



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EFECTOS DE LA IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA
CALIDAD Y PERFIL AROMÁTICO EN FRUTOS DE MANGO
CV ‘ATAULFO’ ”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

LILIAN ALEJANDRA MALDONADO MANDUJANO

DIRIGIDA POR

Dr. EDMUNDO MERCADO SILVA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2011.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Edmundo Mercado Silva por la dirección para la realización de este trabajo.

A la Dra. Teresita Martin del Campo Barba por el asesoramiento y aportaciones realizadas en esta investigación.

A los miembros del comité por el apoyo brindado para la culminación de este trabajo.

A la UAQ y al ITESM campus Querétaro por las facilidades otorgadas.

Al National Mango Board por el financiamiento del proyecto.

Dedicatoria

A David porque los abrazos, la paciencia, el amor incondicional y todo tú ser estuvieron siempre presentes para mí cuando más los necesite.

A mis amigas, porque un amigo es quien nos muestra el rumbo y recorre con nosotros parte del camino, gracias por hacer de esta etapa la más maravillosa.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
INDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	
I.INTRODUCCIÓN	1
II.ANTECEDENTES	3
II.1 Taxonomía	3
II.2 Características del mango	3
II.2.1 Características del fruto	3
II.2.2 Valor nutricional	4
II.2.3 Variedades más cultivadas en México	6
II.2.3.1 Haden	6
II.2.3.2 Tommy Atkins	6
II.2.3.3 Manila	7
II.2.3.4 Kent	7
II.2.3.5 Keitt	8
II.2.3.6 Ataulfo	8
II.3 Factores precosecha que afectan la calidad	9
II.3.1 Riego	9
II.3.2 Fertilización	9
II.3.3 Zona de cultivo	10
II.4 Factores poscosecha que afectan la calidad.	10
II.4.1 Enfermedades, plagas y su control	11
II.4.1.1 Cenicilla polvorienta	11
II.4.1.2 Antracnosis	12
II.4.1.3 Moscas de la fruta	12
II.4.1.4 Trips	14

II.4.1.5 Hormigas	14
II.5 Plaga cuarentenaria del mango	15
II.5.1 Tratamiento hidrotérmico	15
II.6 Alternativas de tratamiento cuarentenarios	16
II.6.1 Tratamiento por aire forzado	16
II.6.2 Atmósferas modificadas y atmósferas controladas	16
II.6.3 Zonas libres de moscas	17
II.6.4 Irradiación	17
II.7 Normatividad	18
II.7.1 Efectos de la irradiación sobre frutas y vegetales	19
II.7.1.1 Pérdida de vitaminas	20
II.7.1.2 Creación de radicales libres	20
II.7.1.3 Cambios organolépticos	20
II.7.1.4 Compuestos volátiles	21
II.7.2 Dosimetría	21
II.8 Importancia comercial del mango en México	23
II.8.1 Exportación del mango	24
II.8.1.1 Requisitos fitosanitarios de Estados Unidos para el mango mexicano	28
III.HIPÓTESIS	29
IV.OBJETIVO	30
IV.1 General	30
IV.2 Específico	30
V.METODOLOGÍA	31
V.1 Materiales	31
V.2 Métodos	32
V.2.1 Selección y empaque	32
V.2.2 Transporte	32
V.2.3 Tratamiento de irradiación	33
V.2.4 Distribución de dosis de irradiación	34

V.2.5 Muestreo durante el almacenamiento	34
V.2.6 Análisis físicos	34
V.2.6.1 Pérdida de fisiológica de peso	34
V.2.6.2 Color	35
V.2.6.3 Firmeza	35
V.2.7 Análisis químico	36
V.2.7.1 Sólidos solubles totales	36
V.2.7.2 Acidez titulable	36
V.2.7.3 Ácido ascórbico	37
V.2.8 Volátiles	38
V.2.8.1 Extracción	38
V.2.8.2 Concentración	38
V.2.8.3 Análisis cromatográfico	39
V.3 Diseño experimental	41
VI.RESULTADOS	44
VI.1 Distribución de dosis recibida	44
VI.2 Análisis general del efecto de los factores en estudio sobre las variables de respuesta	46
VI.3 Análisis físicos	49
VI.3.1 Pérdida fisiológica de peso	49
VI.3.2 Color	50
VI.3.2.1 Color interno	50
VI.3.2.2 Cambios en la calidad visual interna de los frutos	53
VI.3.2.3 Color de la piel	56
VI.3.2.4 Cambios en el aspecto visual externo	59
VI.3.3 Firmeza	61
VI.4 Análisis químicos	62
VI.4.1 Contenido de sólidos solubles totales	62
VI.4.2 Acidez total titulable	64

VI.4.3	Ácido ascórbico	66
VI.4.4	Compuestos volátiles	67
VII.	DISCUSIÓN	77
VII.1	Análisis físicos	77
VII.1.1	Pérdida de peso	77
VII.1.2	Color	77
VII.1.3	Calidad visual interna y externa	79
VII.1.4	Firmeza	80
VII.2	Factores químicos	81
VII.2.1	Sólidos solubles totales	81
VII.2.2	Acidez total titulable	81
VII.2.3	Ácido ascórbico	82
VII.3	Compuestos volátiles	82
VIII.	CONCLUSIONES	84
IX.	BIBLIOGRAFÍA	86
X.	ANEXOS	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición nutricional del mango	5
2	Efecto de las radiaciones ionizantes sobre frutas y verduras	19
3	Directrices para la aplicación del tratamiento hidrotérmico	28
4	Condiciones de operación del CG-MS	40
5	Agrupación de tiempos de retención	41
6	Valores promedio de las dosis recibidas por los frutos	44
7	Valores de probabilidad para los factores y sus interacciones en cada muestreo	46
8	Comparación de medias de las áreas de picos en el muestreo 1	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Daño ocasionado por la mosca de la fruta	13
2	Producción de mango en México	24
3	Valor de la producción de mango en México	24
4	Diagrama de una planta de irradiación gamma	33
5	Equipo Kuderna-Danish utilizado para la concentración	39
6	Extractos de mango concentrados	39
7	Equipo CG-MS	40
8	Dosis de irradiación absorbidas por los frutos de mango	45
9	Efectos de interacción entre dosis y temperatura	48
10	Efectos de interacción entre dosis y madurez	49
11	Porcentaje de pérdida fisiológica de peso en frutos de mango 'Ataulfo'	50
12	Cambios en el color de la pulpa (valor a*) en frutos de mango 'Ataulfo'	52
13	Cambios en el color de la pulpa (valor b*) en frutos de mango 'Ataulfo'	53
14	Aspecto interno de los frutos en estado de madurez 1/4	55
15	Aspecto interno de los frutos en estado de madurez 3/4	55
16	Aspecto interno de los frutos almacenados 13 días a 10°C y transferidos 6 días a 20°C	56
17	Cambios en el color de la piel (valor a*) en frutos de mango 'Ataulfo'	57
18	Cambios en el color de la piel (valor b*) en frutos de mango 'Ataulfo'	59
19	Aspecto externo de los frutos en estado de madurez 1/4	60

20	Aspecto externo de los frutos en estado de madurez 3/4	60
21	Aspecto externo de los frutos almacenados 13 días a 10°C y transferidos 6 días a 20°C	61
22	Cambios en la firmeza de frutos de mango 'Ataulfo'	62
23	Cambios en el contenido de sólidos solubles totales de mango 'Ataulfo'	64
24	Cambios en el porcentaje de acidez de mango 'Ataulfo'	65
25	Cambios en el contenido de ácido ascórbico de mango 'Ataulfo'	67
26	Cromatograma de referencia de mango 'Ataulfo'	69
27	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0kGy/10°C a diferentes intervalos de tiempo	70
28	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0kGy/20°C a diferentes intervalos de tiempo	71
29	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0.15kGy/10°C a diferentes intervalos de tiempo	71
30	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0.15kGy/20°C a diferentes intervalos de tiempo	72
31	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0.6kGy/10°C a diferentes intervalos de tiempo	73
32	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 0.6kGy/20°C a diferentes intervalos de tiempo	73
33	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 1.0kGy/10°C a diferentes intervalos de tiempo	74
34	Sumatoria de áreas de los tratamientos a 1.0kGy/20°C a diferentes intervalos de tiempo	75

RESUMEN.

México es el cuarto país productor de mango y el primer exportador de este fruto (30 al 40% del volumen) a nivel mundial. No obstante, en las zonas productoras están presentes moscas de la fruta que lo utilizan como hospedero. Para poder exportarlo se debe aplicar un tratamiento cuarentenario para evitar la diseminación de estas plagas. Dicho tratamiento consiste en sumergir los frutos en agua a 46.1°C durante 70 a 110 minutos dependiendo del tamaño del fruto. Este tratamiento severo no lo resisten algunas variedades de mango las cuales no participan en el mercado de exportación. Recientemente la USDA y APHIS han autorizado el uso de la irradiación gamma como tratamiento cuarentenario para la exportación de mango mexicano en dosis mínima de 0.15 kGy y máxima de 1.0 kGy; no obstante no se conocen los efectos que dichas condiciones pudieran tener sobre la calidad general de los frutos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de irradiación gamma (0, 0.15, 0.6 y 1.0 kGy) sobre la calidad fisicoquímica, visual externa e interna y en la generación de compuestos aromáticos en frutos de Mango cv 'Ataulfo' de dos estados de madurez y almacenados a diferentes temperaturas. 530 frutos de mango 'Ataulfo' procedentes de Nayarit, México, de calibre 16 de dos estados de madurez (1/4 y 3/4) fueron expuestos a las dosis de irradiación indicadas y posteriormente almacenados a 10 y 20 °C. Periódicamente se tomaron muestras por triplicado para analizar la calidad visual externa e interna, pérdida de peso, firmeza, color interno y externo, contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, contenido de ácido ascórbico y el perfil aromático. Ninguno de los parámetros fisicoquímicos fue un estimador adecuado para evaluar el efecto de la dosis de irradiación; la calidad visual externa e interna indicaron que las dosis de 1.0 kGy indujeron coloraciones oscuras en piel y pulpa y el desarrollo de tejido esponjoso mientras que el perfil de compuestos aromáticos también fue menor a esa dosis en determinados tiempos de retención respecto de los frutos control por lo que debe evitarse esta dosis en el procesado industrial.

I.INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos de mayor importancia a nivel mundial, es una dicotiledónea originaria de la región Indo-Birmánica, localizada al noreste de la India desde donde se propagó a diferentes regiones del mundo. Existe en un gran número de variedades de mango que se diferencian entre sí por la forma del fruto, el color de su piel, su textura, su sabor, contenido de azúcares, aroma del fruto y el tamaño, entre otras características.

La producción mundial del mango está estimada en más de 23.4 millones de toneladas por año y México produce alrededor de 1.5 millones de toneladas de mango al año y ello lo ubica como el cuarto país productor de este fruto a nivel mundial, además de ser el principal exportador de esta fruta en fresco con 30% del total, por lo que es de amplia importancia económica para nuestro país.

El mango producido en México se consume principalmente en el mercado nacional pero alrededor del 10 al 15% de la producción se destina a la exportación, siendo Estados Unidos el principal mercado de destino. No obstante los frutos son portadores de la mosca mexicana de la fruta por lo que se deben aplicar tratamientos que eliminen eficazmente a este insecto y así evitar su la propagación en esos mercados. Para poder introducirlo a dicho país el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desarrolló un protocolo de tratamiento cuarentenario hidrotérmico que debe ser aplicado a todos los embarques que deseen entrar a Estados Unidos. Este tratamiento consiste en sumergir los frutos en agua a 46.1°C durante 70 a 110 minutos dependiendo del tamaño del fruto.

Este tratamiento somete al fruto a un estrés fisiológico severo que afecta la calidad visual y sensorial del producto. Para disminuir este estrés los exportadores cosechan los frutos en estados de menor madurez para que ésta pueda resistir el tratamiento mencionado; sin embargo, la fruta presenta un proceso de maduración

alterado y por tanto la calidad sensorial percibida por el consumidor se ve fuertemente afectada.

Por lo anterior surge la necesidad de aplicar un tratamiento que cumpla la función de desinfectar la fruta sin alterar gravemente la calidad sensorial.

De los diferentes tratamientos cuarentenarios alternativos al hidrotérmico, la irradiación gamma es la que muestra mayores ventajas para los exportadores de mango mexicano. Dentro de las ventajas que dicho tratamiento tiene son las siguientes: Se aplica a temperatura ambiente con lo cual eliminaría el estrés térmico que da el proceso actual y ofrece una calidad fitosanitaria adecuada para el mercado nacional e internacional, además de prolongar la vida de anaquel lo cual a su vez disminuye las pérdidas poscosecha.

La USDA ha autorizado el uso de irradiación gamma como alternativa de tratamiento cuarentenario para el mango de origen mexicano con destino al mercado de Estados Unidos. Dicho tratamiento consiste en aplicar una dosis mínima de 150 Gy y una dosis máxima de 1000 Gy sin especificar el estado de madurez de los frutos y la temperatura de conservación de los mismos.

Sin embargo, los trabajos publicados informan de la efectividad de este tratamiento en el control de plagas o en la calidad nutricional del mismo, pero se desconoce si las distintas variedades tienen distintas sensibilidades a la irradiación en el intervalo considerado y si estas manifiestan respuestas diferentes en su calidad visual y sensorial y como estas respuestas se ven afectadas por otros factores, como la temperatura de almacenamiento o el estado de madurez de los frutos. De acuerdo a la problemática descrita, en este trabajo se evalúan los efectos de distintas dosis de irradiación aplicadas (en el intervalo aprobado por la USDA), a frutos de mango cv. 'Ataulfo' cosechados en dos estados de madurez y almacenados a dos temperaturas de conservación en la calidad visual externa, calidad fisicoquímica y en el perfil de los compuestos volátiles de los frutos.

II. ANTECEDENTES

II.1 Taxonomía.

El género *Mangifera* pertenece al orden Sapindales de la familia *Anacardiaceae* la cual está compuesta por 430 especies que incluyen 73 géneros de plantas de origen tropical y algunas especies de regiones templadas (Tharanathan y col., 2006).

De acuerdo a Montero y col., (2002) la clasificación taxonómica del mango se ubica de la siguiente manera:

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Rosidae

Orden: Sapindales

Suborden: Anacardiineae

Familia: Anacardiaceae

Género: *Mangifera sp*

Especie: *Mangifera Indica*

II.2 Características del mango.

II.2.1 Características del fruto.

El fruto es una drupa, es simple, de diferentes tamaños, alargado y más o menos comprimido, con textura carnosa, resinosa, y de tamaño variable, contenido de fibra, sabor, aroma y el color que va desde amarillo hasta rojo o morado. La característica más importante es la formación cónica desarrollada lateralmente en el extremo distal de la fruta a la se le conoce comúnmente como pico. El pericarpio se distingue por el exocarpo o piel suave, el mesocarpo carnoso y el endocarpo o hueso duro (Montero y col., 2002).

En general, dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales, los mangos maduran de 6 a 10 días a temperatura ambiente y se deterioran a los 15 días después de la cosecha. Como fruto climatérico, el periodo de maduración está caracterizado por una serie de cambios bioquímicos iniciados por la producción autocatalítica de etileno y el incremento en la tasa de respiración. La maduración incluye el desarrollo del color característico, la generación de aroma y sabor agradables de la fruta, así como ablandamiento deseable (Tharanathan y col., 2006).

II.2.2 Valor nutricional.

En el Cuadro 1 se recopila la composición nutricional del mango en 100 g de la porción comestible obtenida a través de los datos reportados en el Nutrient Data Laboratory de la USDA y en la información publicada por la Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Colima (SEDER, 2005).

Este fruto se caracteriza por ser una fuente importante de vitaminas A y B y contiene cantidades variables de vitamina C. Su composición depende de la variedad así como del estado de madurez, el contenido de ácido ascórbico y la acidez total disminuyen durante el desarrollo del fruto, mientras que los carotenoides y azúcares totales incrementan.

Cuadro 1. Composición nutricia en 100g de porción comestible de frutos de mango (USDA, 2011 y SEDER, 2005).

Composición nutricia	
Peso de la ración (100 g)	
Energía kJ (Kcal)	270.83 (65)
Agua (g)	81.71
Proteína (g)	0.51
Grasa total (g)	0.27
Carbohidratos (g)	17
Azúcares totales (g)	14.8
Colesterol (mg)	0
Ácidos grasos saturados, total (g)	0.066
Minerales	
Calcio (mg)	10
Cobre (mg)	0.11
Hierro (mg)	0.13
Magnesio (mg)	9
Fósforo (mg)	11
Potasio (mg)	156
Selenio (µg)	0.6
Sodio (mg)	2
Zinc (mg)	0.04
Vitaminas	
Vitamina A, (µg)	38
Vitamina C (mg)	27.7
Vitamina B-6 (mg)	0.134
Coline, total (mg)	7.6
Vitamina E, (mg)	1.12
Folato, total (µg)	14
Vitamina K (µg)	4.2
Niacina (mg)	0.584
Riboflavina (mg)	0.057
Tiamina (mg)	0.058
Caroteno, beta (µg)	445
Caroteno, alpha (µg)	17

II.2.3 Variedades más cultivadas en México.

En el país se producen un gran número de variedades destacándose el 'Manila', 'Ataulfo', 'Haden', 'Kent', 'Tommy Atkins', 'Keitt', 'Sensation y Zill'. Las variedades más importantes en el mercado nacional, sobre todo en el centro, oriente y sureste del país, son Manila y los tipos Criollos. Los principales cultivares que se producen con fines de exportación son 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent', 'Keitt' y 'Ataulfo', debido a sus características de sabor, aroma y tamaño. A continuación se describen las características generales de cada una de ellas tomando como base los datos proporcionados por la SEDER (2005); Mondragón, (1999) y Súmano, (2009).

II.2.3.1 'Haden'.

Esta variedad desarrolla árboles vigorosos con una producción alternante de 150 a 265 kilogramos de fruta por árbol. Su periodo de cosecha comprende de Mayo hasta mediados de Julio. Los frutos presentan una base de color amarillo con chapeo rojo, lo cual los hace atractivos tanto al mercado nacional como al de exportación. Los frutos registran un peso promedio de 430 gramos; la pulpa es jugosa con poca fibra y de buen sabor, el hueso es plano, la cáscara es semigruesa y es resistente al transporte pero susceptible a la antracnosis. Produce frutos que maduran rápidamente desde la pulpa cercana al hueso, lo cual demerita su calidad.

II.2.3.2 'Tommy Atkins'.

Los árboles de esta variedad son vigorosos y producen alrededor de 150 a 265 kilogramos de fruta por árbol. Su época de producción es a principios de Mayo y a mediados de Julio. El fruto es moderadamente tolerante a la antracnosis y de excelente calidad predominando el color rojo, es de forma redonda y tamaño medio, con peso de 300 a 470 gramos. La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra; si la fruta no se cosecha en la etapa óptima de maduración tiene problemas

de maduración y manejo. Con frecuencia presenta un desorden fisiológico de apertura interna de la semilla con posible inicio de germinación de la misma así como el desarrollo de cavidades internas en la pulpa específicamente en la zona de unión del fruto con el pedúnculo.

II.2.3.3 'Manila'.

Los árboles son vigorosos y productivos, su producción es temprana ya que se cosecha entre Abril y Mayo; produce alrededor de 150 a 200 kilogramos de fruta por árbol; sus frutos son de tamaño medio con peso de 200 a 275 gramos, son de forma elíptica y alargados y de color amarillo cuando madura es firme al inicio de la maduración y se ablanda rápidamente a medida que el fruto madura, su piel es delgada, de pulpa amarilla, dulce, con alto contenido de fibra,. Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional, destinándose al consumo fresco y a la preparación de purés en la industria. Su participación en el mercado de exportación es marginal debido a que es sensible al tratamiento hidrotérmico por lo que no puede ser exportado bajo ese tratamiento

II.2.3.4 'Kent'.

El árbol presenta un crecimiento vertical vigoroso. Su rendimiento promedio es entre 100 y 300 kilogramos por árbol. Son de producción tardía y su periodo de producción comprende desde mediados de Julio hasta principios de Septiembre.

El fruto tiene un peso entre 500 a 825 gramos. La base es de color verde amarillento con ligero chapeo rojo, llegando a ser rojizo, siempre y cuando tenga una mayor exposición a la luz del sol. Es susceptible a la antracnosis y está más dispuesto al ataque de la mosca de la fruta, debido a que la época de cosecha coincide con la temporada de lluvias. La fruta se destina principalmente al mercado nacional y a la industria ya que su pulpa es firme y de bajo contenido de fibra sin

embargo, el mercado de exportación puede crecer si esta variedad se cultiva en regiones más secas.

II.2.3.5 'Keitt'.

El árbol presenta un crecimiento vigoroso pero desordenado, con largas ramas arqueadas. Es poco alternante y de producción tardía, ya que se cosecha entre Agosto y Septiembre; La producción se destina al mercado nacional y exportación y para la industria. El fruto es grande, con un peso entre 600 a 800 gramos y una producción media de 130 a 250 kilogramos por árbol. La base del color del fruto es verde amarillo con chapeo rosa-rojizo; tiene pulpa dulce con escaso contenido de fibra. Esta variedad ha tenido serios problemas en el mercado por su excesivo tamaño y produce gran cantidad de fruta manchada por antracnosis y roña, enfermedades que se ven favorecidas porque la época de corte coincide con la temporada de lluvias.

II.2.3.6 'Ataulfo'.

Se ha convertido en uno de los mangos más populares del mundo, también es conocido como mantequilla de mango debido a su bajo contenido de fibra. Los árboles de esta variedad son semi-vigorosos, bastantes productivos y poco alternantes. Su periodo de producción es temprana, ya que ocurre desde Febrero a Julio, el fruto es de excelente calidad, aroma intenso, de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio de 200 a 370 gramos; el color de la pulpa es amarillo. Tiene amplia aceptación en el mercado nacional y de exportación (SEDER, 2005).

El mango Ataulfo es el único cultivar poliembriónico tolerante al tratamiento hidrotérmico para eliminar la larva de la mosca de la fruta por ello se ha estado exportando con mayor frecuencia y también por esto las áreas de cultivo se han

incrementado reemplazando a las producciones de mango Haden (Domínguez y col., 2004).

II.3 Factores precosecha que afectan la calidad de los frutos.

Los factores precosecha influyen en la calidad del fruto. Dentro de los factores precosecha se incluye la localización de la cosecha, condiciones del huerto, nutrición del árbol y las condiciones al momento de la cosecha (Prakash, 2004).

II.3.1 Riego.

Las plantas en crecimiento requieren de agua para realizar la fotosíntesis y la transpiración, algunos efectos negativos pueden ser causados por:

Exceso de agua: que puede fácilmente provocar daño en el fruto e incrementa la tendencia al deterioro por ataque de hongos patógenos.

Escasez de agua: que puede provocar una baja producción de jugo y el desarrollo de una cáscara más gruesa.

II.3.2 Fertilización.

El exceso de fertilizantes puede afectar el desarrollo del fruto, mientras que la falta de estos afecta la calidad del producto. Algunos de estos efectos son:

Insuficiencia de nitrógeno: puede provocar que el fruto no se desarrolle completamente, mientras que el exceso de éste causa un desorden fisiológico llamado tejido esponjoso también asociado a la insuficiencia de calcio y magnesio.

Insuficiencia de potasio: los árboles presentan hojas pequeñas y delgadas, afecta el desarrollo del fruto y la madurez no se desarrolla normalmente.

Por otro lado, un exceso de potasio reducirá la firmeza y el sabor del fruto (FAO, 1993).

II.3.3 Zona de cultivo.

El mango puede desarrollarse en climas donde la temperatura media del mes más frío sea mayor de 15 °C; se considera que la temperatura óptima de producción es de 24 a 27 °C y el crecimiento se detiene entre 4 y 6 °C.

El efecto de la temperatura se hace más evidente en zonas subtropicales donde la emergencia de la inflorescencia se produce después de presentarse los períodos de temperatura más bajas en el año. En los climas cálidos-subhúmedos, es necesario aplicar riegos de auxilio al cultivo del mango para que exista una buena producción y no haya estrés por sequía. Los climas semicálidos necesitan también riegos de auxilio para obtener las óptimas condiciones de humedad.

En cuanto a precipitación, el mango se cultiva en lugares donde llueve de 250 hasta 2,500 milímetros; en áreas muy lluviosas, el crecimiento vegetativo es vigoroso, pero a expensas de la fructificación, por lo que la producción es baja (Martínez- Fonseca y col., 2007 y SEDER 2005);

II.4 Factores poscosecha que afectan la calidad.

El mango es muy vulnerable a las pérdidas poscosecha debido a su naturaleza altamente perecedera.

La mayoría de las pérdidas son causadas por distintos factores que afectan la calidad del fruto, como el estado de madurez, almacenamiento, método de cosecha, manejo, empaque, el transporte, la presencia de plagas o algunas enfermedades. Estos dos últimos son los de mayor importancia para este trabajo y se abordan a continuación (Prakash, 2004).

II.4.1 Enfermedades, plagas y su control.

La vida poscosecha del mango generalmente se encuentra entre 2-3 semanas y está limitada por el deterioro fisiológico relacionado a la sobremaduración causada por infecciones de patógenos provocando que la vida del fruto disminuya (Tharanathan y col., 2006).

