3 de julio de 1995, Diario Oficial de la Federación.
- 51 SSA (1993). NOM-033-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en Alimentos, Materias primas y Aditivos Alimentarios.
- 52 Tomás -Barberán, F. A., y Robins, R. J. (ed.) (1997). *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*, Oxford Science Publication, USA, pp 375.
- 53 Torricela, R. Zamora E., Pulido H., (2007) Evaluación sensorial aplicada a la investigación, desarrollo y control de la calidad en la industria alimentaria. Editorial Universitaria, Cuba.
- 54 Urbain, W. M. (1986) *Food Irradiation*, Academic Press, Inc. USA, pp 351.
- 55 USDA/APHIS-SAGARPA/DGSV (2008). Plan de Trabajo para el Tratamiento y Certificación de Mangos Mexicanos, Temporada 2008. Disponible en: <<http://148.243.71.63/default.asp?doc=1276>>
- 56 Viljoen, B.; I. Dubery y J. Schabort, (1987). The Effect of gamma-radiation on the NADP-Malic enzyme from Mango fruit, *Mangifera Indica-- II*. Kinetic and Regulatory Properties. AEC-Research Group For Radiation Biochemistry, Department of Biochemistry, Rand Afrikaans University, Johannesburg, South Africa *Int. J. Biochem* No. 9 pp. 837-841.
- 57 Wills, R.G; Mc Glasson, W. B; Graham, D; Lee, T. G y Hall, E. G, (1998), Introducción a la Fisiología y Manipulación Poscosecha de Frutas, Hortalizas y Plantas Ornamentales, Editorial Acribia, 2ª ed, España. pp.176.
- 58 Yahia, E., Ornelas, J. y R, Ariza, (2006) *El Mango* Ed. Trillas, México, pp 224.



VIII. ABREVIATURAS

APHIS-IS = Animal and Plant Health Inspection Service – International Services.

DGSV = Dirección General de Sanidad Vegetal.

E1 = Preclimaterio

E2 = Inicio del climaterio

E3 = Máximo climaterio

E4 = Postclimaterio

Gy= Gray

JECFI = Joint Expert Committee on Food Irradiation

POD = Peroxidasas

PPO = Polifenol oxidasa

SAGARPA = Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SCFI = Secretaría de Comercio y Fomento Industrial

SST = Sólidos solubles totales

USDA = United States Department of Agriculture