Las enfermedades poscosecha en el mango causan pérdidas económicas importantes durante el almacenamiento a largo plazo en condiciones de alta humedad y baja temperatura que asociados con la senescencia de la fruta ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de estas enfermedades. A menudo el patógeno se encuentra inactivo o los síntomas externos no son visibles y los síntomas sólo son detectables después de la maduración. Las pérdidas económicas son mucho mayores que las pérdidas ocurridas en el campo debido al costo de la cosecha, clasificación, empaque, transporte y almacenamiento (Dang y col., 2008; Moalemiyan y Vikram, 2007).

II.4.1.1 Cenicilla (*Oidium mangiferae* Berth.)

La infección en el mango por este patógeno se produce tanto en el follaje como en la flor, sin embargo las pérdidas ocurren como resultado de la infección de la flor y si las condiciones son favorables, en la época de floración puede provocar abscisión de flores y por lo tanto afectando negativamente la producción.

Los síntomas pueden ser notados en las hojas o en las inflorescencias, observándose un polvo blanco sobre las partes afectadas, la infección puede avanzar a los frutos y en ataques muy severos puede causar deformación de los mismos. El tratamiento químico consiste en asperjar los árboles con polvo de azufre humectable, sin embargo el uso de los fungicidas Promil, Benomyl y Dinocap también son efectivos.

II.4.1.2 Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*).

El inicio de la infección suele presentarse en tejidos jóvenes, flores y frutos como en árboles en desarrollo o en producción. El síntoma característico aparece como manchas de diferentes tamaños que van de color café claro hasta negro. Bajo condiciones húmedas el hongo crece rápidamente formando áreas necróticas de 20-25 milímetros de diámetro; después de la lesión, los frutos se desprenden y caen. Cuando el ataque es severo son insípidos e incluso amargos y pueden ser invadidos por hongos o bacterias de pudrición que penetran a través de la piel maltratada. Para evitar este problema, se puede aplicar tratamientos con fungicidas que consiste en aplicar al inicio de la floración Zineb al 0.2% dos veces durante la floración y después en intervalos de 15 días, Bavistin al 0.1% en intervalos de 15 días, o también Carbendazim al 0.3% y Zineb al 0.2%. El tratamiento poscosecha consiste en un tratamiento de agua caliente a 51 °C - 51.5 °C por 15 minutos ó 46 °C durante 90 hasta 115 minutos. También se ha encontrado efectivo con Benomyl a 52 °C - 55 °C por 10 minutos. El tratamiento con aire forzado a 48 °C por 150 minutos también reduce la enfermedad (SEDER, 2005; Prakash, 2004).

II.4.1.3 Moscas de la fruta (del género *Anastrepha*).

Las moscas de la fruta están consideradas como una de las 10 plagas agrícolas de mayor importancia económica en el mundo. El género *Anastrepha* (*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, las de mayor importancia económica son: *Anastrepha ludens* Loew, *A. Obliqua* (Macquart), *A. Serpentina* (Wiedemann), y *A. Striata* (Schiner). En México se han reportado 32 especies. La mosca de la fruta es un organismo con una biología compleja y hábitos diversos que les permiten proliferar y establecerse en diferentes ambientes. Una hembra grávida puede depositar de 1 a 110 huevecillos según la especie, en la cáscara o en el interior de los frutos. Los huevos

son puestos individualmente (como en caso del *A. obliqua*), o en paquetes (como en *A. ludens*) y este estadio dura de 4 a 5 días, dependiendo de la especie (SEDER, 2005).

Las moscas atacan en estado adulto y depositan los huevecillos en los frutos en desarrollo (Figura 1) y el daño se hace evidente cuando se inicia la maduración del fruto. (Mondragón, 1999).



Figura 1. Daños ocasionados por la mosca de la fruta. (SEDER, 2005).

La mosca de la fruta es susceptible a cualquier insecticida; sin embargo, el único producto autorizado para su control es malatión, el cual se combina con un atrayente alimenticio, cebo tóxico. Este es aplicado en pequeñas gotas en el follaje de la planta donde se alimentan las moscas adultas.

En México la técnica de utilizar moscas de la fruta estériles se uso para erradicar a la Mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) en el Soconusco, Chiapas y más recientemente con la Mosca Mexicana de la Fruta (*Anastrepha ludens*) en diferentes regiones del país. Este método es eficiente a bajas densidades de la plaga y se requiere previamente reducir el nivel de la población mediante liberación masiva de parasitoides ó aplicaciones de insecticidas-cebo. Los tratamientos poscosecha para el control de estas plagas consisten en tratamiento con aire seco

forzado o el tratamiento hidrotérmico indicado en el procedimiento T- 102a indicado por la USDA y APHIS.

II.4.1.4 Trips (*Frankliniella párvula*).

Los trips son insectos que pertenecen al suborden Tebrantia al cual pertenece la familia Tripinae y el género *Franklinella* y la especie *F. párvula* (Mound y Marullo 1996) y representan un problema en cultivos anuales y frutales como el mango, particularmente en el periodo de Diciembre a Mayo.

Estos insectos se caracterizan por tener un aparato del tipo “raspador-picador”, poseen dos pares de palpos y una mandíbula bien desarrollada. Son de importancia económica ya que afectan el follaje, las inflorescencias y los frutos de diferentes especies. Las ninfas y los adultos se agrupan en las nervaduras principales del envés de las hojas, en donde pican y raspan los tejidos epidérmicos ocasionando marcas necróticas; cuando el daño es severo provoca la caída de follaje tierno, flores y frutos pequeños.

Para su control químico se realizan 1 ó 2 aplicaciones de diferentes plaguicidas como Ometoato o el Oxifonfós, la primera aplicación cuando los árboles tengan el 15% de floración y la segunda cuando el fruto tenga el tamaño de una canica. Como tratamiento poscosecha se utilizan los mismos tratamientos mencionados para la mosca de la fruta.

II.4.1.5 Hormigas.

Las hormigas (*Hymenóptera Formicidae*), conforman colonias de tamaño variable que pueden tener desde cientos hasta varios millones de individuos. Sus hábitos alimenticios son variados; en ocasiones se les ha considerado como plagas de plantaciones y cultivos diversos debido a la defoliación intensa que causan a los brotes (SEDER 2005)

II.5 Plaga cuarentenaria del mango.

Una plaga cuarentenaria es aquella que representa un peligro potencial de desarrollo en zonas ecológicas donde no se presentan de forma natural y por ello se encuentra bajo control oficial por los organismos de sanidad vegetal de los diferentes países. El control de plagas cuarentenarias se establece para aquellas plagas que ponen en riesgo un área de un cultivo de importancia económica. De acuerdo a Bustos y col (2004) las plagas que puede transportar el mango mexicano hacia los Estados Unidos son: la mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens*), la mosca de las Indias de Occidente (*Anastrepha obliqua*), ocasionalmente la mosca del sapote (*Anastrepha serpentina*) y esporádicamente, en la región de Chiapas, existe el riesgo de encontrar *Ceratis capitata* o mosca del mediterráneo por ello se debe aplicar un tratamiento cuarentenario que mate o esterilice estas plagas para evitar su diseminación en los mercados de destino.

II.5.1 Tratamiento hidrotérmico.

Este tratamiento consiste en sumergir el mango en un baño de agua caliente bajo la supervisión del personal de la APHIS (Servicio de inspección de salud animal y sanidad vegetal de los Estados Unidos) y debe ser realizado en el país de origen (González y col., 2005).

El tratamiento consiste en la inmersión de los frutos en un tanque con agua a 46.1°C durante un tiempo que depende del tamaño del fruto, este tiempo de exposición depende también de la variedad y el país de origen. A estos tiempos se les adicionarán 10 minutos, si el exportador decide enfriar su fruta (agua a temperatura ambiente) después del tratamiento hidrotérmico.

La aplicación de este tratamiento hidrotérmico provoca un estrés severo al fruto, que muestra distintas respuestas del fruto que afecta negativamente su fisiología, su calidad visual y sensorial. Estas respuestas son dependientes del estado de

madurez y son más notorias para estados de madurez más avanzados. Esta situación obligó a los exportadores a trabajar su fruta en estados de madurez menos avanzados a fin de encontrar una resistencia a este tratamiento. No obstante, la realidad es que el fruto no se recupera del estrés térmico al que fue sometido y la evolución posterior no los lleva a lograr una madurez de consumo adecuada, llegando al mercado con una calidad sensorial defectuosa y poco atractiva para el consumidor final (Mercado, 2009).

II.6 Alternativas de tratamientos cuarentenarios.

Debido al daño que causa el tratamiento hidrotérmico en la calidad visual y sensorial del mango, los exportadores se han visto obligados a buscar tratamientos alternativos que no afecten la calidad sensorial del fruto y que al mismo tiempo se cumplan con las especificaciones fitosanitarias exigidas por el país importador.

II.6.1 Tratamiento por aire forzado.

Sigue siendo eficaz para cuarentena, pero las instalaciones del tratamiento son relativamente costosas. El aire caliente forzado constituye el segundo método de tratamiento más común para el mango; se considera una mejor solución que el tratamiento térmico por vapor. El tratamiento consiste en hacer fluir aire forzado caliente hasta llegar a una temperatura en el centro de del fruto de 48°C y mantenerla por 2 minutos (Mitcham; Yahia, 2009).

II.6.2 Atmósferas modificadas y atmósferas controladas.

Los tratamientos de atmósferas modificadas consisten en la alteración de la composición del gas atmosférico normal. La atmósfera controlada (AC) es una atmósfera en la que se mantiene con ligeras variaciones la composición de los gases del aire por la adición o remoción de ciertos gases. Las AC como tratamiento poscosecha para frutas y hortalizas, tienen un potencial para controlar insectos,

bajo las condiciones de tiempos cortos de exposición a bajos niveles de O₂ (<1%) y/o altos de CO₂ (>20%) (Súmano, 2009).

II.6.3 Zonas libres de moscas.

Consiste en un programa de manejo de plagas diseñado para mantener poblaciones por debajo de niveles de riesgo, este programa permite la certificación del producto en el campo basándose en ciertas regulaciones. Las maneras en que se pueden implantar zonas libres de plagas incluyen el uso de rocíos con cebo (carnada) para atraer moscas de la fruta a las trampas. En áreas donde la mosca de la fruta y otras plagas se observan en bajas densidades, es indispensable mantener informes sobre plagas y efectuar el monitoreo de las poblaciones. Algunos estados que cuentan actualmente con este certificado son Baja California y la zona norte de Sinaloa (Mitcham y Yahia 2009; SENASICA, 2010).

II.6.4 Irradiación.

En este proceso, se utiliza la irradiación ionizante para modificar el ADN de las plagas y hacerlas estériles. Consiste en exponer al alimento a una fuente de radiación ionizante. La fuente de energía ionizante puede ser radiación gamma proveniente radioisótopos de Cobalto 60 o Cesio 137, de electrones acelerados o de rayos X con el objetivo fundamental de esterilizar o de alargar la vida del mismo. Los rayos gamma utilizados en el tratamiento con toda facilidad pueden penetrar profundamente dentro de cargas paletizadas de alimentos, por ello ésta tecnología de irradiación se puede utilizar para tratar cargas grandes de forma industrial (García, 2000; Mitcham y Yahia 2009).

La irradiación es una excelente alternativa a los tratamientos de desinfección químicos o físicos. En función de la dosis aplicada, la radiación gamma puede controlar el crecimiento superficial e interno de microorganismos así como la contaminación del producto por patógenos. La característica de no tener efectos

residuales es una ventaja importante de esta tecnología además que este tratamiento puede ser aplicado en las frutas como tratamiento cuarentenario debido a que es muy versátil como tratamiento de desinfección ya que puede ser utilizado contra una amplia variedad de organismos. Es útil para prevenir que las larvas de la mosca de la fruta no se desarrollen hasta una etapa adulta ya que el tratamiento puede esterilizar o causar la muerte de estos insectos (García, 2000; Sabato, 2009).

II.7 Normatividad.

La Agencia Internacional de Energía Atómica en conjunto con la FAO publicaron los resultados de un proyecto internacional denominado “Irradiation Phytosanitary Treatment of Imported Fruits and Vegetables”, en el cual se recopilan los diferentes resultados de grupos de investigación de 16 países que dieron lugar a las regulaciones que permiten la importación de frutas y vegetales a través de un tratamiento cuarentenario alternativo como la irradiación.

A partir de ellos se generan recomendaciones particulares para cada plaga y país las cuales se encuentran compiladas en el “Fresh Fruits and Vegetable Import Manual” el cual incluye todos los tratamientos cuarentenarios aprobados, incluidos la irradiación, para cada país que exporte productos a los Estados Unidos (USDA APHIS y PPQ 2010). También la FAO (2003) publica las directrices para utilizar la irradiación como medida fitosanitaria en el cual recomienda una dosis de 0.15 kGy para eliminar a la larva de la mosca mexicana de la fruta. (Mercado, 2009, IEAA, 2002).

En México existe la NOM-033-SSA-1993 en la cual se indican las dosis permitidas para alimentos, materias primas y aditivos alimentarios. Dicha norma fue cancelada en el 2005 y actualmente no se conoce una norma oficial mexicana que establezca las dosis permitidas. (SSA, 1993).

II.7.1 Efectos de la irradiación sobre frutas y vegetales.

Durante el proceso de irradiación se sabe que existe la posibilidad de formación de radicales libres. Estos radicales libres pueden reaccionar con otros constituyentes del alimento y causar daños a las células. Dado que las frutas frescas y verduras pueden contener desde un 80 a un 95% de agua y sus espacios intercelulares contienen oxígeno, los radicales libres más usuales formados durante un proceso de irradiación son característicos de estos compuestos. El fenómeno del efecto de radiaciones ionizantes sobre frutas y verduras se suele contemplar en función del efecto de la dosis aplicada sobre ciertas propiedades.

Un ejemplo de estos aspectos se muestra en el Cuadro 2. Así, puede observarse que la irradiación por debajo de 0.15kGy tiene efectos inapreciables en la gran mayoría de frutas y verduras, aunque por encima de esta dosis puede inducir efectos desagradables. Es posible también retrasar el proceso de maduración en plátanos, papayas y mangos, con dosis de 0.25kGy a 0.35kGy y obtener posteriormente frutos de buena calidad de aquellas frutas irradiadas posteriormente tratadas por tratamiento con etileno.

Cuadro 2. Efectos de las radiaciones ionizantes sobre frutas frescas y verduras.

Dosis (kGy)	Efecto observado
0.05-0.15	Inhibe la germinación en tubérculos, bulbos, inhibición de crecimiento en espárragos y hongos
0.15-0.75	Desinfección de insectos
0.25-0.50	Retraso en la maduración en algunas frutas tropicales, tales como banana, mango y papaya
>1.75	Control de enfermedades de almacenamiento.
1-3	Aceleración del reblandecimiento del producto. Desarrollo de aspectos organolépticos o deseables en algunos productos.
>3	Excesivamente blando, maduración excesiva; incidencia sobre algunos desórdenes fisiológicos; sabores desagradables.
1kGy= 1000 gray (Gy). 1Gy=100 rad (1rad= 100 erg/g)	

Fuente García (2002)

II.7.1.1 Pérdida de vitaminas.

De los diversos estudios realizados para evaluar el efecto de la irradiación sobre algunos nutrientes de frutas y verduras, en estos sólo hay acuerdo en dos cosas: a) existe una sensibilidad de ciertos productos a la irradiación y como consecuencia de ello se puede producir pérdida de vitaminas; b) los trabajos realizados hasta la fecha no son tan concluyentes como parecen y a veces son contradictorios. Se ha concluido que la radiación no actúa de forma semejante en todo tipo de productos y el grado de destrucción de la vitamina depende de la composición misma del alimento, del porcentaje de agua contenida (o absorbida) por el mismo, del tiempo transcurrido entre la irradiación y el análisis, de las condiciones de almacenamiento previas y posteriores a la irradiación, de las dosis de irradiación aplicadas entre otras variables (García 2000).

II.7.1.2 Creación de radicales libres.

El hecho de incidir una radiación ionizante sobre un alimento provoca en el mismo la absorción de energía y la generación de radicales libres, los cuales reaccionan para formar productos estables radiolíticos. Se ha estimado que para una dosis del orden de 1kGy podría traducirse en la rotura de 10 enlaces químicos por cada 10^6 enlaces presentes, la rotura de enlace, aunque sea a un porcentaje bajo, puede tener una gran importancia en algunos casos. Por ejemplo, la irradiación puede dar lugar a roturas del ADN y como consecuencia de ello las células pierden su capacidad reproductora lo que es útil para la destrucción de insectos, desactivar parásitos, retrasar procesos de maduración y evitar procesos de rebrote.

II.7.1.3 Cambios organolépticos.

La irradiación puede afectar a la calidad de los alimentos por procesos distintos de los considerados en relación con la propia aniquilación de microorganismos patógenos.

Hoy en día se conoce que una serie de factores como dosis de irradiación, tasa de aplicación de la dosis, temperatura y atmósfera de irradiación, pueden afectar a los alimentos. Los productos radiolíticos desarrollados pueden causar la oxidación de la mioglobina y ácidos grasos, dando como resultado la decoloración y la aparición de sabores rancios, y olores desagradables. No obstante, se ha constatado que el control de ciertos parámetros como los mencionados anteriormente minimiza o evitan estos efectos obteniéndose alimentos con buenos niveles de calidad (García, 2000).

II.7.1.4 Compuestos volátiles.

También se ha encontrado que los compuestos volátiles en algunas frutas como la fresa, papaya y mango no se ven modificados significativamente por el proceso de irradiación, además se ha encontrado que el contenido de aminoácidos libres y el contenido de aminoácidos totales en estas frutas tampoco fueron afectadas por la irradiación, de igual manera, la composición de ácidos grasos se ha encontrado que es similar tanto en los frutos irradiados como en los no irradiados. Además se ha concluido que para evaluar el efecto de la irradiación sobre estos compuestos el grado de madurez debe ser tomado en cuenta, tanto en las muestras irradiadas como en los controles (Blakesley y col., 1979).

II.7.2 Dosimetría.

La Dosimetría es la medida de la dosis absorbida por la materia en un tejido expuesto directa o indirectamente a radiación ionizante. La magnitud física de mayor relevancia es la dosis de absorción. Se define como dosis de absorción la energía, impartida por la radiación a una cantidad infinitesimal de materia dividida por la masa. Esta magnitud se expresa en Joule por kilogramo (JKg^{-1}), y su unidad en el Sistema Internacional de Unidades (SI) se denomina Gray, en honor a uno de los pioneros de la física radiacional el Dr. L.H.Gray.

Para poder determinar su valor, se requiere colocar un sensor de volumen pequeño en el campo radiacional, con lo cual se obtiene el valor promedio sobre una masa finita, en este caso la masa del sensor. La dosis es una magnitud de especial importancia, pues permite cuantificar la energía cedida por la radiación al material y está directamente relacionada con los cambios que ocurren en dicho material. La dosis de absorción en un punto real de un material específico puede ser medida introduciendo en el mismo un sensor adecuado, denominado dosímetro. Cuando un dosímetro se coloca en un medio material durante el proceso por irradiación, él constituye una discontinuidad en el medio, llamada cavidad, ya que el dosímetro generalmente difiere del medio en densidad y número atómico, por tanto en sus propiedades de absorción radiacional. La energía absorbida en el dosímetro no será, en principio, igual a la absorbida en el medio. La dosis de absorción que es importante para los procesos por irradiación es por supuesto la dosis absorbida en el material irradiado pero aquella indicada por el dosímetro es una buena aproximación de la dosis que ha recibido el material.

La tecnología por irradiación gamma intenta irradiar los productos a un valor uniforme de dosis; pero en la práctica hay una variación de los valores de dosis absorbida por los materiales expuestos a la fuente de irradiación; esta variación es debida a que los materiales que se encuentran expuestos directamente a la fuente absorben una mayor dosis que aquellos que están protegidos por capas del mismo material, además, la propia geometría de los contenedores del alimento como de la cámara de irradiación tienen un efecto en la distribución de dosis en el producto tratado. Consecuentemente lo que se tiene dentro del volumen de irradiación es una distribución de dosis de absorción. Esta distribución de dosis se verá afectada por la presencia del producto o productos a irradiar, incluidos el envase y embalaje.

Por lo anterior, cada instalación de irradiación de alimentos que utilice rayos gamma debe realizar una determinación de la distribución de dosis sobre el producto mediante procedimientos estandarizados que permitan la evaluación estadística de las dosis absorbidas que a su vez permitan establecer la localización

de la región de la dosis mínima, D_{min} , y de la dosis máxima, D_{max} , sobre el producto. La medición para la distribución de dosis se realiza colocando dosímetros individuales distribuidos en todo el volumen del embalaje de un producto, el cual es irradiado conjuntamente con todos los productos que llenan la cámara de irradiación para una corrida completa. Para un mejor control del proceso de irradiación se introducen los conceptos de razón de uniformidad de dosis, como la relación D_{max}/D_{min} y de dosis global media, como el valor medio de la dosis sobre todas las mediciones realizadas en el producto. Los requerimientos del proceso específico son los que determinan los límites aceptables de dosis para el mismo, usualmente el límite mínimo de dosis está dado por el valor mínimo de dosis requerido para lograr los objetivos del proceso y el límite máximo está dado por el valor de dosis que podría causar daño al producto o a su embalaje, o por el valor máximo de dosis permitido por las regulaciones sanitarias para el producto en cuestión. Para el caso de la aplicación de esta tecnología en frutas y hortalizas; las disposiciones de certificación de las instalaciones de irradiación y de los procedimientos y normas que deben seguirse para la irradiación de estos productos se encuentran especificados en los Capítulos 5 y 6 del “Fresh fruit and Vegetable Import Manual” (USDA; APHIS, 2010)

II.8 Importancia comercial del mango en México.

De acuerdo con los datos del Sistema de Información Agropecuaria (SIAP, 2008), para el año 2008, México produjo alrededor de 1.5 millones de toneladas de mango (Figura 2) y ello lo ubicó como el cuarto país productor de este fruto a nivel mundial, después de la India (11.4 millones de toneladas), China (3.3 millones de toneladas) y Tailandia (1.7 millones de toneladas). Sin embargo, es el principal país exportador que aporta aproximadamente del 30 al 40% de los volúmenes exportables en el mercado Internacional. El valor de la producción en campo para México en el año 2005 fue de 3409 millones de pesos (Figura 3), generando divisas por unos U\$129 millones de dólares. En orden de importancia las principales entidades productoras

de mango en el país son: Veracruz, Michoacán, Nayarit, Guerrero, Sinaloa, Oaxaca, Chiapas, Colima y Jalisco (Súmamo, 2009; Mondragón, 1999).

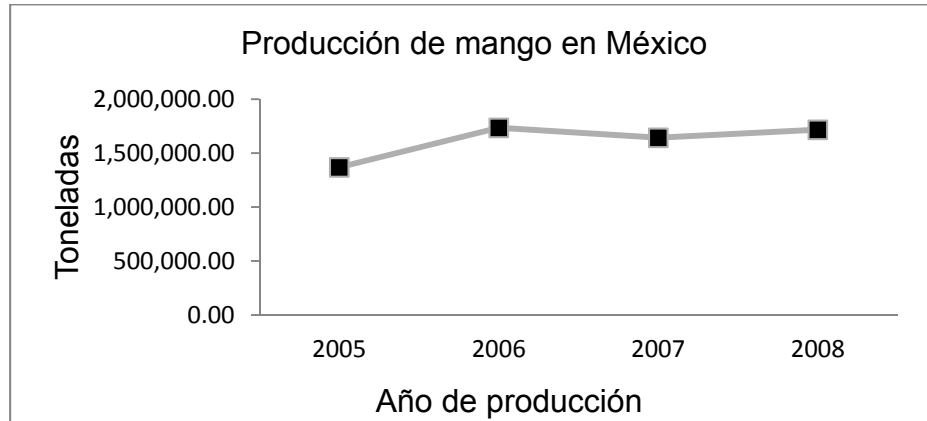


Figura 2. Producción de mango en México 2005 a 2008.

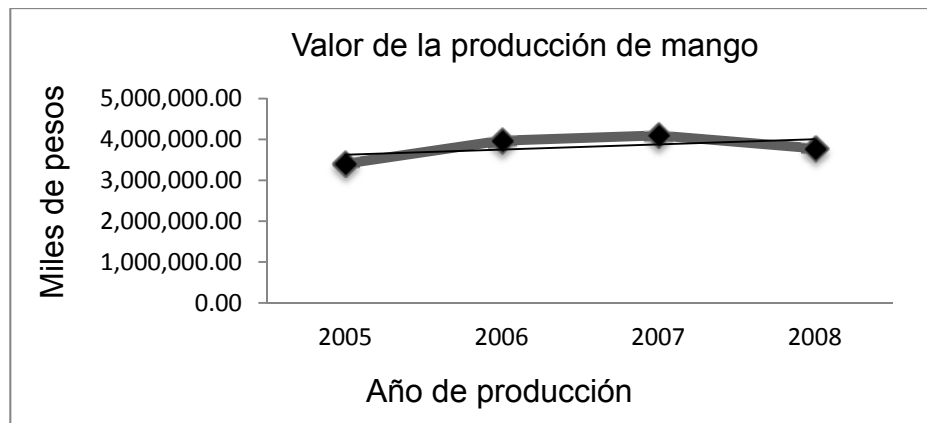


Figura 3. Valor de la producción de mango en México de 2005 a 2008. (SIAP, 2008).

II.8.1 Exportación del mango.

El principal mercado de las exportaciones mexicanas, lo constituye EE.UU., mismo que en años recientes ha experimentado una creciente demanda; llegando a las 270 mil toneladas (Súmamo, 2009). Sin embargo, para que el mango pueda ser comercializado tanto en el interior como en el exterior de México, este debe de cumplir con los siguientes criterios de calidad de acuerdo a la norma establecida

por la Asociación de Empacadoras de Mango de Exportación, A.C. (EMEX) que indica lo siguiente.

Generales: Los mangos deberán estar:

- Enteros y limpios.
- De consistencia firme.
- De aspecto fresco.
- Sanos: excluir aquellos afectados por pudrición o deterioro.
- Exentos de materias extrañas visibles, manchas o estrías necróticas, de magulladuras profundas, prácticamente exentos de daño por plagas, bajas temperaturas, de humedad externa, excepto la debida al frigorífico, y de olor o sabor extraños.
- Con un grado de madurez satisfactorio y adecuado.

El desarrollo y condición de los mangos debe ser tal que permita continuar el proceso de maduración hasta que éstos alcancen el grado de madurez adecuado, correspondiente a cada variedad, asimismo, deberá soportar el transporte, manipulación y llegar en buen estado a su destino.

Los mangos destinados a exportación se clasifican en diferentes categorías definidas de la siguiente forma:

- Categoría Extra: Los mangos deben ser uniformes, libres de daños, en excelente presentación. Sin defectos, excepto aquellos superficiales muy leves y que no afecten el aspecto del fruto, la calidad, estado de conservación y su presentación en el envase.

- Categoría I: Deben ser uniformes, con buena presentación. Se permiten los defectos leves siempre que estos no afecten el aspecto general del fruto, calidad, estado de conservación y su presentación en el envase.

Algunos de estos defectos pueden ser leves tanto en la forma, en la piel por fricción o quemado de sol, manchas por exudación de resina (quemado de látex) y magulladuras cicatrizadas

- Categoría II: Comprende mangos que no pueden clasificarse en otra categoría superior, pero cumplen los requisitos indispensables para calificar como mangos de exportación.

Los defectos permitidos son de forma, de cáscara debido a fricción, quemaduras por el sol, manchas suberizadas por exudación de resina y magulladuras cicatrizadas.

- Las categorías I y II permiten presencia de amarillamiento de las variedades de color verde por exposición al sol y no debe presentar zonas de necrosis.

Peso: El peso de los frutos no debe ser menor de 165 g y no mayor de 700 g, clasificándolos en 12 calibres diferentes de acuerdo a este parámetro.

- Color de la pulpa: Los siguientes requisitos de la norma sólo aplican a los mangos destinados al mercado de exportación.
 - Crema: pulpa totalmente crema, no blanca.
 - Cambiante: rompimiento de color crema a amarillo.
 - Amarillo: más de 30% y no más del 60% de la pulpa es de color amarillo.
 - Amarillo-naranja: más del 60% de la pulpa es de color amarillo, cambio definido a color naranja en no más del 30% de la pulpa.
 - Naranja: más del 90% de la pulpa tiene color naranja.

Presentación del producto: La porción de frutos visibles en el envase debe ser representativa de todo el producto, el contenido debe ser homogéneo y contener mangos del mismo origen, variedad, calidad y calibre. Los mangos deberán estar correctamente envasados para que no sufran daño por transporte.

Etiquetado: La etiqueta debe contener datos según el mercado (NOM-129):

a) Consumo nacional:

- Nombre o razón social y domicilio del productor o emparador y, en su caso del importador.
- Nombre del país o región de origen
- Nombre genérico del producto: "Mango".
- Variedad del producto.
- Contenido en kilogramos (promedio).
- Grado de clasificación según la NMX-FF-058.
 - Extra
 - Primera
 - Segunda
 - Subestandar
 - Mango niño

b) Exportación:

- Identificación: Exportador, envasador o expedidor.
- Naturaleza del producto: Nombre del producto, nombre de la variedad o tipo comercial.
- Origen del producto: País de origen, lugar donde se cultivó (EMEX, 1998).

II.8.1.1 Requisitos fitosanitarios de Estados Unidos para el mango mexicano.

Para el mango mexicano destinado al mercado de Estados Unidos, existen regulaciones estrictas para su exportación con el fin de evitar que algunas de las plagas que se albergan en este producto se propaguen en ese país. Por ello y como se ha mencionado anteriormente la USDA y APHIS han establecido los protocolos T-102a para el caso de los tratamientos con agua caliente. En el Cuadro 3 se resumen las condiciones generales aprobadas por USDA para la aplicación de este tratamiento.

Cuadro 3. Directrices para la aplicación del tratamiento hidrotérmico en mango

Origen del Mango	Forma	Peso (g)	Tiempo (min)
México y Centro América	Variedades planas	Hasta 375	65
	y alargadas	376 a 570	75
	Variedades Redondas	Hasta 500	75
		501 a 700	90
		701 a 900	110

Para el caso del tratamiento por irradiación, la norma T105a-1 de la USDA establece que los mangos de origen Mexicano deben ser tratados a una dosis mínima de 150 Gy y máxima de 1000 Gy en frutos cuyos pesos no excedan los 380 g. No obstante, esta norma tiene por objetivo el esterilizar las moscas de interés fitosanitario y no advierte sobre los cambios de calidad que este rango de dosis puede tener en la calidad y aceptación de los frutos.

De acuerdo con los antecedentes anteriormente descritos, el presente trabajo pretende dar información respecto del efecto que pueda tener la aplicación de distintas dosis de irradiación sobre la calidad fisicoquímica y aromática de frutos de mango cv 'Ataulfo' cosechados en distintos estados de madurez y almacenados a distintas temperaturas.

III. HIPÓTESIS

La calidad poscosecha del mango cv. 'Ataulfo' y los compuestos volátiles del mismo no son afectados por la dosis de irradiación aplicada, únicamente por la temperatura de almacenamiento.

IV.OBJETIVOS

IV.1 General.

Evaluar el efecto de distintas dosis de irradiación gamma en la calidad poscosecha de mango cv 'Ataulfo'.

IV.2 Específicos.

1. Determinar los cambios en la calidad visual externa, y fisicoquímica como la pérdida de peso, cambio de color de la pulpa y piel, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable y contenido de ácido ascórbico en mango 'Ataulfo' tratado con diferentes dosis de irradiación gamma, almacenado a diferentes temperaturas y estado de madurez.
2. Evaluar el efecto de la irradiación gamma en el perfil de aroma de mango cv 'Ataulfo'.

V.METODOLOGÍA

V.1 Materiales utilizados.

Frutos de mango cv 'Ataulfo' en estado $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$

Balanza digital

Espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002

Texturómetro TA-HD (Stable Micro Systems)

Sonda plana de aluminio de 50.8mm de diámetro

Refractómetro Abee

Homogeneizador ULTRA.TURRAX T25

Cámara fotográfica

Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas Hewlett Packard 6890 provisto de automuestreador.

Sistema de adquisición de datos Chemstation S/W G2070

Columna capilar HP-5MS

Manta de cielo

Embudos

Soportes Universales

Micropipeta de 5ml

Matraz Erlen Meyer de 25ml

Bureta de 25ml

Probeta de 25ml

Matraz Kuderna Danish de 50ml graduado de 0 a 0.4ml

Refrigerante

Matraz bola de 50ml

Columna Vigreux

Vortex

Centrifuga

Baño María

Termómetro de -10 a 110°C

Pipeta pasteur
Mangueras
Microespátula
Fracos ámbar
Tubos de ensayo de 50ml de plástico con tapa
Solución de hidróxido de sodio 0.1N
Solución de fenolftaleína al 1%
Solución de ácido metafosfórico al 3%
Solución estándar de 0.1 mg de ácido ascórbico/mL
Solución pentano/diclorometano 3:1 v/v
Sulfato de sodio anhidro
Agua destilada
Gas Nitrógeno
Gas Helio

V.2 Métodos.

V.2.1 Selección y empaque.

Los 576 frutos de mango cv 'Ataulfo' en madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ calibre 16 fueron obtenidos de la empacadora 'Aribania' ubicada en el Municipio de Tecuala Nayarit donde fueron seleccionados por tamaño y empacados, en cajas de cartón para exportación (31x38x14 cm) que contenían 16 frutos por caja.

V.2.2 Transporte.

Los mangos fueron transportados hasta la planta irradiadora Sterigenics ubicada en Tepeji del Río, Hidalgo, México donde fueron irradiados de acuerdo al diseño experimental propuesto.

A su llegada a la planta irradiadora los paquetes de cajas se separaron en frutos control y frutos tratados. Posterior a la aplicación de tratamientos, la fruta tratada y no tratada fue trasladada al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se almacenaron a diferentes temperaturas y se realizaron las evaluaciones durante el almacenamiento.

V.2.3 Tratamiento de irradiación.

Las cajas de mango se sometieron a diferentes dosis de irradiación (0, 0.15, 0.6 y 1.0 kGy) de acuerdo al diseño experimental, en un Irradiador Gamma industrial con fuente de Cobalto-60, en las instalaciones de la compañía Sterigenics S.A ubicada Tepeji en del Río, Hidalgo, México (Figura 4)

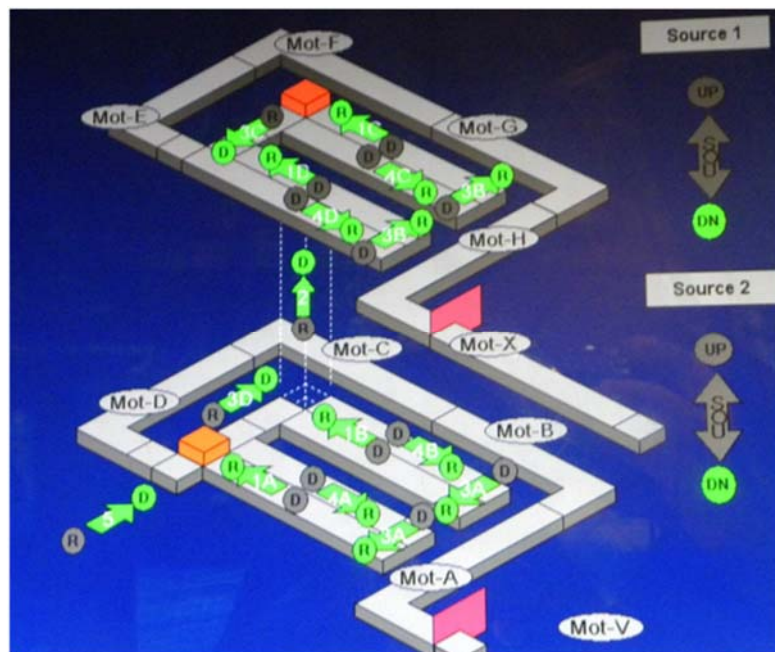


Figura 4. Planta de irradiación gamma con fuente de Co_{60} . Ubicación de cajas en la planta superior.

V.2.4 Distribución de dosis de irradiación.

Se verificó la distribución de dosis de irradiación en cada conjunto de cajas de frutos. En cada caja, se colocaron dos dosímetros de alanina, uno en el fruto ubicado en el centro geométrico de la caja y el otro en uno de los frutos localizado en una esquina de la misma caja; después de cada tratamiento, los dosímetros se retiraron y se analizaron en un equipo de resonancia de spin electrónico (ESR, Bruker BioSpin's e-scan EPR, EUA) para registrar el nivel de dosis absorbida. Con los datos de dosis absorbida en ambos puntos de cada caja se determinó la distribución de dosis en cada caja y en el conjunto de cajas ubicadas en la cámara de irradiación.

La distribución de dosis se calculó de acuerdo a la relación $UD=D_{max}/D_{min}$, la cual debía de ser menor de 3.

V.2.5 Muestreo durante el almacenamiento.

En el laboratorio, los frutos fueron distribuidos bajo las distintas temperaturas de conservación (10 y 20°C) de acuerdo al diseño experimental. Cada seis días y durante un periodo de 20 días de almacenamiento, se realizaron muestreos de tres frutos de cada uno de los tratamientos para realizar las determinaciones de todas las variables de respuesta establecidas. Al inicio del muestreo, una muestra de cada tratamiento fue evaluada para todas las variables de respuesta y estos datos constituyeron el registro en el tiempo 0.

V.2.6 Análisis Físicos.

V.2.6.1 Pérdida fisiológica de peso.

Todos los frutos fueron identificados al inicio de los experimentos y pesados individualmente mediante una balanza digital. Durante cada muestreo cada fruto

fue pesado nuevamente. Con estos datos, se determinó la pérdida de peso de los frutos respecto del peso inicial el resultado se expresó como porcentaje del peso inicial.

V.2.6.2 Color.

El color de la pulpa (interno) se evaluó en la zona más cercana a la semilla y el color externo fue determinado en la epidermis de la zona ecuatorial de los frutos. Se midió la luz reflejada utilizando un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002 (Konica Minolta, Alemania) donde se registraron los valores de luminosidad (L^*), a^* y b^* de la escala internacional de color CIELAB y sus valores relacionados como índice de matiz (ángulo hue) y cromaticidad.

Los resultados se expresaron con los parámetros a^* y b^* , el primero expresa tonalidades desde verde (valores negativos) hasta rojos (valores positivos) y el valor b^* indica tonalidades desde azul (valores negativos) hasta amarillo (valores positivos) en el modelo cromático.

V.2.6.3 Firmeza.

La firmeza de la fruta se estimó utilizando un Texturómetro TA-HD (Stable Micro Systems), equipado con una sonda plana de aluminio de 50.8 mm de diámetro. La cual descendió a una velocidad de 2 mm s^{-1} Los frutos se sometieron a un esfuerzo de compresión hasta alcanzar una deformación equivalente al 3% respecto del diámetro ecuatorial del fruto y registrándose la fuerza necesaria para alcanzar dicha deformación así como la distancia recorrida por la sonda para alcanzar dicha deformación. Las mediciones se realizaron en cada una de las caras opuestas de cada fruto y el promedio de ambas mediciones se expresó como firmeza de cada fruto. (Mercado, 2009; Súmano, 2009).

V.2.7 Análisis químico.

V.2.7.1 Sólidos solubles totales.

Para los sólidos solubles totales (SST), se utilizó un refractómetro Abee. Previamente se calibrado con agua destilada a 20°C; una gota del jugo de cada fruto fue colocada en el prima del refractómetro y los resultados fueron expresados como °Brix (Norma Mexicana NMX-FF-058-SCFI, 2006).

V.2.7.2 Acidez titulable.

Para la cuantificación de acidez titulable, se tomaron 10 g de tejido fresco, se adicionaron 10ml de agua destilada; la mezcla se homogeneizó en un homogenizador ULTRA-TURRAX T25 durante 30 s a 13500 rpm, se filtró y se tomó una alícuota de 5ml para titularse con NaOH 0.1 N, empleando 0.3ml de solución de fenolftaleína al 1% como indicador (AOAC, 1998).

La acidez titulable fue expresada en % de ácido cítrico por cada 100 g de muestra, utilizándose la siguiente ecuación:

$$\%AC = \frac{N \times G \times V \times 6.4}{VA \times M}$$

Donde:

%AC: % ácido cítrico

N: normalidad NaOH

G: ml gastados NaOH

V: volumen aforado

VA: volumen de la alícuota

M: peso muestra en gramos

V.2.7.3 Ácido ascórbico.

El ácido ascórbico fue medido utilizando el método de titulación con 2,6-diclorofenol-indofenol siguiendo el método 43.059 de la AOAC (1980). Se agregaron 9ml de solución de ácido metafosfórico (HPO_3) al 3%, a 1 g de pulpa y se homogenizaron hasta formar una suspensión en el ULTRA-TURRAX T25 durante 30 seg a 9500 rpm/min. El homogenizado se filtró y se tomó una alícuota de 5ml del extracto, este se tituló con el colorante estandarizado hasta alcanzar el punto final de color rosa. La determinación del contenido de ácido ascórbico se calculó con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{C \times FC \times V \times 100}{VA \times M}$$

Donde:

A: mg. Ác. Ascórbico/100g muestra

C: ml gastados de colorante

FC: factor del colorante

V: volumen aforado

VA: volumen alícuota

M: peso muestra

El colorante se estandarizó en cada periodo de análisis siguiendo el protocolo siguiente; a 5ml de la solución estándar de 0.1 mg de ácido ascórbico/ml, se agregaron 5 ml de HPO_3 al 3% y desde una bureta se adicionó la solución colorante a estandarizar hasta alcanzar un color rosa durante 15 segundos. El factor del colorante (mg de ácido ascórbico/ml de solución colorante) se determinó mediante la siguiente expresión (AOAC, 1980):

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

V.2.8 Volátiles.

V.2.8.1 Extracción.

Se pesaron 22g de pulpa de mango en un tubo de centrifuga de 50mL con tapa, se añadieron 20mL de la mezcla de solventes pentano:diclorometano, 3:1 v/v la mezcla se homogeneizó por un minuto y posteriormente cada tubo fue sometido a agitación en vortex por 5 minutos.

Para realizar la separación de fases, los tubos fueron centrifugados a 6000rpm a 4 °C durante 15 minutos. Posteriormente se recuperó la fase orgánica de cada tubo y se colocó en un frasco ámbar, el extracto se deshidrató utilizando sulfato de sodio anhidro y fueron guardados en refrigeración para su conservación hasta la concentración.(Flores, 2001)

V.2.8.2 Concentración.

La concentración de cada uno de los extractos se realizó utilizando el equipo Kuderna-Danish (Figura 5). El extracto fue colocado en el matraz y calentado en baño María a una temperatura no mayor a 40 °C, para separar el solvente en exceso. El extracto fue concentrado hasta un volumen cercano a 0.4 mL, (Figura 6) y posteriormente ajustado hasta 0.4 mL a través de una corriente de nitrógeno, el concentrado se transfirió a un vial de vidrio, se engargoló y se conservó a -85 °C (Flores, 2001).



Figura 5. Equipo Kuderna-Danish utilizado para concentrar los extractos de aroma de mango.



Figura 6. Extracto de mango concentrado después de la extracción con la mezcla de solventes.

V.2.8.3 Análisis cromatográfico.

Los extractos concentrados fueron analizados por cromatografía de gases, utilizando un cromatógrafo 7890a (Agilent Technologies, Palo Alto, Ca.) con auto muestreador (CTC Pal) y sistema de adquisición de datos Chemsation S/W G2070, acoplado a un espectrómetro de masas 5975C (Agilent Technologies) (Figura 7).

Para la separación de volátiles se utilizó una columna HP-5MS y helio como gas acarreador. Las condiciones de trabajo se muestran en el Cuadro 4.



Figura 7. CG-MS. Equipo de cromatografía acoplado a masas utilizado para la separación e identificación de los compuestos volátiles del mango.

Cuadro 4. Condiciones de operación para el análisis de volátiles por CG-MS.

Flujo gas acarreador	2mL/minuto
Temperatura del inyector	250°C
Temperatura del detector	250°C
Rampa de temperatura	40°C durante 3 minutos, una rampa de 8°C/min hasta 100°C y una segunda rampa de 5°C/min hasta 250°C durante 25 minutos.
Split	25:1
Volumen de inyección	1µL

Dada la complejidad que implicó la identificación de cada uno de los compuestos separados por el cromatógrafo de gases y para los alcances de este trabajo, se

decidió solo realizar un estudio prospectivo de lo que ocurre al conjunto de compuestos volátiles respecto de los tratamientos de irradiación aplicados. Por ello se inspeccionaron los cromatogramas obtenidos y se agruparon las áreas de los picos en determinados intervalos de tiempo de retención y estas fueron comparadas entre los diferentes estados de madurez temperaturas de almacenamiento, dosis de irradiación y periodos de muestreo. Los diferentes grupos de tiempo de retención elegidos fueron los que se indican en el Cuadro 5 y también se muestran los códigos empleados en la construcción de gráficas para cada uno de ellos:

Cuadro 5. Agrupación de tiempos de retención obtenidos del análisis cromatográfico.

Intervalos de Tiempos de Retención	Código del periodo
0 – 6	1
6.1 – 10	2
10.1 – 16	3
16.1 – 21	4
21,1 – 28	5
28.1 - 33	6
33.1 - 38	7
38.1 – 43	8
43.1 -48	9
48.1 - 52	10
52.1 - 56	11
56.1 final	12

Las áreas de los picos incluidos dentro de los periodos de tiempos de retención indicados fueron sumadas para cada cromatograma en conjunto con los valores obtenidos de la repetición analizada y estos datos fueron mostrados gráficamente.

V.3 Diseño experimental.

El estudio se desarrolló con la variedad ‘Ataulfo’ y se aplicó un experimento factorial completo de 3 factores (estado de madurez, dosis de irradiación y temperatura de

conservación) con dos repeticiones con dos niveles de variación para dos de los factores (dos estados de madurez y dos temperaturas de conservación) y cuatro niveles para la dosis de irradiación lo cual generó un diseño experimental de 24 tratamientos. La unidad experimental para el muestreo fue de 3 frutos para cada periodo de muestreo y fue repetido por duplicado.

Factores y niveles estudiados:

- Dosis de irradiación gamma: 4 niveles (0, 0.15, 0.6 y 1.0 kGy).
- Estados de madurez: 2 niveles (1/4 y 3/4)
- Temperaturas de conservación: 2 niveles (10 y 20 °C). Un conjunto adicional de frutos fue transferido de 10 a 20°C durante 6 días.

VARIABLES DE RESPUESTA:

- Análisis fisiológico: pérdida fisiológica de peso, color (interno y externo) y firmeza.
- Análisis químico: SST, acidez total, ácido ascórbico, compuestos volátiles.

Número de frutos:

Se tuvo un total de 24 tratamientos a evaluar por día. Se consideró que una evaluación representativa de cada tratamiento debería ser hecha en 3 frutos independientes por tratamiento para obtener una idea más cercana de lo que ocurre en el conjunto de cada experimento. Por ello el número de frutos evaluados por muestreo fue de 144 en total.

Dado que las evaluaciones duraron 20 días de almacenamiento, el número de muestreos durante el periodo de almacenamiento fueron 4; por lo que los frutos evaluados fueron 576.

Los datos resultantes del estudio se analizaron a través de un análisis de varianza (ANOVA). Cuando se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó una comparación de medias usando el test de Tuckey a un nivel de

significancia de 0.05. Estos análisis fueron realizados utilizando el paquete de cómputo estadístico JMP versión 5.0.1

VI.RESULTADOS

VI.1 Distribución de dosis recibida.

El Cuadro 6 resume los valores de dosis mínima, máxima, mediana y media registradas en diferentes zonas de las cajas (centro y esquinas de las cajas) para cada una de las dosis de estudio propuestas, con los cuales fue posible calcular la uniformidad de dosis para cada una de las dosis aplicadas. Como era de esperarse, los frutos colocados hacia las orillas de las cajas recibieron los niveles de dosis más altos en cada una de las dosis propuestas debido a que estos frutos se ubicaron más cerca de la fuente de rayos gamma, mientras que los frutos ubicados en el centro recibieron una dosis menor de la fuente de irradiación.

Cuadro 6. Valores promedio de Dosis mínima, máxima, mediana y media (kGy) recibida por los frutos.

Dosis nominal	Dosis mínima	Dosis máxima	Mediana	Media
0.15	0.18	0.26	0.220	0.219 ± 0.02
0.6	0.54	0.82	0.645	0.672 ± 0.081
1	0.95	1.430	1.125	1.172 ± 0.144

La Figura 8 muestra de manera gráfica esa distribución de dosis. Los cálculos de Uniformidad de dosis variaron entre 1.4 y 1.5, los cuales están por debajo del valor de referencia (3.0) que se señala como límite para los procesos industriales de irradiación de frutas; No obstante, estos valores registrados no tienen significado industrial puesto que la colocación de las cajas de los frutos dentro de la cámara de irradiación no correspondió a un patrón de tratamiento aplicable industrialmente puesto que los experimentos se realizaron con el objeto de aplicar las dosis lo más cercanas posibles a las dosis propuestas es decir una uniformidad de dosis lo más cercana posible a 1.

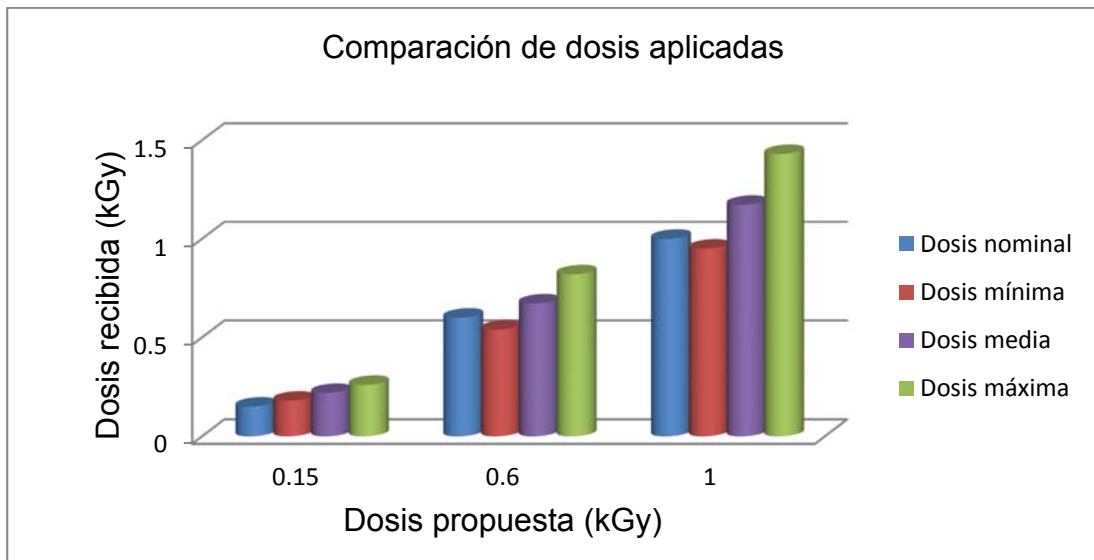


Figura 8. Dosis de irradiación absorbidas por frutos de mango sometidos a las dosis de irradiación propuestas (valores del eje horizontal).

Los valores de dosis aplicadas registrados para la dosis propuesta de 0.15 kGy estuvieron dentro del intervalo de 0.18 a 0.26 kGy lo cual indicó que ninguno de los frutos recibió dosis por debajo de la dosis mínima autorizada por la USDA (0.15 kGy). Para el caso de la dosis propuesta de 0.6 kGy, el intervalo de valores registrado fue de 0.54 a 0.82 kGy mientras que para el de 1.0 kGy fue de 0.95 y 1.43 kGy indicando un mayor intervalo de variación en estas dosis.

De acuerdo con las dosis máximas autorizadas por la USDA, en el grupo de frutos sometidos a dosis nominales de 1.0 kGy hubo frutos que superaron esta norma. Este aspecto será importante para tener en cuenta respecto de las respuestas que tenga el fruto a altas dosis de irradiación.

VI. 2 Análisis general del efecto de los factores en estudio sobre las variables de respuesta.

En el Cuadro 7 se muestran los valores de probabilidad obtenidos del análisis de varianza para cada uno de los factores de estudio así como de sus interacciones en cada muestreo sobre las variables de respuesta analizadas.

Cuadro 7. Valores de probabilidad para los factores de dosis, temperatura, estado de madurez y sus interacciones en cada periodo de muestreo.

Día	Factor	Color interno							
		Firmeza	SST	%PPT	Ác. ascórbico	Acidez total titulable	L*	a*	b*
1	Dosis (D)	0.081	0.715	0.321	0.059	0.416	0.274	0.382	0.459
	Temperatura (T)	0.963	0.322	0.691	0.251	0.4	0.277	0.285	0.329
	Madurez (M)	0.919	0.322	0.886	0.038	0.417	0.832	0.653	0.139
	D*T	0.085	0.949	0.108	0.437	0.970	0.683	0.741	0.150
	D*M	0.754	0.309	0.439	0.073	0.614	0.168	0.258	0.247
	T*M	0.003	0.382	0.032	0.291	0.107	0.311	0.531	0.674
7	Dosis (D)	0.001	0	0.796	0.328	0.341	0.206	0.025	0.473
	Temperatura (T)	0	0	0	0.002	0	0.008	0	0
	Madurez (M)	0.001	0.003	0.112	0.337	0.058	0.366	0.331	0.128
	D*T	0.001	0.426	0.069	0.674	0.327	0.053	0.257	0.165
	D*M	0.158	0.023	0.121	0.062	0.044	0.218	0.196	0.141
	T*M	0.008	0.110	0.382	0.097	0.048	0.777	0.252	0.927
13	Dosis (D)	0.021	0	0.113	0.001	0	0.009	0	0.029
	Temperatura (T)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Madurez (M)	0.843	0.462	0.191	0.001	0.003	0.867	0.565	0.06
	D*T	0.018	0.167	0.520	0.385	0.782	0.993	0.856	0.111
	D*M	0.030	0.395	0.814	0.353	0.078	0.809	0.968	0.133
	T*M	0.394	0.364	0.969	0.759	0.526	0.457	0.840	0.903
19	Dosis (D)	0.543	0	0.353	0	0.321	0.756	0.001	0.012
	Temperatura (T)	0.013	0.022	0	0.115	0	0	0	0.718
	Madurez (M)	0.392	0.589	0.616	0.702	0.660	0.896	0.816	0.859
	D*T	0.003	0.287	0.282	0.479	0.213	0.606	0.658	0.445
	D*M	0.192	0.490	0.627	0.871	0.204	0.179	0.040	0.978
	T*M	0.520	0.286	0.122	0.015	0.216	0.432	0.648	0.233

Después de un día del tratamiento de irradiación, la dosis aplicada, la temperatura de almacenamiento y sus interacciones no tuvieron un efecto significativo sobre los parámetros de calidad evaluados. La interacción entre la temperatura de almacenamiento y estado de madurez tuvo un efecto significativo en la firmeza ($p= 0.003$) y pérdida de peso ($p= 0.038$).

Conforme avanzaron los días de almacenamiento, la temperatura fue el único factor que tuvo un efecto significativo en los cambios de la calidad poscosecha del mango y en menor grado la dosis de irradiación, mientras que el estado de madurez no ejerció un efecto claramente importante en las respuestas observadas.

Todas las interacciones analizadas no mostraron efectos claros sobre las variables respuestas y solamente la interacción dosis*temperatura mostró significancia desde el segundo muestreo hasta el último en la firmeza ($p= 0.001$ y $p= 0.003$); mientras que la interacción dosis*madurez tuvo efectos en el segundo muestreo sobre los SST ($p= 0.023$) y el contenido de acidez total titulable ($p= 0.044$) y en el tercer muestreo lo tuvo para la firmeza ($p= 0.030$) aunque esto no fue observado en el primero y último muestreo.

En la figura 9 se muestra el efecto de la interacción dosis*temperatura sobre la firmeza; de manera importante la firmeza fue mayor en los frutos almacenados a 10°C respecto de los almacenados a 20°C ; mientras que los frutos transferidos de 10°C a 20°C mostraron los valores más bajos de firmeza. Así mismo se observó que la dosis no tuvo un efecto claramente significativo en los valores de firmeza a excepción de los frutos irradiados con 1 kGy y almacenados a 10°C los cuales mostraron valores de firmeza significativamente menores que el resto de los demás frutos. Este efecto puede ser explicado por el desarrollo de tejido esponjoso que desarrollaron estos frutos.

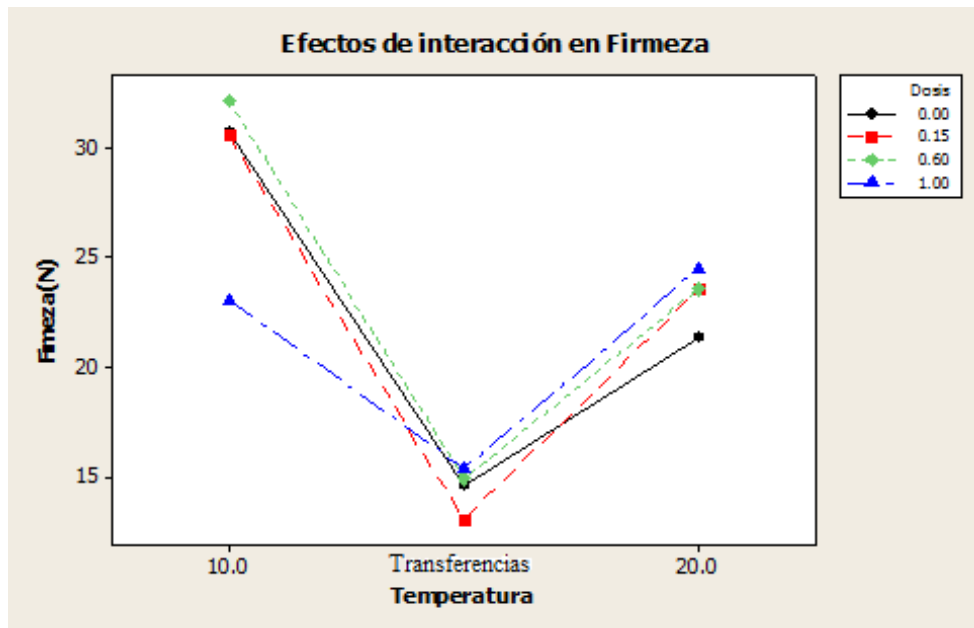


Figura 9. Efectos de la interacción dosis*temperatura sobre la firmeza.

En la figura 10, se muestran los efectos de la interacción dosis*madurez sobre el contenido de SST, se puede observar que a dosis de irradiación más altas disminuyó el contenido de sólidos solubles totales, lo cual puede indicar un posible retraso de la maduración de los frutos. No obstante, es difícil de explicar el porqué se observó un menor contenido de sólidos solubles totales en los frutos control en estado de madurez $\frac{3}{4}$, es posible que se hayan tenido problemas en identificar claramente el estado de madurez al inicio de los experimentos.

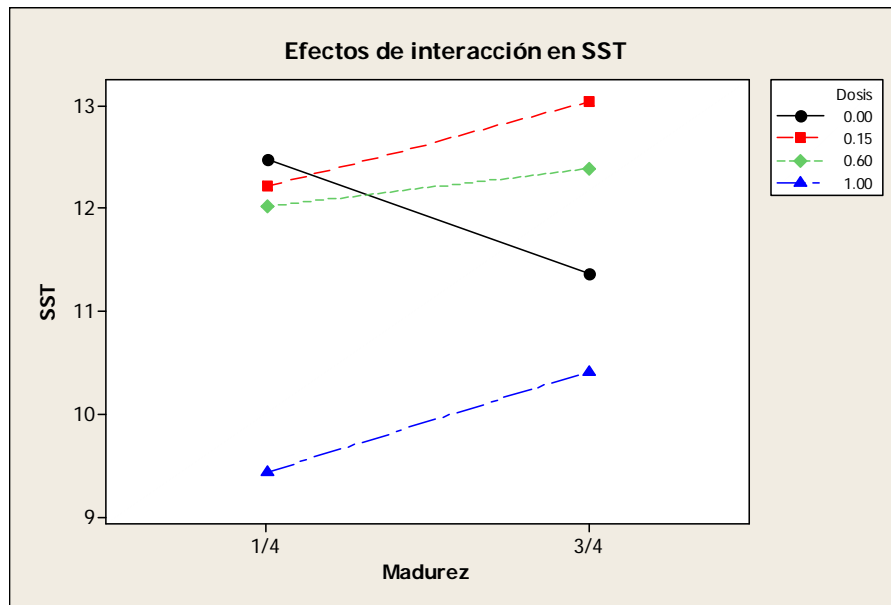


Figura 10. Efectos de la interacción dosis*madurez sobre el contenido de SST.

VI.3 Análisis físicos.

VI.3.1 Pérdida fisiológica de peso.

En el Anexo 1 se recoge el valor de las medias y la comparación estadística de la pérdida fisiológica de peso para cada temperatura, estado de madurez y periodo de muestreo mientras que la Figura 11 muestra de manera grafica el comportamiento que tuvo esta variable para cada uno de los tratamientos estudiados. En ellos se puede apreciar que el factor más importante que influyó en la pérdida de peso fue la temperatura de almacenamiento pues a 10 °C, en ambos estados de madurez, se observaron las menores pérdidas de peso (0.5 a 8%) respecto de las registradas a 20 °C (0.6 a 11%). La comparación estadística entre los diferentes tratamientos para un mismo estado de madurez y temperatura (Anexo 1) y periodo de muestreo no mostró diferencias entre los frutos control y los diferentes tratamientos de irradiación y sólo se observaron diferencias entre los diferentes periodos de almacenamiento lo cual es un comportamiento lógico pues se espera que a medida que transcurre el almacenamiento la pérdida de peso se incremente.

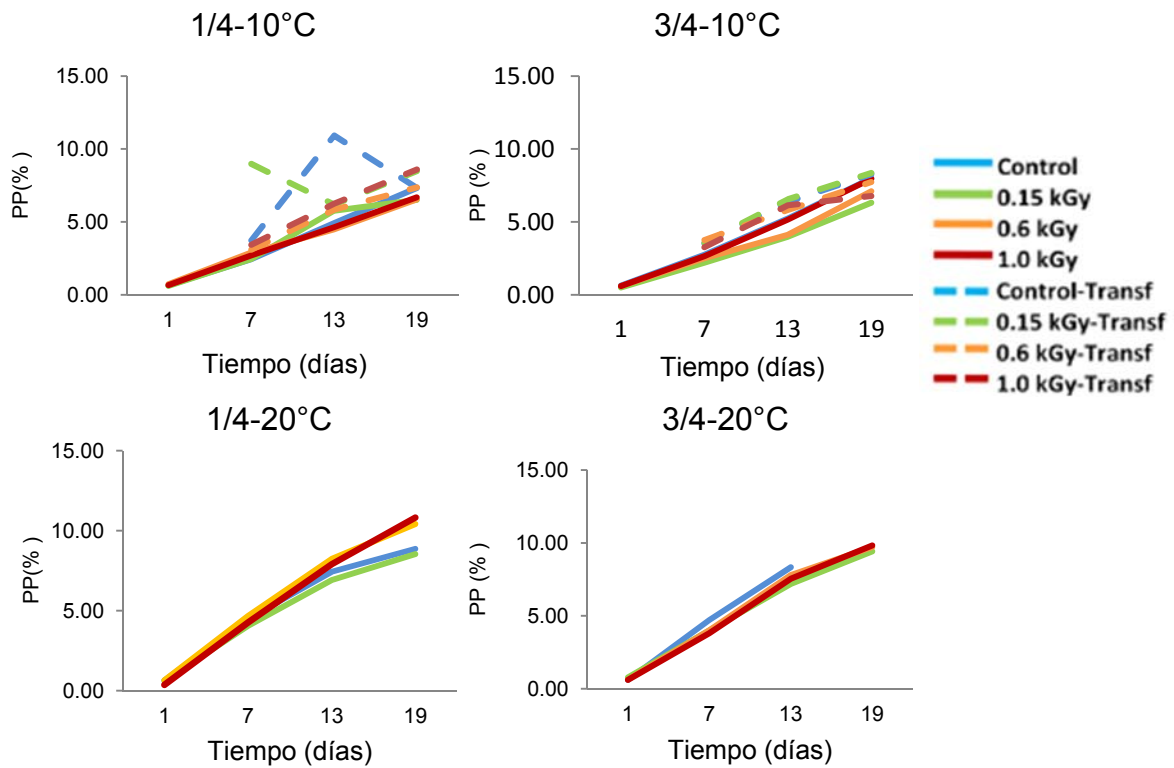


Figura 11. Porcentaje de pérdida fisiológica de peso en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0 kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20°C)

Los frutos que fueron transferidos de 10°C a 20°C tampoco mostraron diferencias significativas de pérdida de peso asociadas a la dosis de irradiación (Figura 12), pudiéndose observar que el estado de madurez el que ejerció mayor influencia en la pérdida fisiológica de peso.

Al final del experimento se pudo observar que las dosis de alrededor 1.0 kGy afectan de manera importante la calidad del fruto en estado de madurez de 3/4 y que una pérdida en peso mayor al 8% era suficiente para considerarlo deteriorado ya que las características fisiológicas de estos frutos ya no permitían continuar con los análisis de este estudio.

VI.3.2 Color.

VI.3.2.1 Color interno.

En el color de la pulpa evaluado por el valor a^* expresa tonalidades desde el verde (valores negativos) hasta rojos (valores positivos) y el parámetro b^* indica tonalidades desde azul (valores negativos) hasta amarillo (valores positivos) en el espacio de color. Las Figuras 11 y 12, y el Anexo 2 y 3 se muestran los comportamientos que tuvieron estos parámetros así como su comparación de medias a lo largo del almacenamiento de los frutos sometidos a los diferentes tratamientos. Tomando en consideración el valor a^* , los mayores cambios de color ocurrieron en frutos almacenados a 20°C; en comparación de los frutos almacenados a 10°C donde la evolución de color fue escasa (Anexo 2, Figura 12). Respecto del estado de madurez y periodo de almacenamiento, los frutos de ambos estados de madurez que fueron almacenados a 10°C no mostraron diferencias significativas asociadas a las dosis de irradiación y tampoco se registraron diferencias significativas entre los diferentes días de almacenamiento (Anexo 2) confirmándose que a 10 °C se frenó el cambio de color. A 20 °C no se observaron diferencias significativas entre las dosis de irradiación aplicadas aunque si se presentaron diferencias entre los valores registrados los primeros 7 días de almacenamiento respecto de aquellos registrados el día 13 los cuales fueron significativamente mayores observándose con ello que el patrón de cambio de este valor de color transcurrió de manera similar durante el almacenamiento y fue independiente de la dosis de irradiación.

Los frutos transferidos de 10 a 20 °C de ambos estados de madurez, no mostraron diferencias significativas entre las diferentes dosis aplicadas (Anexo 2) no obstante, los frutos irradiados a 1.0 kGy tendieron a mostrar menores valores de a^* .

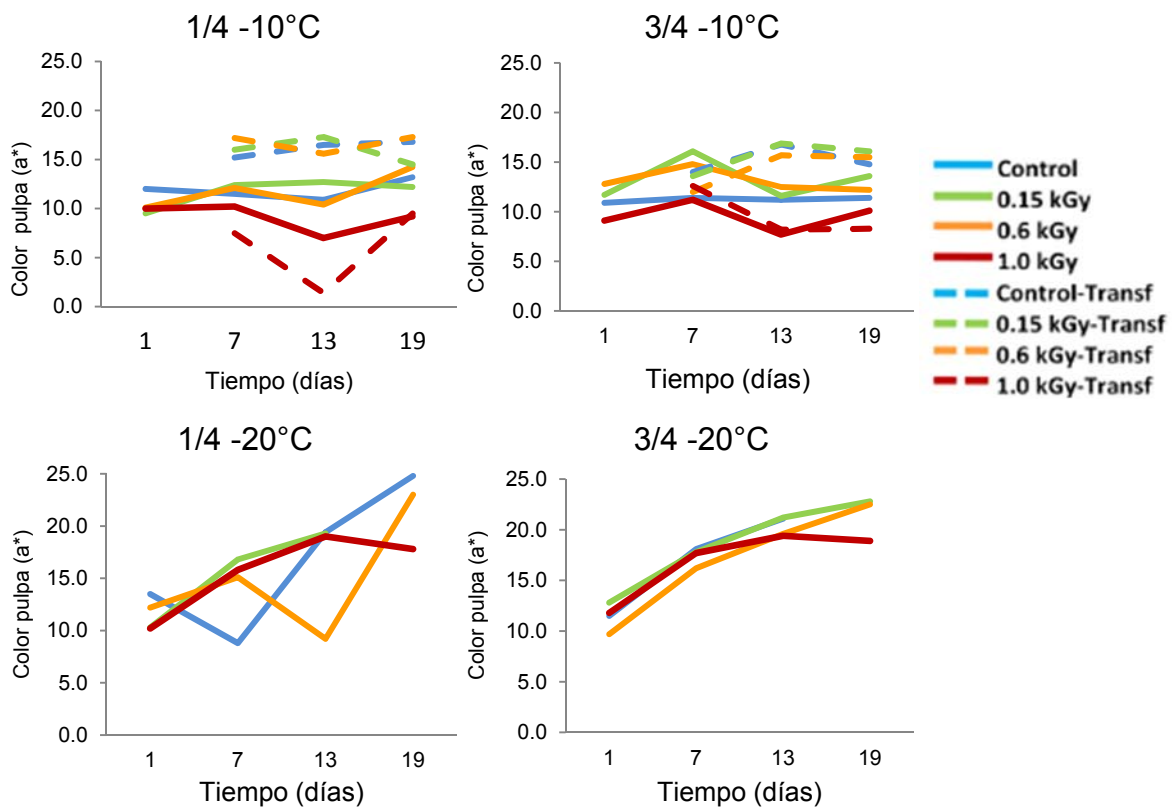


Figura 12. Cambios en el color de la pulpa (valor a*) en frutos de mango ‘Ataulfo’ en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0 kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20 °C).

El análisis estadístico del valor b* a 10 °C y en ambos estados de madurez no determinó diferencias estadísticas significativas entre las diferentes dosis aplicadas ni periodos de almacenamiento; esto mismo ocurrió para los frutos en estado de madurez ¼ almacenados a 20 °C en tanto que para el estado de madurez ¾ tampoco se observó un efecto importante de la dosis de irradiación excepto que al final del periodo de almacenamiento, los frutos irradiados a 1.0 kGy mostraron los valores más bajos señalando un posible efecto de alteración o retraso del color de estos frutos (Anexo 3 y Figura 13).

Los frutos transferidos de 10 a 20 °C, tampoco mostraron diferencias entre las dosis de irradiación aplicadas durante los periodos de almacenamiento analizados

(Anexo 3); excepto que los frutos tratados a 1 kGy mostraron valores más bajos respecto de los demás tratamientos (Figura 13).

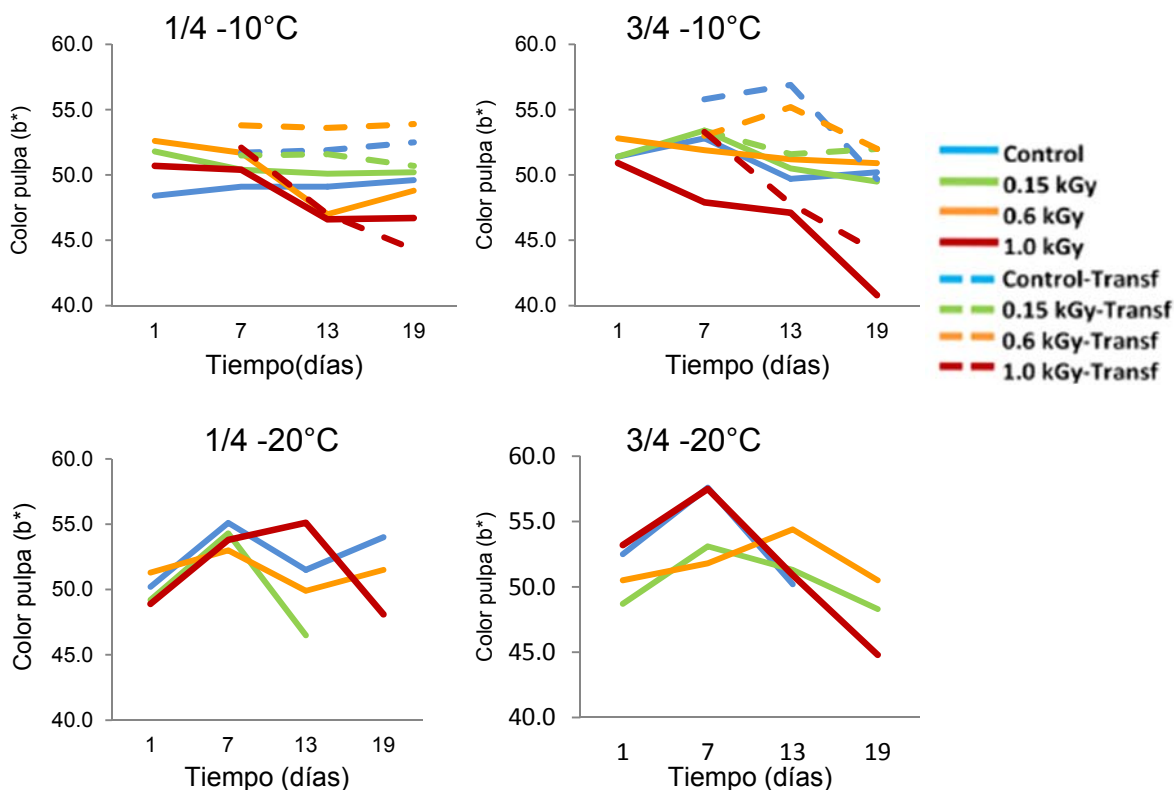


Figura 13. Cambios en el color de la pulpa (b*) en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0 kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20°C).

VI. 3.2.2 Cambios en la calidad visual interna de los frutos.

Las Figuras 13 y 14 muestran imágenes representativas del aspecto visual interno de los frutos de mango en estados de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ respectivamente y después de 19 días de almacenamiento a 10 y 20 °C. El desarrollo de color fue mejor en los frutos almacenados a 20 °C respecto del observado a 10°C lo cual muestra el efecto retardador de la maduración que tuvo la temperatura de 10 °C. No obstante, un aspecto que llama la atención de estas figuras es que los frutos de ambos estados de madurez, almacenados a 10°C e irradiados a 1.0 kGy desarrollaron

tejido esponjoso indicando un daño importante de esta dosis de irradiación en la calidad del fruto. Tanto los frutos control como los irradiados a dosis de 0.15 y 0.6 kGy no mostraron este desorden fisiológico (Figura 14 y 15) lo cual indicó que estas dosis de irradiación pueden ser soportadas por estos frutos aun bajo almacenamiento de 10 °C.

Para los frutos almacenados a 20 °C, los frutos control mostraron un desarrollo de color amarillo normal y de forma parecida ocurrió para los frutos irradiados a 0.15 y 0.6 kGy indicando también con ello que estas dosis también pueden ser soportadas por ellos. No obstante, los frutos de madurez $\frac{1}{4}$ tratados con 1.0 kGy y almacenados a 20 °C desarrollaron obscurecimiento interno (Figura 14) mientras que los de madurez $\frac{3}{4}$ almacenados a esta misma temperatura no mostraron este desorden (Figura 15).

Para los frutos transferidos de 10 a 20°C (Figura 16) en ambos estados de madurez, también hubo desarrollo de tejido esponjoso en aquellos que fueron irradiados a 1.0 kGy. El hecho que los frutos de madurez $\frac{3}{4}$ sometidos a 1.0 kGy y sujetos a almacenamiento continuó a 20°C no desarrollaran tejido esponjoso mientras que si lo hicieron cuando fueron transferidos a 20 °C indica que la susceptibilidad a la irradiación se ve incrementada por el almacenamiento a bajas temperaturas. Estos datos sugieren que para el tratamiento por irradiación no es recomendable procesar frutos de madurez $\frac{1}{4}$ y tampoco alcanzar dosis altas de irradiación como 1.0 kGy.

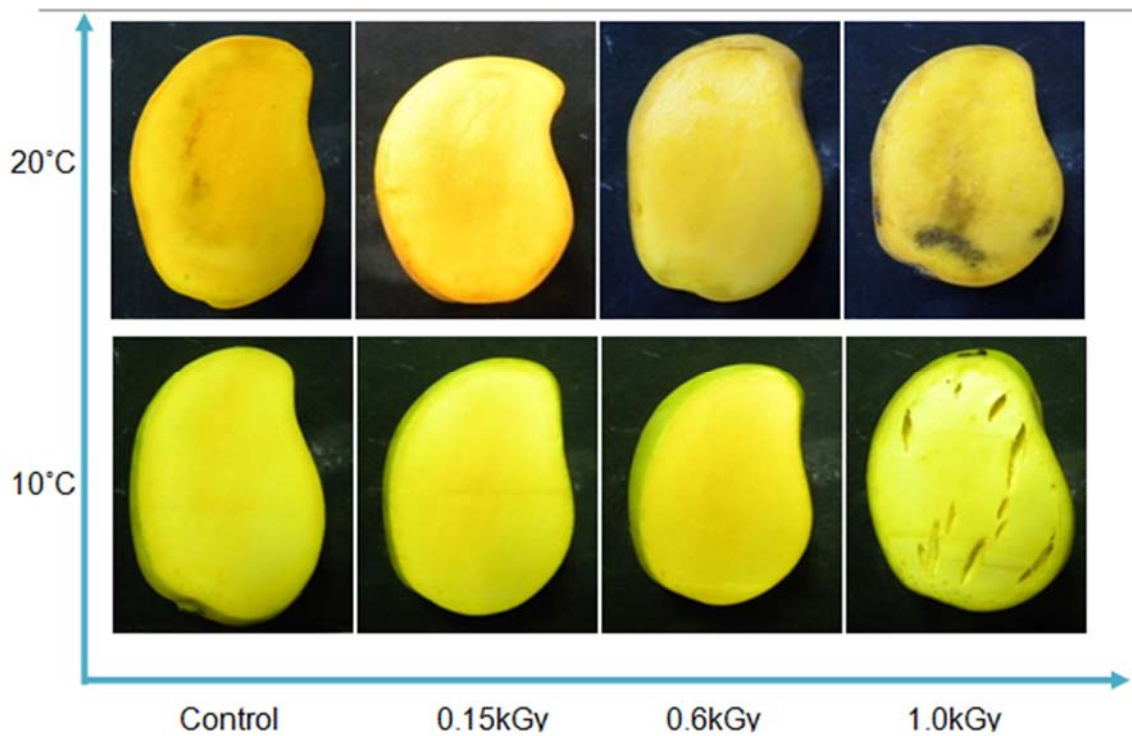


Figura 14. Aspecto interno de frutos de mango cv 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y almacenados 19 días a 10 y 20°C.

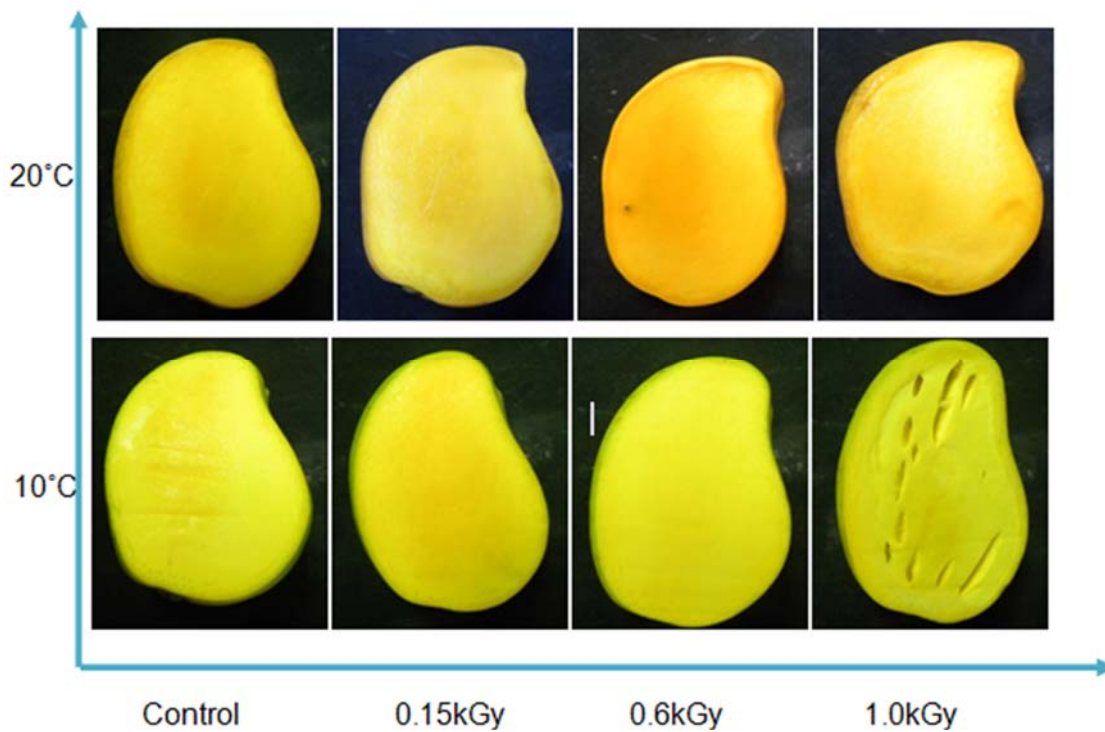


Figura 15. Aspecto interno de frutos de mango cv 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{3}{4}$ y almacenados 19 días a 10 y 20°C.

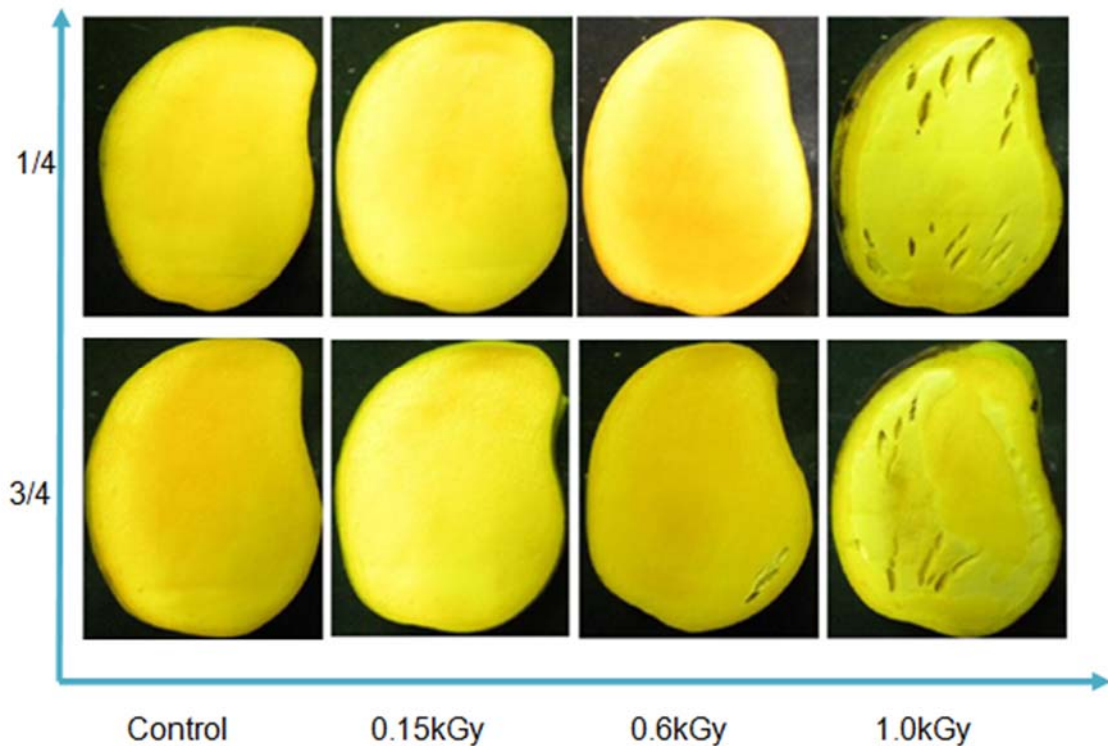


Figura 16. Aspecto interno de frutos de mango cv 'Ataulfo' almacenados 13 días a 10°C y transferidos 6 días a 20°C.

VI.3.2.3 Color de la piel.

El Anexo 4 y la Figura 17 resumen las comparaciones estadísticas y las tendencias del valor a^* registrados en la piel de los frutos. De igual manera que con el color interno, los frutos almacenados a 10°C presentaron un retraso en el desarrollo del color respecto de los frutos almacenados a 20 °C. Para los frutos almacenados a 10 °C en ambos estados de madurez no se observaron diferencias significativas entre los grupos tratados a diferentes dosis de irradiación y durante todo el periodo de almacenamiento. Para los frutos almacenados a 20 °C, tampoco se observaron diferencias significativas entre las diferentes dosis de irradiación aplicadas; no obstante, si se observaron cambios en este parámetro a medida que transcurrió el periodo de almacenamiento. Estos datos indicaron que la evolución de este parámetro no se vio afectado por la dosis de irradiación y si por la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

Los frutos transferidos de 10 a 20 °C mostraron un incremento del valor de a^* registrando valores superiores a los mostrados por los frutos almacenados a 10 °C; no obstante estos valores fueron menores que los registrados por los frutos almacenados a 20 °C (Figura 17). La comparación estadística de los datos de frutos de ambos estados de madurez almacenados 1 día a 10 °C y transferidos 6 días a 20 °C (7 días de almacenamiento) no mostró diferencias significativas entre las dosis de irradiación aplicadas (Anexo 4). No obstante, a los 13 y 19 días de almacenamiento, los frutos tratados a 1.0 kGy mostraron valores estadísticamente menores que los demás tratamientos (Figura 17). Estos datos pueden sugerir retrasos de maduración o alteraciones en el proceso de maduración.

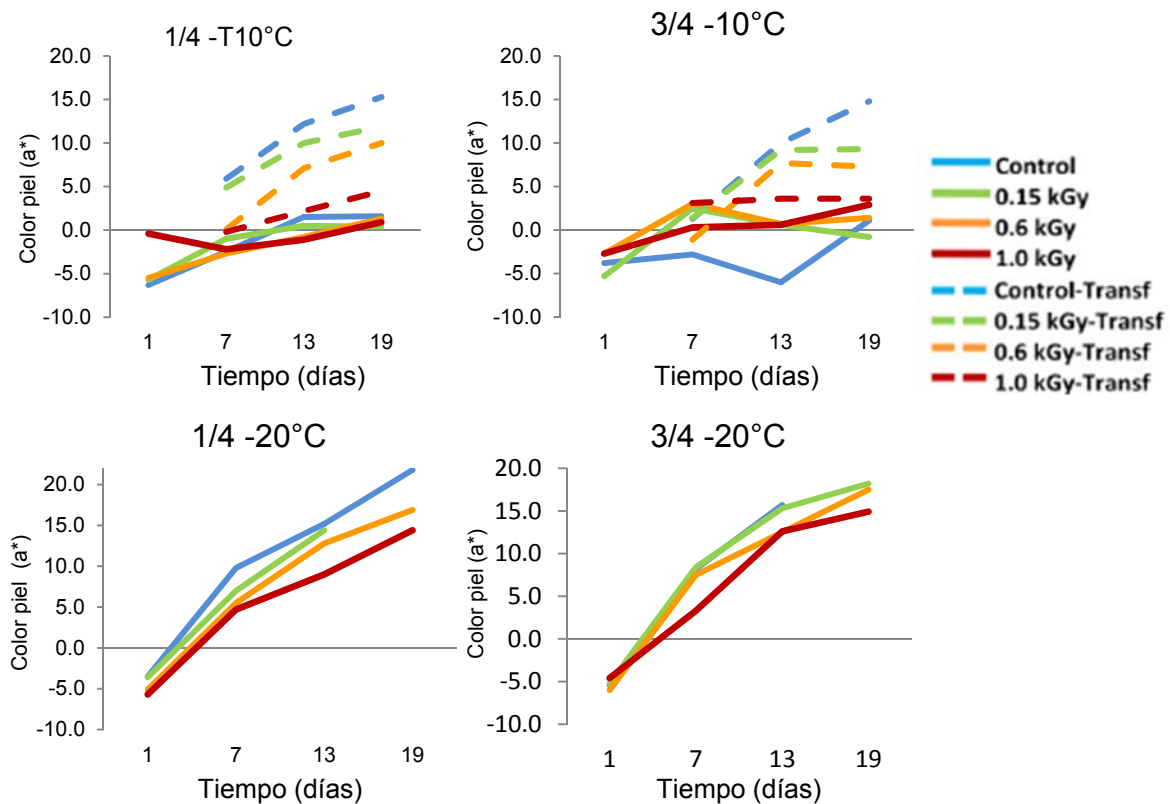


Figura 17. Cambios en el color de la piel (valor a^*) en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10°C y 20°C).

El análisis del color de la piel a través del valor b^* se concentra en el Anexo 5 y la Figura 18. A diferencia del valor a^* , el valor b^* no mostró claras diferencias entre los frutos almacenados a 10 °C respecto de los frutos almacenados a 20 °C y tampoco se observaron diferencias entre las dosis aplicadas hasta los 13 días de almacenamiento, no obstante en el día 19, los frutos tratados a 1.0 kGy mostraron los valores más bajos (Anexo 5 y Figura 18).

Las transferencias de los frutos de 10 a 20 °C mostraron las mismas tendencias dentro de los primeros 13 días de almacenamiento, no obstante, también en el día 19 los frutos que fueron tratados con 1.0 kGy registraron valores más bajos indicando nuevamente que esta condición de irradiación alteró el proceso de cambio de color de los frutos.

Es de llamar la atención que los valores de este parámetro no variaron ampliamente aún en los frutos control aunque visualmente los frutos cambiaron de color verde al color amarillo, esto parece indicar que este parámetro no es un buen indicador del proceso de cambio de color y por lo tanto tampoco lo es para estimar los efectos de la irradiación por debajo de 1.0 kGy.

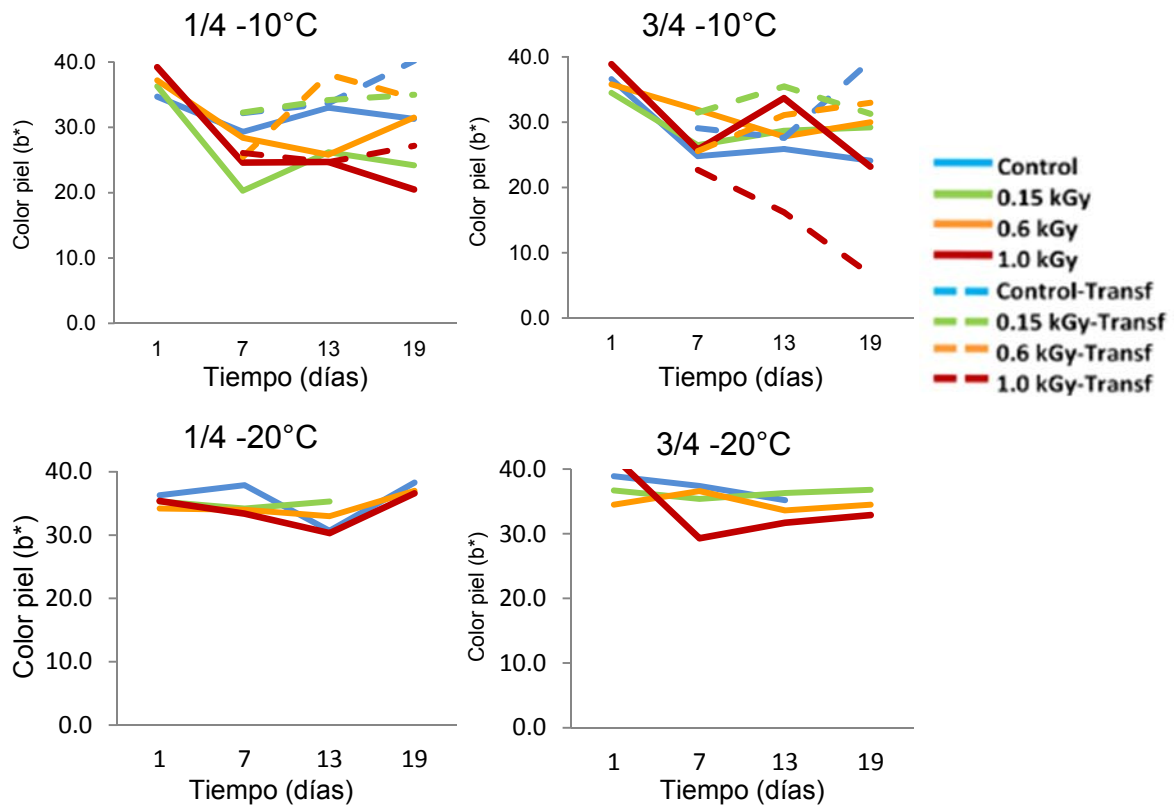


Figura 18. Cambios en el color de la piel (expresados en b* de la escala CIELAB) en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10°C y 20°C).

VI. 3.2.4 Cambios en el aspecto visual externo.

El registro fotográfico de los frutos de cada estado de madurez, tratamiento de irradiación y temperatura de almacenamiento se muestra en las Figuras 19 y 20. De acuerdo con lo expresado en los parámetros de color, en estas figuras se aprecia claramente que la temperatura de 10 °C retrasó el proceso de maduración sin apreciarse un efecto claro de las dosis de irradiación. No obstante, para los frutos que fueron transferidos de 10 a 20 °C y tratados a 1.0 kGy (Figura 21) mostraron un color negro en la piel en ambos estados de madurez lo cual indicó un efecto negativo de la aplicación de esta dosis a esta variedad de mango.



Figura 19. Aspecto externo de frutos de mango cv 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y almacenados 19 días a 10°C y 20°C.



Figura 20. Aspecto externo de frutos de mango cv 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{3}{4}$ y almacenados 19 días a 10°C y 20°C.

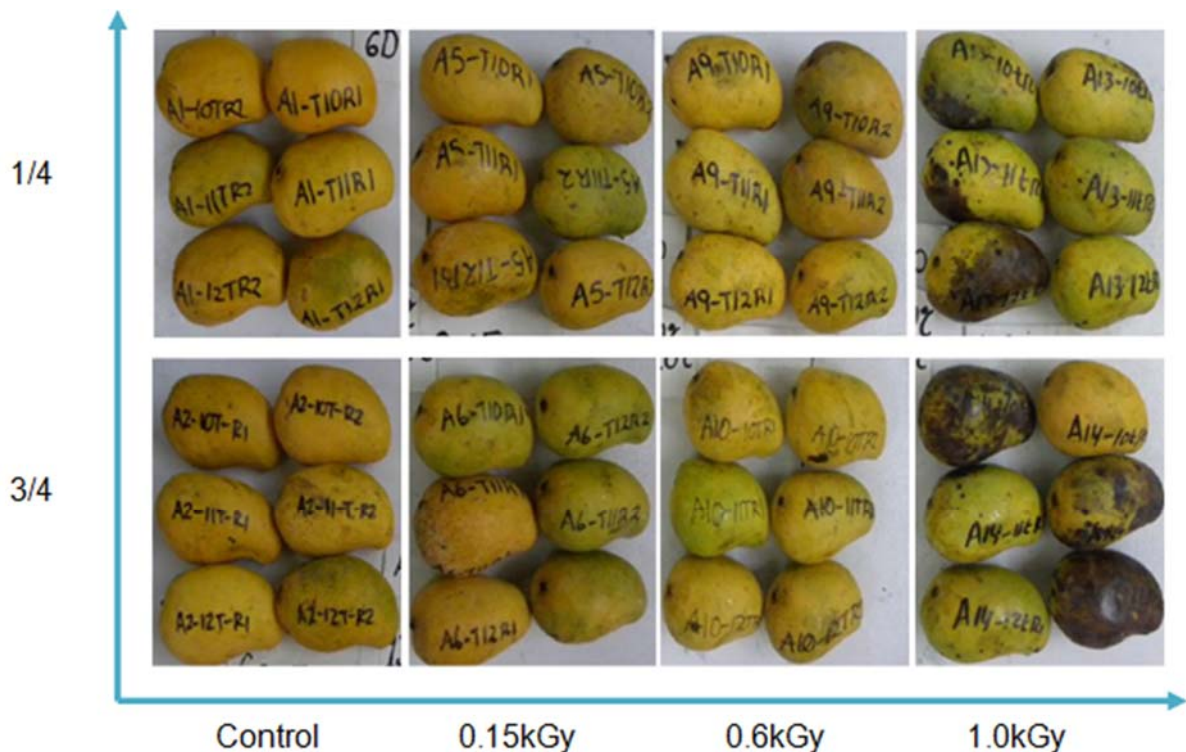


Figura 21. Aspecto externo de frutos de mango cv 'Ataulfo' almacenados a 10°C y transferidos 6 días a 20°C.

VI.3.3 Firmeza.

El Anexo 6 y la Figura 22 concentran la comparación de medias para los diferentes tratamientos así como sus tendencias de comportamiento durante el almacenamiento. Como se esperaba de manera general los tratamientos almacenados a 20°C presentaron una mayor pérdida en la firmeza que los frutos almacenados a 10°C. Así mismo no se observaron efectos significativos de la dosis de irradiación en esta variable y en cada uno de los periodos de almacenamiento analizados. No obstante, si se observaron diferencias entre los frutos almacenados por 1 y 7 días, quienes mostraron los valores más altos respecto de los registrados los días 13 y 19 (Anexo 6).

La firmeza de los frutos transferidos de 10 a 20 °C no mostró diferencias entre las dosis de irradiación aplicadas en cada uno de los estados de madurez analizados;

no obstante también se observó un decremento de sus valores a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento alcanzando valores similares a los frutos almacenados a 20 °C (Figura 22).

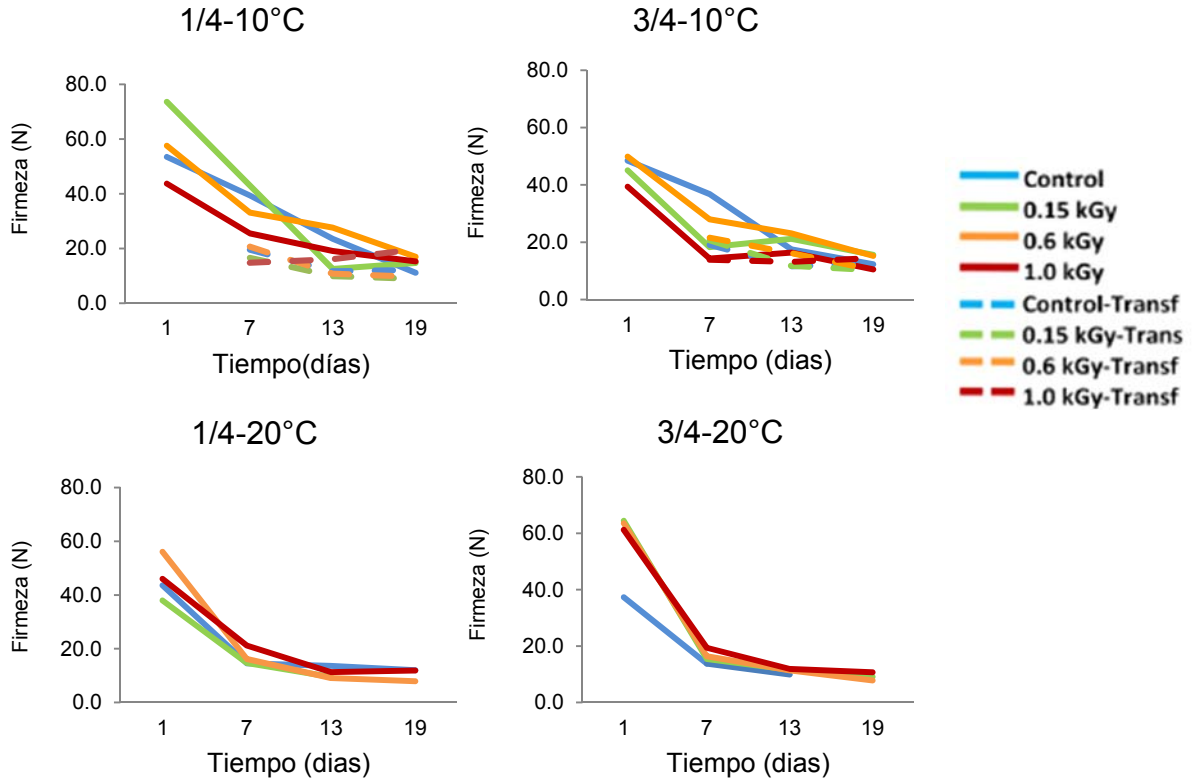


Figura 22. Cambios en la firmeza de frutos de mango ‘Ataulfo’ en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20°C).

VI.4 Análisis químicos.

VI.4.1 Contenido de sólidos solubles totales.

La Figura 23 y el Anexo 7 muestran las tendencias y comparación de medias del contenido de sólidos solubles totales en todos los tratamientos analizados. Al igual que los anteriores factores analizados, también este factor se vio notablemente

afectado por la temperatura de almacenamiento, los frutos almacenados a 10 °C mostraron una menor evolución de los sólidos solubles (9 a 12 °Bx) respecto de los frutos almacenados a 20 °C (11.5 a 17.5 °Bx). La comparación estadística en los diferentes periodos de muestreo no mostró diferencias estadísticas significativas en los primeros 13 días de almacenamiento entre las diferentes dosis de irradiación aplicadas; no obstante, en el día 19 los frutos de ambos estados de madurez e irradiados a 1.0kGy mostraron los valores más bajos respecto de los otros tratamientos lo cual indicó nuevamente que esta dosis altera el proceso de maduración de los frutos.

Los frutos transferidos de 10 a 20 °C (Figura 23) no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de irradiación evaluados dentro de los 7 primeros días de almacenamiento en ambos estados de madurez. No obstante, en los días 13 y 19 y para el estado de madurez $\frac{1}{4}$ los frutos tratados a 1.0 kGy mostraron el menor desarrollo de sólidos solubles respecto de los demás tratamientos mientras que para la madurez de $\frac{3}{4}$ no se observó esta tendencia.

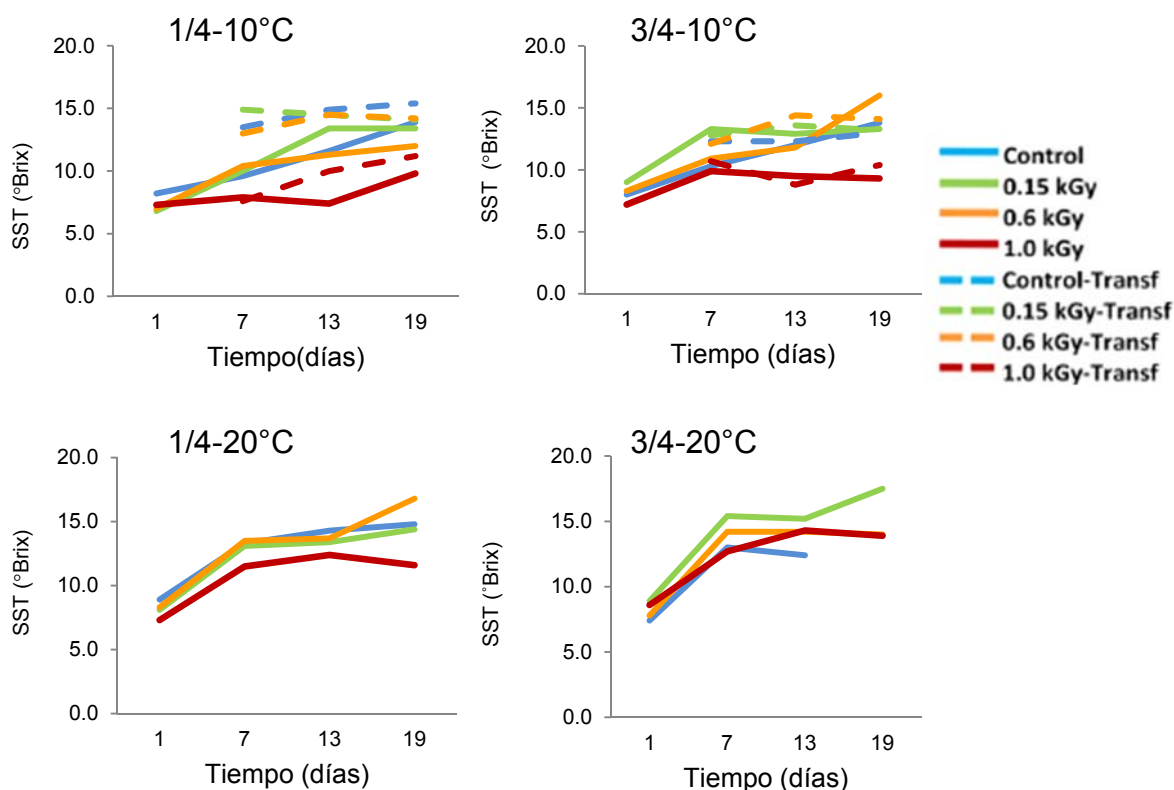


Figura 23. Cambios en el contenido de sólidos solubles totales en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20°C)

VI.4.2 Acidez total titulable.

En el Anexo 8 se concentran la comparación de medias de esta variable de respuesta y en la Figura 24 se indican las tendencias de la misma para todos los tratamientos analizados. De manera general se espera que esta variable disminuya conforme transcurre el almacenamiento al mismo tiempo que los sólidos solubles aumenten. Al igual que las otras variables analizadas, los cambios de acidez también se vieron notablemente afectados por la temperatura; los frutos almacenados a 10 °C mostraron menores cambios de acidez respecto de los frutos almacenados a 20 °C; también a 10 °C y en ambos estados de madurez no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas dosis de

irradiación aplicadas ni entre los diferentes periodos de almacenamiento indicando con ello que la acidez no cambió en los frutos a 10 °C. De forma contrastante, los frutos de ambos estados de madurez almacenados a 20 °C cambiaron sus contenidos de acidez a medida que transcurrió el almacenamiento cambiando sus valores desde 2.5 a 3% al inicio del almacenamiento hasta 0.1 a 0.3% al final de dicho periodo (Figura 24) no obstante tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dosis de irradiación aplicadas.

En los frutos transferidos de 10°C a 20°C también hubo disminución del contenido de acidez durante el almacenamiento sin observarse efectos significativos de la dosis de irradiación (Figura 24).

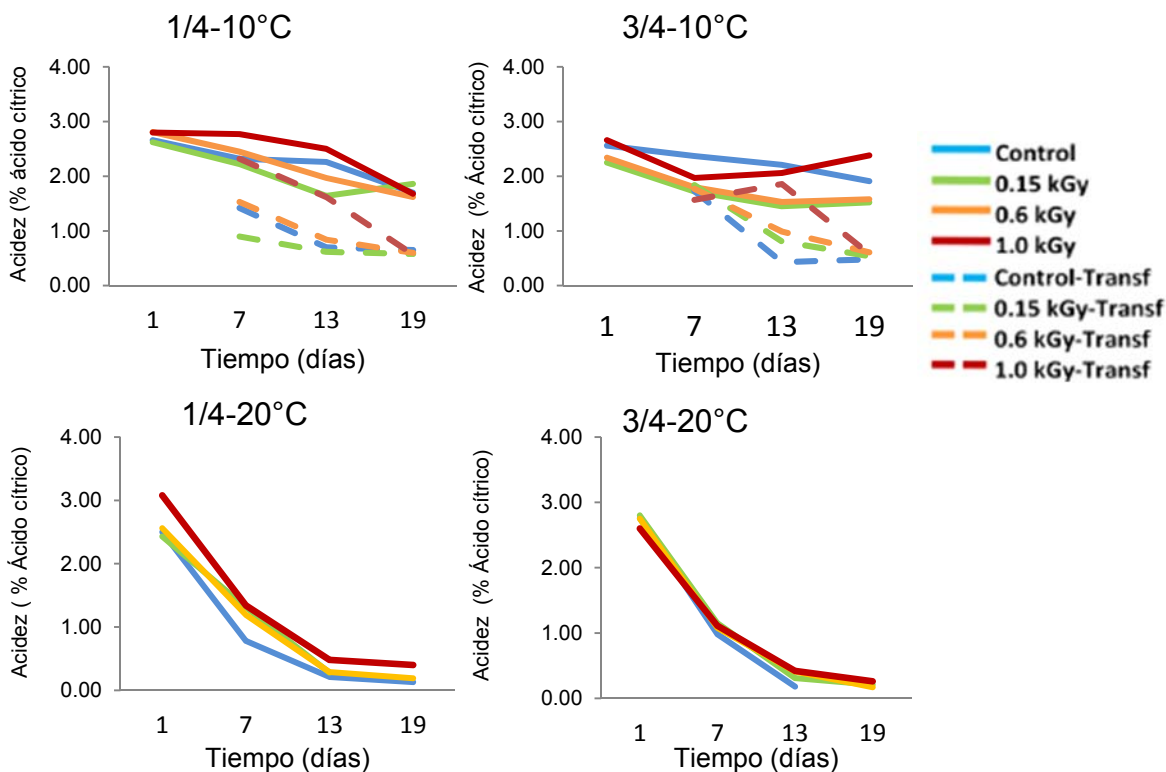


Figura 24. Cambios en el porcentaje de acidez en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10°C y 20°C)

VI.4.3 Ácido ascórbico.

Los contenidos de ácido ascórbico en los frutos almacenados a 10 °C en ambos estados de madurez no mostraron cambios estadísticamente significativos durante el almacenamiento ni asociados a las dosis de irradiación aplicados excepto para los frutos tratados a 1.0kGy y almacenados durante 19 días los cuales mostraron los valores más bajos (Anexo 9 y Figura 25). Un comportamiento aproximadamente similar lo presentaron los frutos que estuvieron almacenados a 20 °C aunque en este caso solo los frutos del estado de madurez $\frac{1}{4}$ e irradiados a 1.0 kGy y almacenados por 19 días fueron los que presentaron los valores más bajos en contraste con los frutos de madurez $\frac{3}{4}$ que no presentaron diferencias entre los distintos tratamientos de irradiación.

Los frutos transferidos de 10°C a 20°C no mostraron diferencia estadísticamente significativas entre las distintas dosis de irradiación con excepción de los frutos tratados a 1.0 kGy y almacenados 13 días a 10 °C mas 6 días a 20 °C los cuales mostraron los valores más bajos.

Nuevamente los datos anteriores parecen sugerir que la irradiación a 1.0 kGy promueve una mayor pérdida de ácido ascórbico.

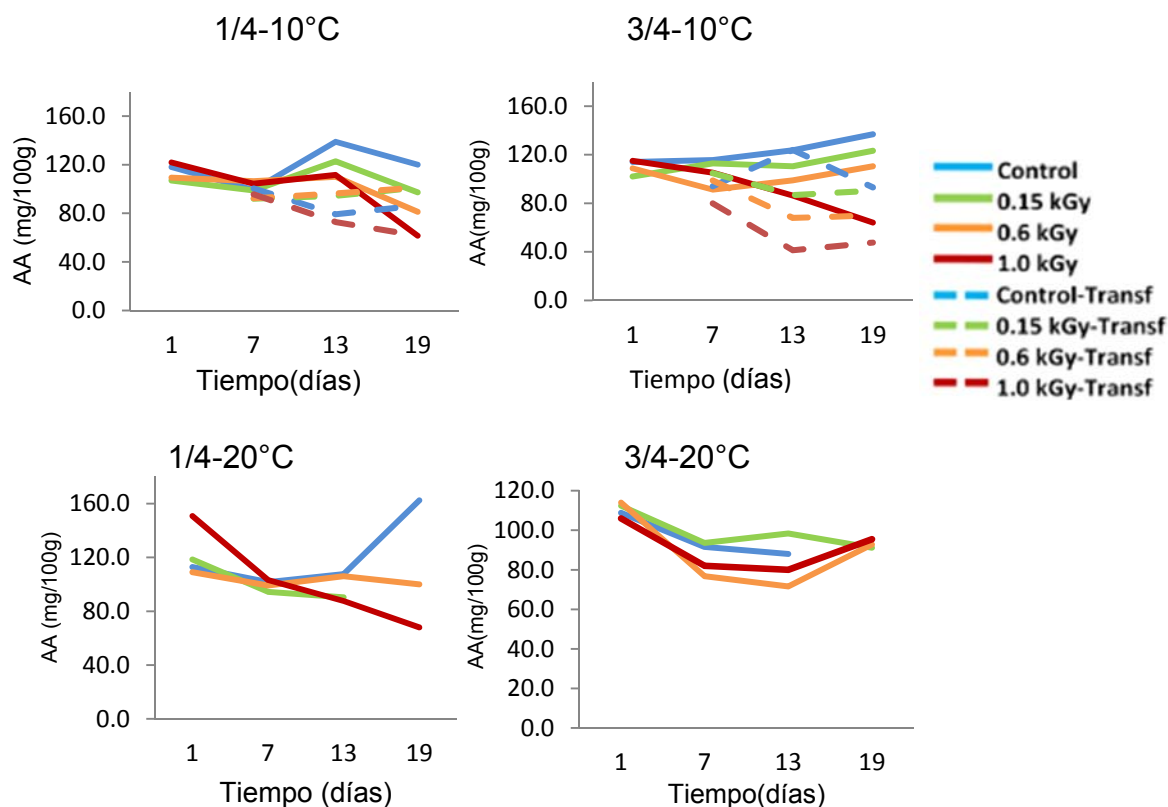


Figura 25. Cambios en el contenido de ácido ascórbico en frutos de mango 'Ataulfo' en dos estados de madurez (1/4 y 3/4), irradiados con rayos gamma a diferentes dosis (0.15, 0.6 y 1.0kGy) y almacenados a dos temperaturas (10 y 20°C).

VI.4.4 Compuestos volátiles.

Después de realizar la concentración y separación de los compuestos volátiles de acuerdo a lo señalado en la sección de metodología se obtuvieron una serie de cromatogramas que aún se encuentran en proceso para llevar a cabo la identificación de los compuestos separados. Dados los alcances del presente trabajo se decidió solo realizar un análisis general de lo que podría estar ocurriendo con la generación de los compuestos volátiles de los frutos sometidos a irradiación y almacenados a diferentes temperaturas La Figura 26 muestra un cromatograma elegido por presentar el mayor número de picos y por tanto se tomó como referencia; dado que la aparición de picos durante el desarrollo del cromatograma pareció tener una secuencia más o menos periódica, se sumaron las áreas de cada

periodo (conforme se describe en metodología) para las distintas unidades experimentales analizadas y con ellas se realizó un análisis de varianza (Anexo 10) para cada una de los intervalos de tiempo establecidos y además se representaron gráficamente para tratar de dar una descripción general.

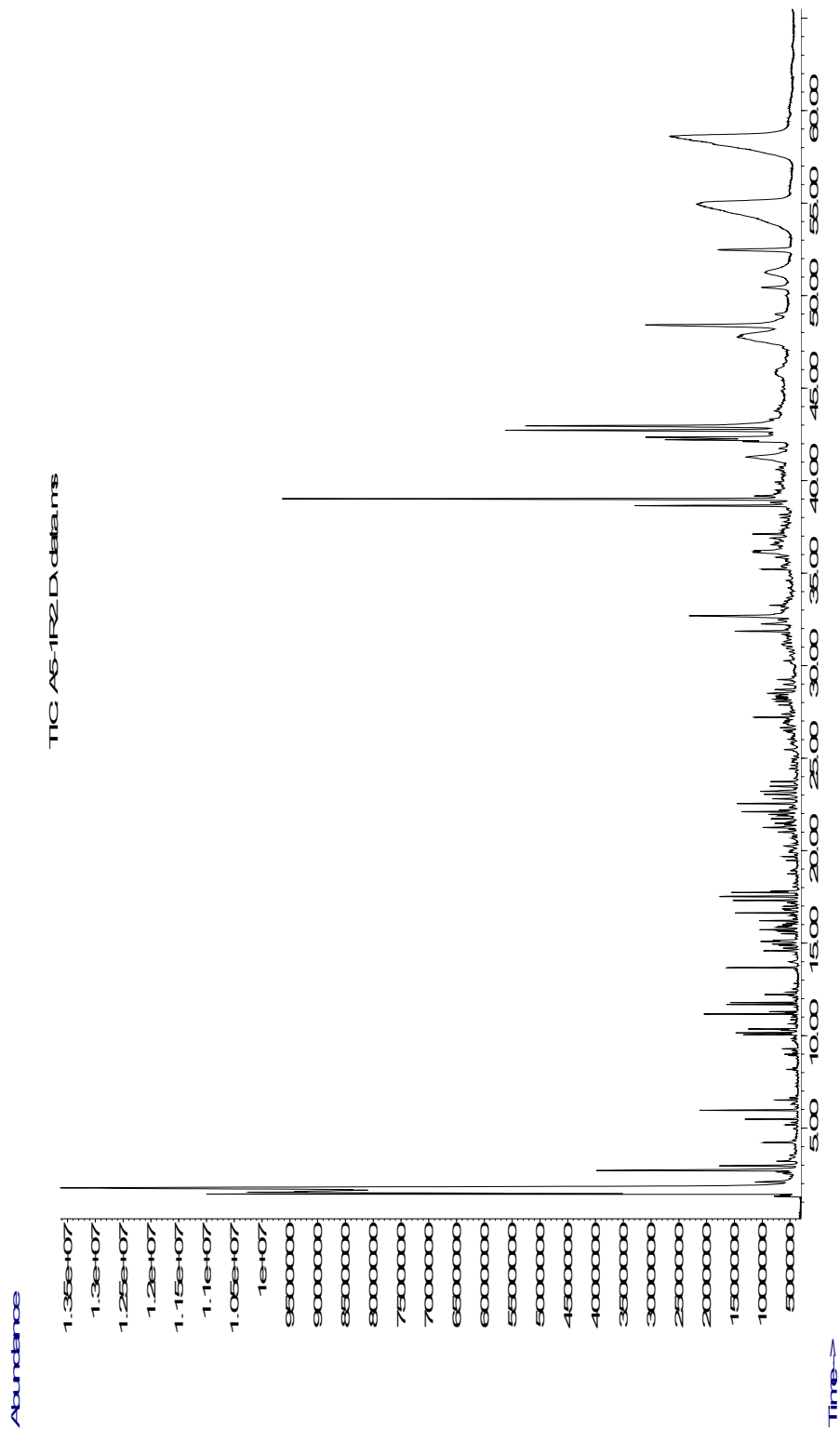


Figura 26. Cromatograma de referencia del minuto.

Las Figuras 27 y 28 muestran las áreas de los picos contenidos en diferentes periodos de tiempo de retención para el tratamiento control almacenado a 10 y 20°C. En el muestreo 1 de los frutos almacenados a 10 °C, pareció haber menor contenido de compuestos respecto de los almacenados a 20 °C; mientras que en el muestreo 3 parece que los frutos procedentes del almacenamiento a 10 °C tienen un mayor contenido de compuestos volátiles respecto de los frutos almacenados a 20 °C.

Para el caso de los frutos sometidos a 0.15 kGy, los frutos del muestreo 1 procedentes del almacenamiento a 10 °C parecen mostrar un mayor contenido de aromas respecto de los frutos almacenados a 20°C (Figuras 29 y 30) mientras que para el muestreo 3 la observación parece ser al contrario es decir que los frutos de 20 °C parecen tener una mayor área de compuestos aromáticos.

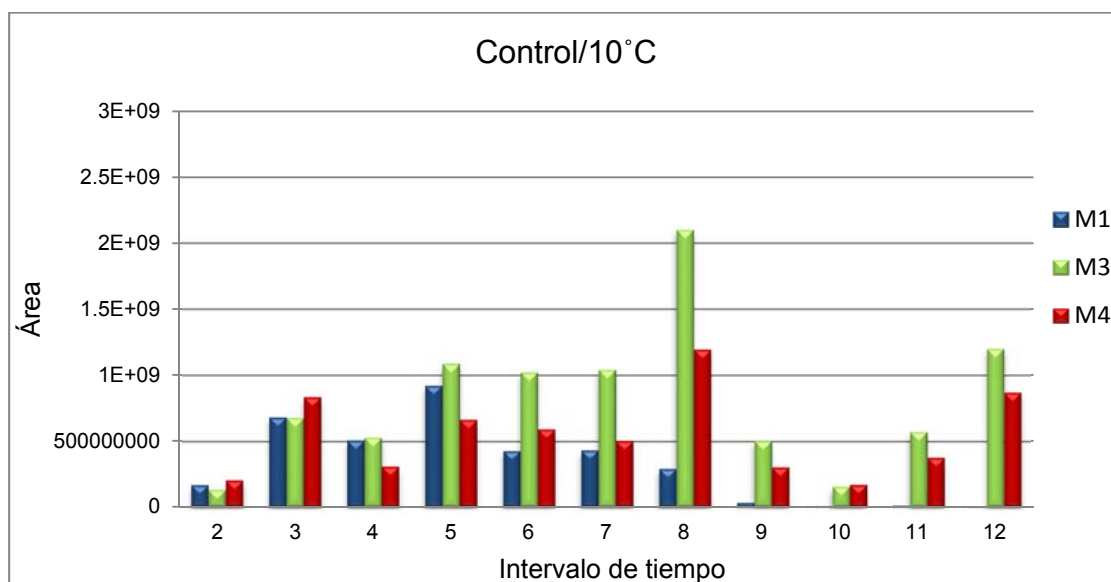


Figura 27. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento control (0kGy) almacenado a 10°C por 19 días.

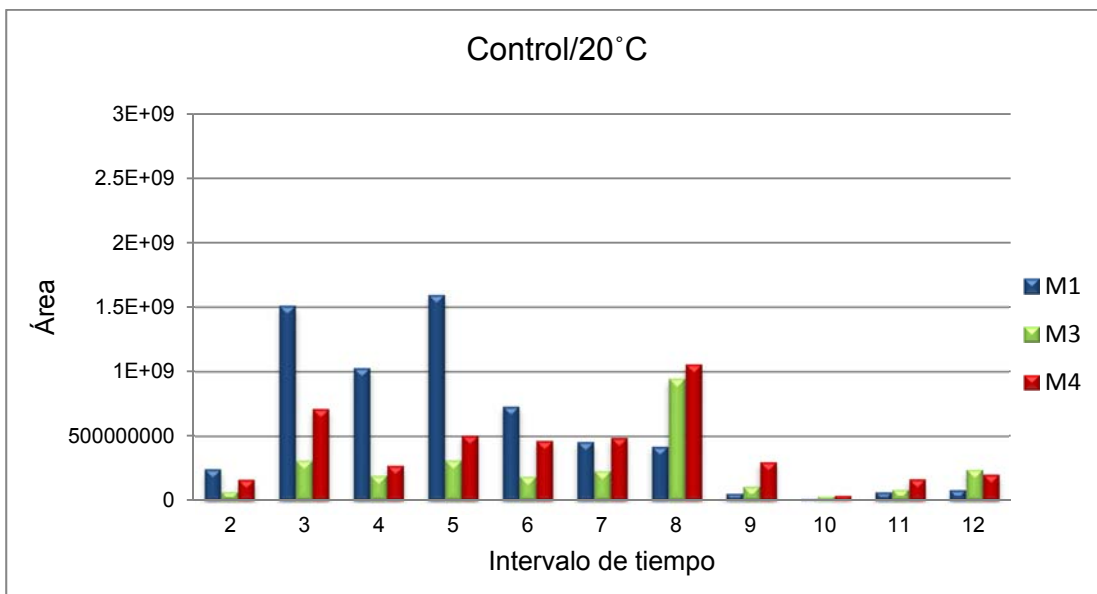


Figura 28. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento control (0kGy) almacenado a 20°C por 19 días.

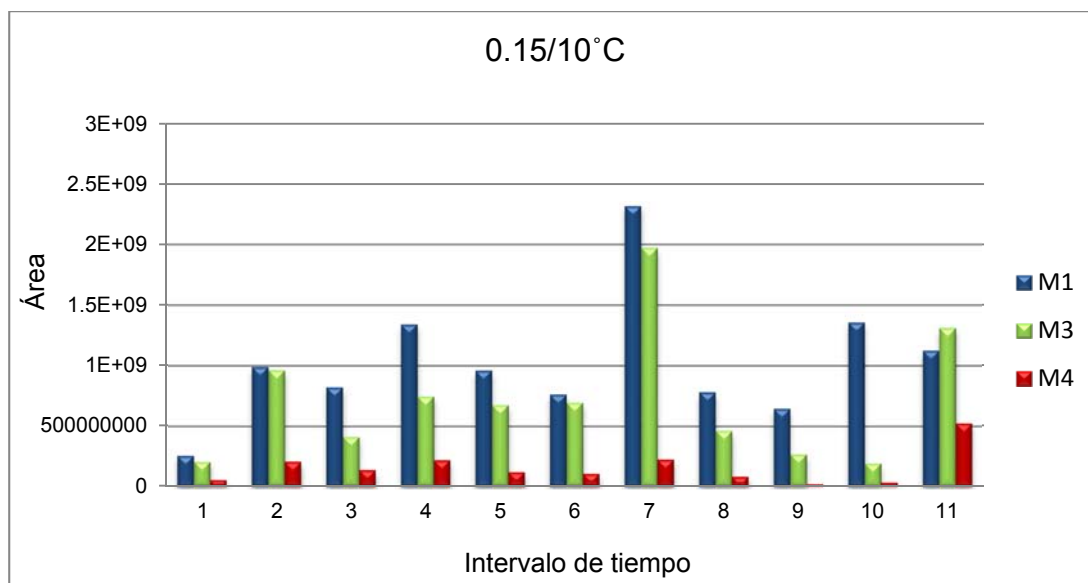


Figura 29. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 0.15kGy almacenado a una temperatura de 10°C por 19 días.

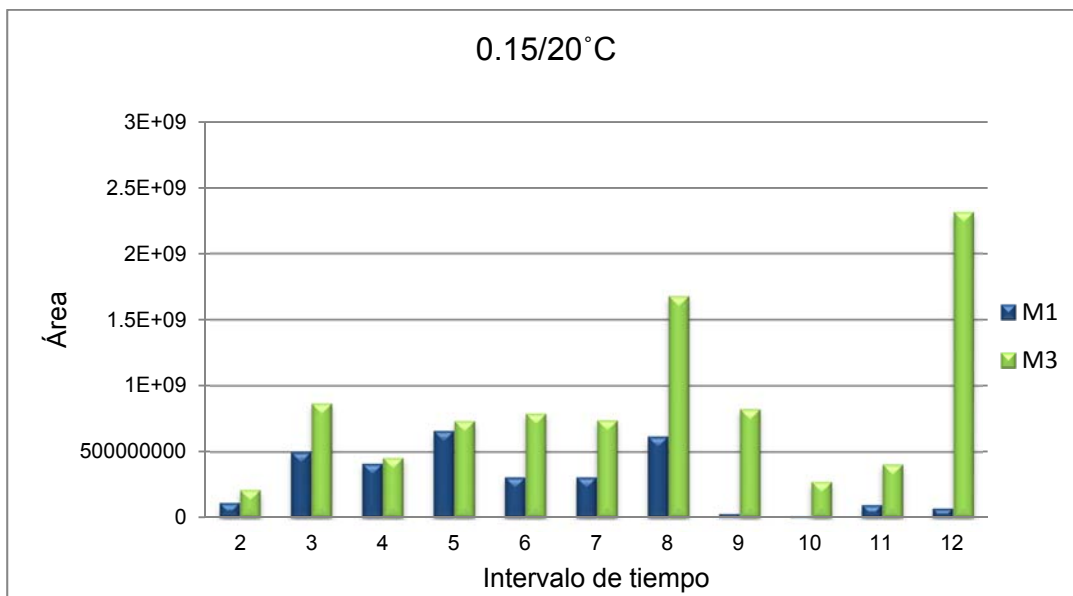


Figura 30. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 0.15kGy almacenado a una temperatura de 20°C por 19 días.

Para los frutos de 0.6 kGy (Figuras 31 y 32), al igual que en el tratamiento anterior los frutos del muestreo 1 almacenados a 10 °C parecieron tener una mayor área de compuestos volátiles respecto de los frutos almacenados a 20 °C y para el muestreo 3 el comportamiento se invierte pareciendo haber un mayor contenido de volátiles en los frutos procedentes del almacenamiento a 20 °C.

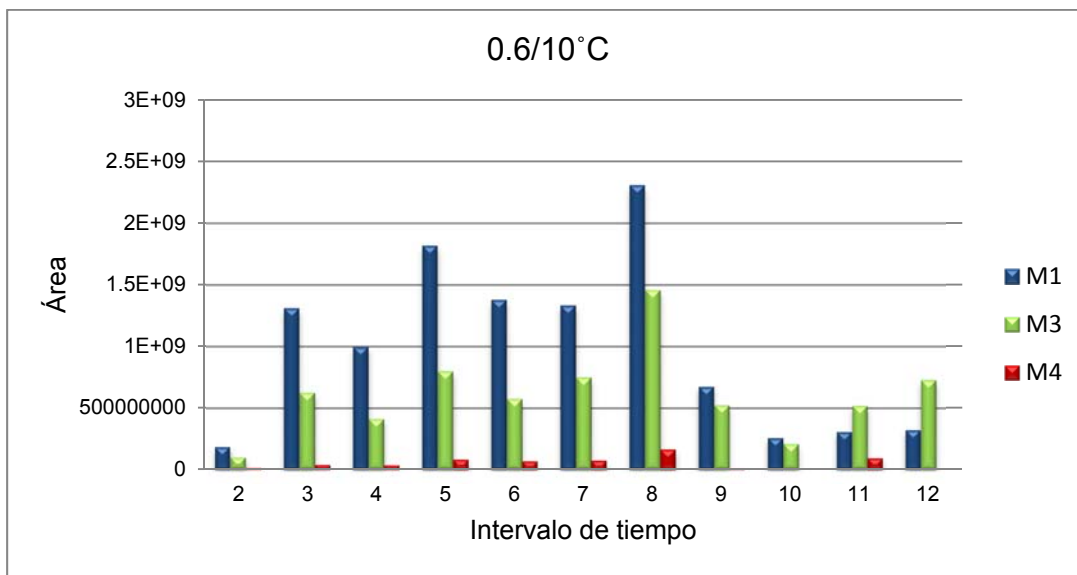


Figura 31. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 0.6kGy almacenado a una temperatura de 10°C por 19 días.

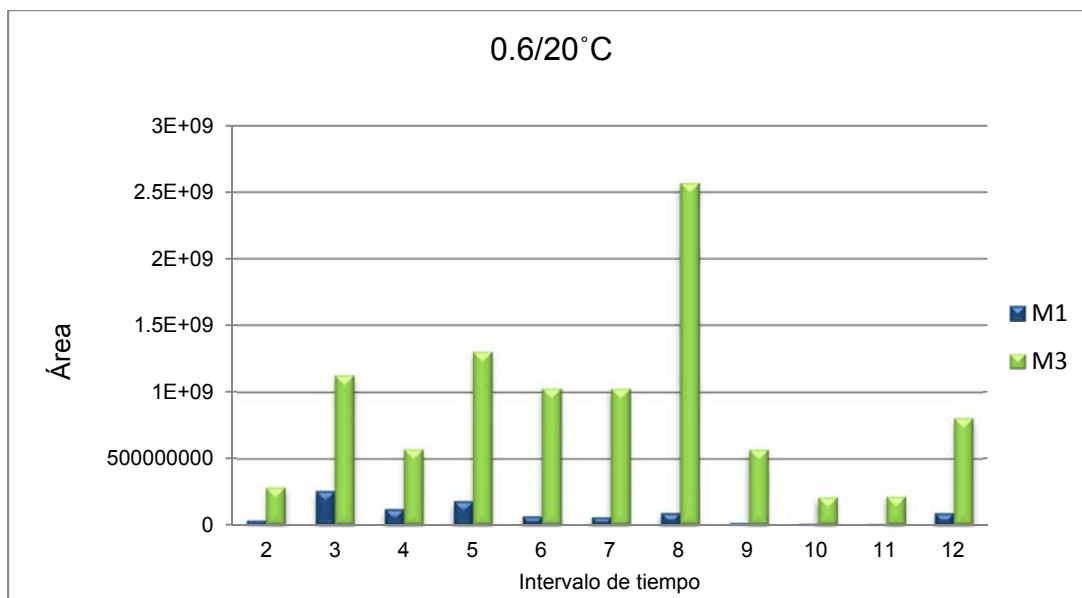


Figura 32. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 0.6kGy almacenado a una temperatura de 20°C por 19 días.

Para los frutos tratados a 1.0 kGy (Figuras 33 y 34) se observa que los frutos almacenados a 10 °C muestran una baja producción de compuestos volátiles en todos los muestreos analizados mientras que a 20 °C hubo una mayor producción de compuestos aunque comparativamente menor que en los otros tratamientos indicando con esto que la irradiación a 1.0 kGy inhibe la producción de volátiles y que esta producción se ve más frenada cuando los frutos son sometidos a 10 °C.

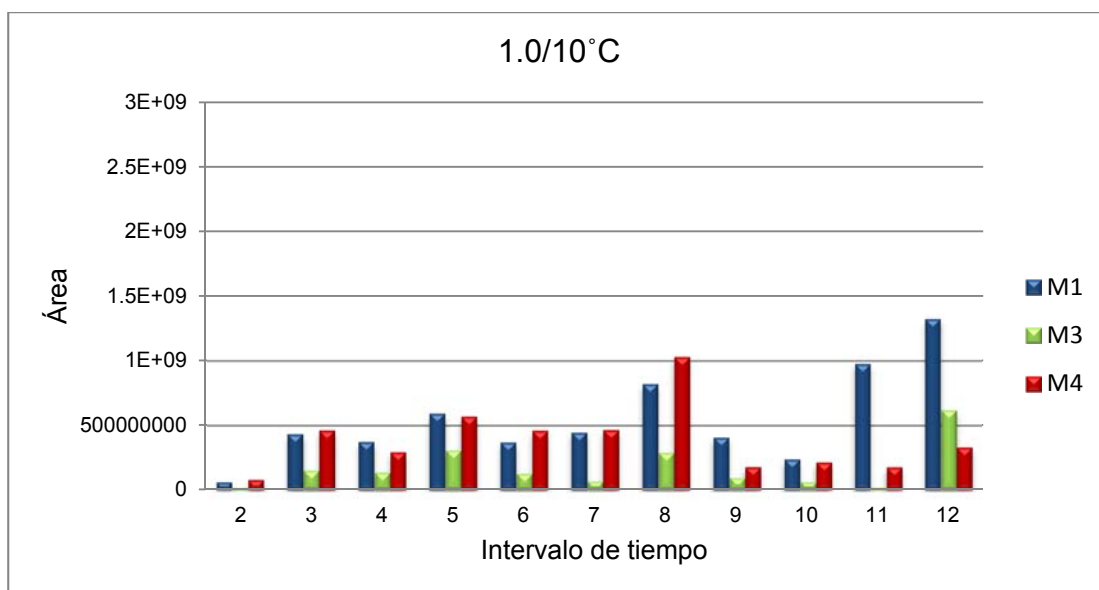


Figura 33. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 1.0kGy almacenado a una temperatura de 10°C por 19 días.

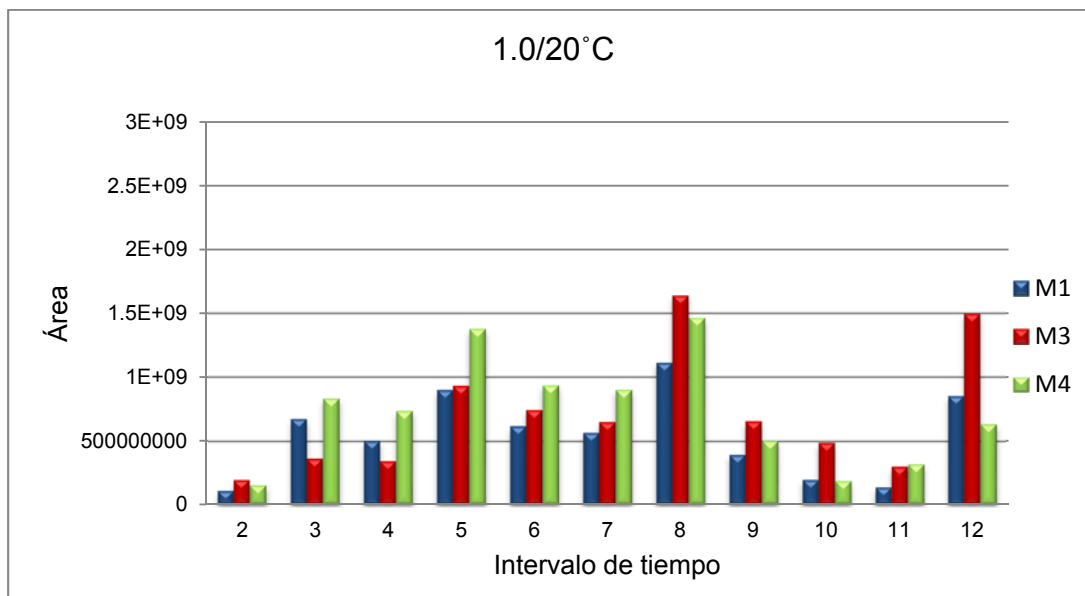


Figura 34. Sumatorias de áreas bajo los picos de los cromatogramas de aromas a diferentes intervalos de tiempos de retención para el tratamiento de 1.0kGy almacenado a una temperatura de 20°C por 19 días.

De acuerdo con las observaciones anteriores parece ser que el muestreo, la temperatura de almacenamiento así como la dosis de irradiación tuvieron efectos importantes en el desarrollo de los compuestos volátiles. A fin de comprobar y describir de mejor forma estas observaciones generales, se realizó un análisis de varianza con los datos generados de las sumatorias de áreas de las distintas unidades experimentales en los distintos intervalos de tiempo. En el Anexo 10 se recogen los valores de significancia de los factores anteriormente señalados así como de las interacciones simples entre cada uno de ellos. Este análisis se realizó para cada una de las sumatorias de áreas de cada periodo de tiempo de retención.

Solamente se encontró significancia estadística (Tukey <0.05) del factor muestreo en los intervalos de tiempos de retención 3, 4 y 5 donde de forma general en el muestreo 3 se observó una menor área respecto del muestreo 1 y 4, mientras que el factor temperatura sólo fue significativo en el intervalo de tiempo de retención 11 donde se observó mayor área de picos para las muestras almacenadas a 10 °C.

Las interacciones simples Tratamiento*muestreo, tratamiento*temperatura y muestreo* no fueron significativas.

Dado que los frutos irradiados a 1.0 kGy parecieron mostrar una mayor afectación en sus componentes volátiles, se comparó estadísticamente este tratamiento con el tratamiento control para todos los intervalos de tiempo de retención por cada uno de los muestreos analizados. El cuadro 8 muestra la comparación de medias para el muestreo 1 entre los dos tratamientos y en los periodos de tiempo de retención que se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tuckey <0.05).

Cuadro 8. Comparación de medias para el muestreo 1 de las áreas de picos incluidas en diferentes periodos de tiempo de retención para el tratamiento control y 1.0 kGy.

Tratamiento	Periodo de tiempo de retención				
	1	3	4	5	11
Control	3.9E9 ^a	5.9E8 ^a	4.1E8 ^a	6.7E8 ^a	2.1E7 ^b
1.0 kGy	2.9E9 ^b	2.7E8 ^b	2.2E8 ^b	3.7E8 ^b	2.8E8 ^a

Para los periodos de tiempo 1 hasta 5, las muestras control mostraron una mayor área respecto de los frutos tratados a 1.0kGy; no obstante en el periodo 11 el área mayor correspondió a los frutos tratados a 1.0 kGy. Estos datos muestran que el tratamiento a 1.0 kGy redujo la producción de compuestos en esos periodos de tiempo de retención. No obstante, está pendiente por indicar si en esos periodos desaparecieron picos o si su producción solo se disminuyó.

VII. DISCUSIÓN

VII.1 Análisis físicos.

VII.1.1 Pérdida de peso.

El efecto no significativo de la dosis de irradiación en la pérdida fisiológica de peso contrasta con los resultados encontrados en otros estudio realizados con mango 'Tommy Atkins' (Sabato y col., 2009b) en los cuales indican que en estados de madurez más avanzados (madurez 3) no se encuentran diferencias de peso entre los frutos control respecto de los frutos irradiados a 0.25 y 0.75 kGy, mientras que en estado de madurez 2 reportan pérdidas de peso menores en los frutos irradiados. Estos autores en otro trabajo utilizando la misma variedad en un embarque comercial con mangos en estado de madurez 3 también no encontraron diferencias en la pérdida de peso entre los frutos control e irradiados a 0.75 kGy. (Sabato y col., 2009a)

VII.1.2 Color.

Como se estableció en los resultados el color de la pulpa en frutos de ambos estados de madurez almacenados a 10 y 20 °C y cuantificado a través de los valores a^* y b^* no mostraron cambios significativos entre las diferentes dosis de irradiación pero en cambio si se presentaron cambios respecto de la temperatura observándose que a 10 °C hubo un retraso importante de la maduración mientras que a 20 °C hubo un mayor desarrollo de color sin observarse un efecto del periodo de almacenamiento excepto para los frutos tratados a 1 kGy los que mostraron los valores más bajos lo cual está de acuerdo con lo observado por Mercado (2010) para las variedades 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent', 'Keitt', 'Manila' y 'Ataulfo' y por Sabato y col., (2009a) quienes no observaron diferencias en el color de la pulpa de frutos de mango 'Tommy Atkins' irradiados a 0, 0.4 y 1.0 kGy aunque también en ambos estudios se determinó que los frutos tratados a dosis de 1.0 kGy tendieron a

mostrar los menores valores de color. En contraste a estas observaciones, El-Samahy y col., (2000) indicaron que el contenido de carotenoides de mangos cv Zebda irradiados desde 0 hasta 1.5 kGy no mostraron diferencias significativas entre las distintas dosis durante todo el periodo de muestreo. Por su parte Beyers, (1983) también tomando como base el contenido de carotenoides en mangos de las variedades 'Zill' y 'Kent' irradiados de 0 a 2.0 kGy describió un mayor incremento de estos pigmentos en los frutos control respecto de los irradiados en la variedad Zill mientras que no observó cambios importantes en la variedad 'Kent'. Así mismo Moreno y col., (2007) también observaron un incremento en el contenido de carotenoides en mango 'Tommy Atkins' irradiado a 1.0 y 1.5 kGy e indicaron una disminución importante cuando las dosis fueron de 3.5 kGy. Estos datos parecen indicar una respuesta dependiente de la variedad que señalaría cierta resistencia o sensibilidad a la irradiación. El desarrollo de coloraciones oscuras en la dosis de 1.0 kGy señaló de manera puntual un daño motivado por ese nivel de irradiación lo cual indicó que a ésta dosis no debe ser aplicada en las operaciones industriales de tratamiento fitosanitario.

Se ha anotado en resultados que el cambio de color de la piel (valor a^* y b^*) de los frutos en ambos estados de madurez fue frenado a la temperatura de 10°C; mientras que a 20°C dichos cambios se dieron de manera más notoria. Los frutos almacenados a 10°C mantuvieron frenado su color durante el almacenamiento y no mostraron efectos de la dosis de irradiación así como del tiempo de almacenamiento aunque si mostraron cambios significativos asociados a las fechas de muestreo.

Las transferencias de frutos de 10 a 20°C mostraron cambios en el color de la piel asociados a la dosis aplicada; los frutos irradiados a 1.0 kGy desarrollaron menos color respecto de los demás tratamientos señalando que esa dosis alteró el cambio de color de los frutos. Estos datos se corresponden con el aspecto visual de los frutos descrito en la sección de calidad visual interna y externa donde se observó el desarrollo de coloraciones oscuras en los frutos.

Por lo anterior se puede indicar que las dosis de irradiación altas tienden a alterar el color externo de los frutos y se recomienda no alcanzar dosis que se ubiquen por arriba de 0.95 a 1.15 kGy.

Es posible que la coloración externa desarrollada por los frutos irradiados a 1.0kGy pueda deberse al incremento o activación de la enzima fenil alanina amonio liasa (PAL) la cual es la primera enzima de la ruta de biosíntesis de compuestos fenólicos los cuales al oxidarse por la acción de la polifenol oxidasa podrían generar este cambio de color (Súmano, 2009).

VII.1.3 Calidad Visual Interna y Externa.

No obstante que los estudios de irradiación aplicadas a frutas se han desarrollado desde hace muchos años y que en muchos reportes se describía como sin efectos de las dosis de irradiación sobre la calidad de la fruta (El-Shamahy y col 2000; Uthairatanakij y col 2006; Durigam y Almeida-Teixeira, 2004; Moreno y col., 2007), no había una evidencia directa que pudiera ser consultada respecto de los efectos de la irradiación en la calidad visual tanto interna como externa de los frutos. Mercado (2010), muestra evidencia directa de los cambios internos y externos de seis variedades de mango cultivadas en México y sometidas a dosis de irradiación desde 0 hasta 1.0 kGy ahí se muestra que las variedades 'Tommy Atkins' 'Haden', Keitt', 'Kent', Manila y 'Ataulfo' presentan el desarrollo de coloraciones oscuras en la piel, especialmente en los frutos transferidos de 10 a 20°C, que le indicaron un daño evidente de esas dosis de irradiación. También se describen las alteraciones internas que presentan los frutos a las distintas dosis aplicadas señalándose como la más importante el desarrollo de tejido esponjoso a dosis de irradiación de 1.0 kGy del cual no había evidencia que este proceso fuera el causante de dicho problema. Reyes y Cisneros-Zeballos (2007) describieron en mango 'Tommy Atkins' irradiado a dosis mayores de 1.5 kGy el desarrollo de este problema el cual llamaron picado o "piting" y lo señalaron como tejido muerto sin aportar mayor

información, en este trabajo no se encuentra evidencia de que este sea un tejido muerto aunque si se refiere a una alteración fisiológica profunda cuyas causas están por determinarse. Prakash (2004) y Kratodia y col (1988) describen la aparición de este desorden de forma natural en mangos de la India lo cual pareciera indicar que el mecanismo de aparición de este desorden puede deberse a una alteración del metabolismo y no necesariamente a la muerte del tejido por efecto de la irradiación aunque esto está por determinarse todavía.

De acuerdo a la evidencia visual observada en este trabajo, se puede asegurar que los desordenes de tejido esponjoso y desarrollo de coloración oscura fueron los indicadores más seguros del daño de la irradiación a los tejidos de mango 'Ataulfo'.

VII.1.4 Firmeza.

Ya que la firmeza se vio principalmente afectada por la temperatura de almacenamiento y no por la dosis de irradiación; la disminución de firmeza podría deberse a cambios degradativos durante la maduración en las paredes celulares de los frutos generando una menor resistencia a las fuerzas de compresión de los tejidos los cuales se ven acelerados a altas temperaturas. Este efecto puede aumentar si los frutos son irradiados a dosis altas de acuerdo a estudios realizados en mango Tommy Atkins; no obstante, esa variedad mostró una ligera resistencia a las altas dosis de irradiación (Sabato y col., 2009a).

El efecto de las dosis de irradiación en mantener la firmeza de los frutos no es consistente en la literatura, así Uthairatanakij y col., (2006) al estudiar dos variedades de mango de Tailandia en dos estados de madurez, reportaron que una variedad (Chock Anan) no mostró efectos de la dosis de irradiación mientras que otra (Nam Dokmai) mostró una mayor firmeza cuando fue irradiada a 0.6 kGy. Esto parece indicar que los efectos de la irradiación sobre la firmeza de los frutos parecen estar influenciados por la variedad.

VII.2 Factores químicos.

VII.2.1 Sólidos solubles totales.

De acuerdo a los cambios que se observaron en el contenido de SST durante el experimento se pudo notar que en dosis menores de 1.0 kGy se obtuvieron valores incluso mayores que el grupo control sobre todo con estado de madurez avanzado (3/4). Esta tendencia se puede deber a los cambios inducidos por el estrés que causa la radiación ionizante, dentro de las respuestas a este estrés se encuentran un incremento en la tasa de respiración y una degradación de los polisacáridos de reserva y otros cambios fisiológicos que juntos contribuyen a la acumulación de azúcares. Aunque estos cambios no fueran significativos para el final del experimento se observó un claro efecto de retraso de la pérdida de firmeza a la temperatura de 10 °C ya que a 20°C se obtuvieron los frutos con mayor contenido de SST esto probablemente debido a que a estas temperaturas se favorece el metabolismo de los azúcares y aceleración del proceso de maduración, estos resultados concuerdan con otros estudios realizados en diferentes variedades de mango de origen brasileño (Sabato y col., 2009a y b; Uthairatanakij y col., 2006; Durigam y Almeida-Teixeira, 2004).

VII.2.2 Acidez total titulable.

La reducción en la acidez durante el almacenamiento está asociada al metabolismo de los frutos durante la maduración y es afectada de manera muy importante por la temperatura de almacenamiento ya que la disminución de la acidez se dio más rápidamente cuando los frutos fueron almacenados a 20°C, sin embargo en los frutos almacenados a 10°C se observó que a dosis altas (1.0kGy) la disminución en la acidez fue más lenta que en los tratamientos restantes, incluso a esta temperatura en combinación con un estado de madurez $\frac{3}{4}$ tendió a aumentar en los últimos días del almacenamiento. Este comportamiento respecto de la dosis de

irradiación parece coincidir con lo reportado por otros trabajos (El-Shamahy y col 2000; Durigam y Almeida-Teixeira, 2004; Montero y col 2007).

VII.2.3 Ácido ascórbico.

El contenido de ácido ascórbico fue afectado principalmente por la baja temperatura de almacenamiento ya que a 10°C la disminución en el contenido de esta vitamina fue debido a las altas dosis de irradiación (1.0kGy), mientras que a 20°C los valores más bajos se observaron con los frutos en estado de madurez verde (1/4) y nuevamente tratados a altas dosis de irradiación (1.0kGy) lo que señala una susceptibilidad de esta vitamina a dosis mayores a 1.0kGy. Sin embargo de acuerdo a otros estudios realizados en mango cv. 'Kent' la pérdida de esta vitamina podría ocurrir desde una dosis de 0.5kGy lo que sugiere que esta variedad podría ser resistente a las altas dosis de irradiación.

De acuerdo a la literatura la pérdida de esta vitamina puede deberse a que la ionización podría acelerar la oxidación del ácido ascórbico que es la forma reducida y de mayor actividad, a ácido dehidroascórbico (DHA) que es menos activa pero puede ser oxidada a ácido dicetogulónico, compuesto biológicamente inactivo (Gagnon y col., 1993; Súmano, 2009)

De forma general, los datos de los análisis fisicoquímicos aplicados mostraron que ninguna de las variables analizadas mostró ser un adecuado estimador para evaluar el efecto de las dosis de irradiación debido a que las respuestas de estas variables no mostraron un efecto claro general del efecto de la irradiación.

No obstante, cuando se observaron afectos negativos de las dosis de irradiación en cualquiera de las variables respuesta estas generalmente se asociaron a las altas dosis en combinación con la madurez de 1/4; por ello y en base a los datos fisicoquímicos se recomienda procesar frutos de madurez 3/4 y no irradiarlos por arriba de 0.93 kGy

VII.3 Compuestos volátiles.

Las diferencias de áreas encontradas en los frutos control e irradiados pueden deberse a variaciones propias del material analizado como su estado de madurez o de la porción del fruto tomada para su análisis o del método empleado para la extracción y preparación de la muestra. De acuerdo a la literatura consultada se esperaría que al transcurrir el tiempo de almacenamiento, el contenido de compuestos volátiles se incrementara a excepción de ciertos compuestos como el hexanal y octanal (Pino y col., 2005; Lebrun y col., 2008). Las diferencias estadísticas encontradas entre los frutos control y los tratados a 1.0 kGy parecen contrastar con lo expresado por Blakesley y col., (1983) quienes no encontraron diferencias estadísticas significativas en el perfil aromático de mango 'Kent' irradiado a 0.75 kGy y los frutos control, no obstante estos autores llamaron la atención respecto a que el estado de madurez es un factor muy importante a considerar en el análisis de volátiles. En este estudio no fue posible analizar los dos estados de madurez considerados inicialmente y sólo se procesaron los frutos de madurez $\frac{1}{4}$.

El efecto ocasionado por las dosis altas de irradiación señala nuevamente la susceptibilidad de esta variedad a dosis altas de irradiación (1.0kGy). La reducción de volátiles en los periodos de tiempo de retención de 3, 4, y 5 podría ser causada entre otras razones, a la oxidación de los ácidos grasos y a la degradación de los esterres y otros compuestos que contribuyen al aroma del mango (Hui y col., 2010). No obstante es necesario analizar que compuestos en particular de cada periodo de tiempo de retención fueron alterados para poder establecer una hipótesis de los efectos de la irradiación en la generación de estos compuestos.

VIII. CONCLUSIONES

El estado de madurez fue un factor importante en la respuesta de los frutos a las dosis de irradiación; los frutos de madurez $\frac{1}{4}$ mostraron mayor susceptibilidad a las dosis altas de irradiación.

El oscurecimiento de la piel y pulpa así como el desarrollo de tejido esponjoso, fueron factores que determinaron el efecto de las dosis de irradiación que cambiaron la calidad visual del fruto.

Los frutos de ambos estados de madurez no presentaron daños externos e internos cuando se sometieron a intervalos de irradiación de 0.15 a 0.44 kGy y por tanto estas dosis pueden ser aplicadas con fines cuarentenarios.

Todos los frutos presentaron daños externos e internos cuando fueron expuestos a un rango de dosis de 0.95 a 1.15 kGy por lo que debe evitarse alcanzar estos niveles de irradiación en las operaciones industriales de tratamiento fitosanitario.

La temperatura de almacenamiento fue el factor principal que afectó de manera significativa todas las variables respuesta analizadas. Los frutos almacenados a 10°C mostraron mayor firmeza y acidez total y un menor incremento de sólidos solubles, una menor pérdida de peso y menor desarrollo de color.

Los daños internos como externos fueron más notorios cuando los frutos fueron transferidos de 10 a 20°C.

La producción de volátiles fue afectada por la aplicación de dosis de 1.0 kGy, la producción de estos volátiles fue menor respecto de los frutos control en los periodos de tiempo de retención de 3 a 5 y en el periodo 11 la producción fue mayor en el grupo irradiado.

Es importante identificar los compuestos de todo el perfil aromático y en particular en los periodos de tiempo donde se encontraron cambios y así determinar los efectos de la irradiación en la generación de volátiles.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

AOAC. 1998. Official methods of analysis. 16th Ed., William S., Ed. Publisher by Association of official Analytical Chemists. Washington, D.C.

Beyers, M. 1983. Gamma irradiation of fruits. Reporte Interno PER-76 Nuclear Development Corporation of South Africa (PTY). Pretoria p 11- 22. Consulta. http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/15/005/15005917.pdf , Febrero 2011.

Blakesley, N. C., Loots, J. G., Du Pleiss, L. M., Bruyn. G. 1979. Gamma irradiation of subtropical fruits, volatile components, lipids, and amino acids of mango, papaya and strawberry pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry: Vol. 27: 42-48.

Bustos M.E., W. Enkerlin. J. Reyes, y J. Toledo. 2004. Irradiation of Mangos as a Postharvest Treatment for Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 97(2). 286 – 292.

Dang, K. T.H., Sing, Z., Swinny, E. E. 2008. Impact of Postharvest Disease Control Methods and Cold Storage on Volatiles, Color Development and Fruit Quality in Ripe “Kensington Pride” Mangoes. Journal of Agricultural and Food Chemistry: Vol.56: 10667-10674.

Durigam J.F., y G H. de Almeida Teixeira. 2004. Postharvest Conservation of ‘Tommy Atkins’ Mango Fruit Influenced by Gamma Radiation, Wax, Hot Water, and Refrigeration. Acta Horticulturae 645. 601 - 604

Dominguez, R. M., Manzanilla, R. M., Robles, G. M. 2004. Induction of Somatic Embryogenesis and Plant Regeneration of “Ataulfo” Mango (*Mangifera indica*). Plant Cell, Tissue and Organ Culture: Vol.79: 101–104.

EI-Shamahy, S.K., B.M. Yousef, A.A. Askar, y H,H,M. Swailam. 2000. Microbiological and Chemical properties of irradiated mango. J. Food Safety. 20. 139-156.

FAO. 1993. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. 1ra. ed., Organización de las naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma: 155-183.

- FAO/WHO. 1984.** Food and Agriculture Organization, World Health Organization. Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Food, Codex Alimentarius, Rome. Vol. 15,
- FAO 2003.** Normas Internacionales para medidas fitosanitarias. Directrices para usar la irradiación como medidas fitosanitaria. NIMF No 18. Roma Italia, p 1 - 31
- Flores, B. S. 2001.** Evaluación de un método extractivo para determinación de compuestos volátiles en cinco variedades de mango (*Mangifera Indica L.*) producido en México. Tesis para obtener el título de licenciatura en Químico Farmacobiólogo. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal...
- Fonseca, M. L., Chávez, L., Ramírez, R., Vázquez, M., Becerril, E. 2006.** Determinación de zonas agroclimáticas para la producción de mango (*Mangifera Indica L.*) en Veracruz, México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM: Vol.63: 17-35.
- García, C.T. 2000.** La irradiación de alimentos. 1ra. ed. Mc Graw-Hill, Madrid: 64-68, 192-195.
- Gagnon, M., M. Lacroix, V. Pringsulaka, B. Latreille, M. Jobin, K. Nochpramool, Y. Prachasitthisak, S. Charoen, P. Adulyatham, J. Lettre, and B. Grad. 1993.** Effect of gamma irradiation combined with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics of Thai Mangoes (Nahng Glahng Wahn variety). Radiat. Phys. Chem. 42(1-3). 283 - 287
- González, H., Franco, F., Macías, A., Calleja, M. 2005.** Sistema de información agrícola y de mercado del mango y del melón. 1ra. ed. CONACYT, México: 234-236.
- Hui, H. Y., Feng, C. M., Nollet, M. L., Guiné, P. F., Pessoa F., Mínguez-Mosquera, M. I., 2010.** Handbook of fruit and vegetable flavors. 1ra. ed., Wiley. New Jersey: 332-405, 794-881.
- IEAA 2002.** Irradiation as a phytosanitary treatment of food and agricultural commodities. Proceedings of a final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. Viena Austria.

- Kratodia, J.S., D.A. Rane, y D.K. Salunkhe. 1988.** Biochemical nature of spongy tissue in Alphonso fruits. *Acta Horticulturae* 231. 835 - 839
- Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M., Baldwin, E. 2008.** Discrimination of mango fruit maturity by using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology and Technology*: Vol. 48:122-131.
- Martínez-Fonseca J.L., L. Tijerina-Chavez, R. Arteaga-Ramirez, M. A. Vázquez-Peña, y A.E. Roman-Becerril. 2007.** Zonas Agroclimáticas productoras de Mango (*Mangifera Indica* L.'Tommy Atkins') en estados del Pacífico Centro de México. Memorias del XVI Congreso Nacional de la Organización Mexicana de Meteorólogos. Boca del Río Veracruz, México. p 1-7
- Mercado, E. 2010.** Aplicación de la irradiación gamma como tratamiento cuarentenario y sus efectos en la calidad de fruta en diferentes variedades y tamaños cultivados en diferentes regiones de México. Reporte Técnico. International Mango Board Research Program.
- Mitcham, E., y E. Yahia. 2009.** Alternative treatments to Hot water treatment for Mango Fruit. Report to the National Mango Board. Disponible en la pagina: http://www.mango.org/media/77878/alternatives_to_hot_water_treatment_final_report.pdf
- Moalemiyan, M. A., Vikram, A. C. 2007.** Detection and discrimination of two fungal diseases of mango (cv. Keitt) fruits based on volatile metabolite profiles using GC/MS. *Postharvest Biology and Technology*: Vol. 45: 117-125.
- Mondragón, P.A. Del C. 1999.** Diferencias fisiológicas y metabólicas entre frutos sensibles y tolerantes al estrés térmico. Tesis para obtener el título de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México. 22-30
- Montero, M. J., Gamboa, P. J., Elizondo, M. R. 2002.** Guía para el cultivo del mango. 1ra. ed. INTA, Costa Rica: 2-4.
- Moreno M.A., M.E. Castell-Pérez, C. Gómez, P-F. Da Silva, J. Kim, y R. G. Moreira. 2007.** Optimizing electron beam irradiation of 'Tommy Atkins' Mangoes (*Mangifera Indica* L.). *J. of Food Process Engineering*. 30. 436 - 457

Mound, L. y R. Murillo. 1996. The Trips of Central and South America: An introduction (Intescta: Thysanoptera). Associated Publishers. Gainesville, Florida. 487 p.

Norma Mexicana NMX-FF-058-SCFI). 2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano – Fruta Fresca – Determinación de sólidos solubles totales. Dirección General de Normas. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Mexico.

Pino, A. J., Mesa, J., Muñoz, Y., Martí, M. P., Marbot, R. 2005. Volatile components from mango (*Mangifera indica L.*) cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry: Vol.53: 2213-2223.

Prakash, O. 2004. Diseases and disorders of mango and their management. En Naqvi S.A.M.H. (Ed) Diseases of Fruit and Vegetables: Vol. 1:511-619.Kluwer Academic Publishers. Netherlands

Reyes, L.F. y Cisneros-Zeballos. 2007. Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica L*) Antioxidant constituents before and during postharvest storage. J. Agri. Food Chem. 55(15). 6132 - 6139

Sabato, S. F., Da Silva, J. M., Da Cruz, J. N., Salmieri, S., Rela, P. R., Lacroix, M. 2009a. Study of physical-chemical and sensorial properties of irradiates Tommy Atkins mangoes (*Mangifera indica L.*) in an international consignment. Food Control: Vol. 20: 284-288.

Sabato, S. F., J. M., Da Cruz, S., Rela, y P. Broisler.. 2009b. Study of the influence of harvesting point in Brazilian Tommy Atkins mangoes submitted to gamma irradiation. Radiation Physics, and Chemist. 78. 571- 573

SAGARPA. 2006. NMX-FF-058-SCFI-2006. Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano Fruta Fresca Especificaciones. Marzo 4 de 2010.

SAGARPA. 2003. NOM-129-SCFI-1998 .Información comercial etiquetado de productos agrícolas Mango. Marzo 4 de 2010.

SSA. 1995. NOM-033-SSA1-1993, Irradiación de Alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos. Marzo 4 de 2010.

- SIAP, 2008.** Sistema de Información Agropecuaria de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. Consultado en www.siap.gob.mx en Enero 2011.
- SEDER. 2005.** Paquete Tecnológico para el Cultivo de Mango. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Colima. <http://www.cadenahortofruticola.org/admin/bibli/29mango.pdf>. Febrero 11 de 2011.
- SENASICA. 2010.** Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Marzo 4 de 2010.
- Sergent, E. 1999.** El cultivo del mango (botánica, manejo y comercialización). . 1ra. ed. Universidad Central de Venezuela. Venezuela: 210-212.
- Súmano, O. 2009.** Modificación de la capacidad antioxidante y la calidad poscosecha de frutos de Mango (*Mangifera Indica*) irradiado. Tesis de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México. 11-14, 24-33.
- Tharanathan, R. N., Yashoda, H. M., Prabha, T. N. 2006.** Mango (*Mangifera indica L.*), "The King of fruits". Food Reviews International: Vol. 22: 95-123.
- Uthairatanakij, A., P. Jitareerat y S. Kanlavanarat. 2006.** Effects of irradiation on quality attributes of two cultivars of mango. Acta Horticulturae. 712. 885-892
- USDA, 2011.** Nutrient Data Laboratory. www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/index.html. Consulta Febrero 2011.
- USDA, APHIS y PPQ. 2010** Fresh Fruits and Vegetable Import Manual. Maryland Estados Unidos. p 626
- Wang, S., Tang, J. 2004.** Radio frequency post-harvest quarantine and phytosanitary treatments to control insect pest in fruits and nuts. Postharvest treatment and technology: Vol. 4:17-53.

X. ANEXOS.

Anexo 1. Efecto de la dosis y temperatura de almacenamiento sobre la pérdida fisiológica de peso (% de peso perdido) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ almacenados 19 días a 10°C y 20°C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	$\frac{1}{4}$ - 10°C	$\frac{3}{4}$ - 10°C	$\frac{1}{4}$ - 20°C	$\frac{3}{4}$ - 20°C	T $\frac{1}{4}$	T $\frac{3}{4}$
1	Control	0.7 ^f	0.6 ^{gh}	0.6 ^d	0.6 ^f	NA	NA
	0.15	0.6 ^f	0.5 ^h	0.6 ^d	0.8 ^f	NA	NA
	0.6	0.7 ^f	0.6 ^{gh}	0.6 ^d	0.6 ^f	NA	NA
	1	0.7 ^f	0.6 ^{gh}	0.4 ^d	0.6 ^f	NA	NA
7	Control	2.4 ^e	2.7 ^{ef}	4.5 ^c	4.7 ^e	3.7 ^{ghij}	3.5 ^c
	0.15	2.4 ^e	2.2 ^{fg}	4.0 ^c	4.0 ^e	3.9 ^{gh}	3.6 ^c
	0.6	2.9 ^{de}	2.5 ^{ef}	4.7 ^c	4.0 ^e	3.1 ^{ij}	3.8 ^c
	1	2.7 ^e	2.6 ^{ef}	4.2 ^c	3.8 ^e	3.4 ^{hij}	3.3 ^c
13	Control	4.9 ^{bc}	5.2 ^{cd}	7.4 ^b	8.1 ^{bcd}	10.9 ^a	6.4 ^{ab}
	0.15	5.8 ^{abc}	3.9 ^{de}	7.0 ^b	7.2 ^d	6.2 ^{cdef}	6.5 ^{ab}
	0.6	4.5 ^{cd}	4.1 ^{de}	8.2 ^b	7.8 ^{cd}	5.8 ^{defg}	5.8 ^b
	1	4.6 ^c	5.1 ^{cd}	7.9 ^b	7.5 ^{cd}	6.2 ^{cdef}	6.1 ^b
19	Control	7.3 ^a	8 ^{ab}	8.9 ^{ab}	ND	7.3 ^{bcde}	8.3 ^{ab}
	0.15	6.5 ^{ab}	6.3 ^{bc}	8.5 ^{ab}	9.4 ^{bc}	8.5 ^{abc}	8.6 ^{ab}
	0.6	6.5 ^{ab}	7.1 ^{ab}	10.4 ^a	9.7 ^b	7.4 ^{bcd}	7.7 ^{ab}
	1	6.7 ^a	7.96 ^a	10.8 ^a	9.8 ^b	8.6 ^{ab}	8.0 ^{ab}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado y NA = no aplica por no haber transferencias ese día.

Anexo 2. Cuadro de comparación de medias del color de la pulpa (valor a*) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez ¼ y ¾ almacenados 19 días a 10 y 20 °C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	¼ - 10°C	¾ - 10°C	¼ - 20°C	¾ - 20°C	T ¼	T ¾
1	Control	12.0 ^a	10.9 ^{ab}	13.5 ^{efg}	11.5 ^{def}	NA	NA
	0.15	9.5 ^a	11.7 ^{abc}	10.3 ^g	12.8 ^f	NA	NA
	0.6	10.1 ^a	12.8 ^{abc}	12.2 ^{fg}	9.7 ^{ef}	NA	NA
	1	10.0 ^a	9.1 ^{bc}	10.2 ^{defg}	11.8 ^{def}	NA	NA
7	Control	11.5	11.4 ^{abc}	8.8 ^{bcde}	18.1 ^{bcde}	15.2 ^{abcd}	14.0 ^{abc}
	0.15	12.4 ^a	16.1 ^c	16.8 ^{bcde}	17.8 ^{cdef}	16.0 ^{abc}	13.6 ^{abc}
	0.6	12.1 ^a	14.8 ^{bc}	15.1 ^{cdefg}	16.2 ^{bcdef}	17.2 ^a	12.0 ^{abc}
	1	10.2 ^a	11.2 ^{abc}	15.8 ^{cdefg}	17.7 ^{bcd}	7.5 ^e	12.6 ^{abc}
13	Control	10.9 ^a	11.2 ^a	19.4 ^b	21.1 ^{bc}	16.5 ^{abc}	16.8 ^a
	0.15	12.7 ^a	11.6 ^{abc}	19.3 ^b	21.2 ^b	17.4 ^a	16.9 ^a
	0.6	10.4 ^a	12.5 ^{abc}	9.2 ^{bc}	19.6 ^b	15.6 ^{abcd}	15.7 ^{ab}
	1	7.0 ^a	7.7 ^{abc}	19.0 ^{bcd}	19.4 ^{bc}	9.4 ^{de}	8.3 ^{bc}
19	Control	13.2 ^a	11.4 ^{ab}	ND	ND	16.8 ^{ab}	14.8 ^{abc}
	0.15	12.2 ^a	13.6 ^{abc}	ND	ND	14.5 ^{abcd}	16.1 ^a
	0.6	14.2 ^a	12.2 ^{abc}	ND	22.5 ^{bc}	17.3 ^a	15.5 ^{ab}
	1	9.2 ^a	10.1 ^{abc}	ND	18.9 ^b	9.2 ^{de}	8.3 ^{bc}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 3. Cuadro de comparación de medias del color de la pulpa (valor b*) de mangos 'Ataulfo' en estados de madurez ¼ y ¾ almacenados 19 días a 10 y 20 °C y 90% de humedad relativa e irradiados a diferentes dosis de rayos gamma.

Día	Dosis (kGy)	¼ - 10°C	¾ - 10°C	¼ - 20°C	¾ - 20°C	T ¼	T ¾
1	Control	48.4 ^a	51.4 ^a	50.2 ^a	52.5 ^{ab}	NA	NA
	0.15	51.8 ^a	51.4 ^a	49.2 ^a	48.7 ^{ab}	NA	NA
	0.6	52.6 ^a	52.8 ^a	51.3 ^a	50.5 ^{ab}	NA	NA
	1	50.7 ^a	50.9 ^a	48.9 ^a	53.2 ^{ab}	NA	NA
7	Control	49.1 ^a	52.8 ^a	55.1 ^a	57.6 ^a	51.7 ^{abc}	55.8 ^{ab}
	0.15	50.4 ^a	53.4 ^a	54.3 ^a	53.1 ^{ab}	55.5 ^a	53.4 ^{abc}
	0.6	51.7 ^a	51.9 ^a	53.0 ^a	51.8 ^{ab}	53.8 ^{ab}	53.0 ^{abc}
	1	50.4 ^a	47.9 ^a	53.8 ^a	57.5 ^a	52.0 ^{abc}	53.3 ^{abc}
13	Control	49.1 ^a	49.7 ^a	51.5 ^a	50.2 ^{ab}	51.9 ^{abc}	56.9 ^a
	0.15	51.9 ^a	50.5 ^a	46.5 ^a	51.3 ^{ab}	51.6 ^{abc}	51.6 ^{abc}
	0.6	47.0 ^a	51.2 ^a	49.9 ^a	54.4 ^a	53.6 ^{ab}	55.2 ^{ab}
	1	46.6 ^a	47.1 ^a	55.1 ^a	50.9 ^{ab}	47.0 ^{bc}	47.8 ^{abc}
19	Control	49.6 ^a	50.2 ^a	54.0 ^a	ND	52.5 ^{abc}	49.7 ^{abc}
	0.15	50.2 ^a	49.5 ^a	ND	48.3 ^{ab}	50.7 ^{abc}	52.0 ^{abc}
	0.6	48.8 ^a	50.9 ^a	51.5 ^a	50.5 ^{ab}	53.9 ^{ab}	52.0 ^{abc}
	1	46.7 ^a	40.8 ^a	48.1 ^a	44.8 ^b	44.3 ^c	44.2 ^c

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 4. Cuadro de comparación de medias del color de la piel (valor a*) en mangos 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10°C y 20 °C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	$\frac{1}{4}$ - 10°C	$\frac{3}{4}$ - 10°C	$\frac{1}{4}$ - 20°C	$\frac{3}{4}$ - 20°C	T $\frac{1}{4}$	T $\frac{3}{4}$
1	Control	-6.3 ^c	-3.8 ^{ab}	-3.5 ^{ef}	-5.4 ^e	NA	NA
	0.15	-5.7 ^{bc}	-5.3 ^{ab}	-3.6 ^{ef}	-5.3 ^e	NA	NA
	0.6	-5.5 ^{bc}	-2.7 ^{ab}	-5.1 ^f	-6.0 ^e	NA	NA
	1	-0.4 ^{ab}	-2.7 ^{ab}	-5.7 ^f	-4.6 ^e	NA	NA
7	Control	-2.5 ^{abc}	-2.8 ^{ab}	9.8 ^{bd}	8.2 ^{cd}	5.9 ^{bcde}	1.3 ^{cdef}
	0.15	-1.0 ^{abc}	2.5 ^a	7.0 ^{bd}	8.4 ^{cd}	4.9 ^{bcdef}	1.4 ^f
	0.6	-2.7 ^{abc}	3.0 ^a	5.5 ^{bd}	7.5 ^{cd}	0.1 ^{def}	-1.1 ^{cdef}
	1	2.2 ^{abc}	0.3 ^{ab}	4.7 ^{de}	3.3 ^d	-0.2 ^{def}	3.1 ^{bcdef}
13	Control	1.1 ^a	-0.7 ^{ab}	15.2 ^{ab}	15.7 ^b	12.2 ^{ab}	10.0 ^{ab}
	0.15	0.5 ^a	0.6 ^{ab}	14.3 ^{ab}	15.3 ^b	10.0 ^{ab}	9.2 ^{abc}
	0.6	-0.8 ^{abc}	0.6 ^{ab}	12.8 ^{abd}	12.5 ^{bc}	7.1 ^{bcd}	7.6 ^{abcd}
	1	-1.1 ^{abc}	0.6 ^{ab}	8.9 ^{bd}	12.7 ^{bc}	2.2 ^{cdef}	3.6 ^{bcdef}
19	Control	1.6 ^a	1.1 ^{ab}	21.8 ^a	ND	15.3 ^a	14.8 ^a
	0.15	0.4 ^a	-0.9 ^{ab}	ND	18.3 ^b	11.9 ^{ab}	9.3 ^{abc}
	0.6	1.3 ^a	1.4 ^{ab}	16.9 ^{ab}	15.5 ^b	10.0 ^{abc}	7.3 ^{abcde}
	1	0.9 ^a	2.9 ^a	14.4 ^{ab}	14.9 ^{bc}	4.5 ^{bcdef}	3.5 ^{bcdef}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND =no determinado y NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 5. Cuadro de comparación de medias del color de la piel (valor b*) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10°C y 20 °C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	$\frac{1}{4}$ - 10°C	$\frac{3}{4}$ - 10°C	$\frac{1}{4}$ - 20°C	$\frac{3}{4}$ - 20°C	T $\frac{1}{4}$	T $\frac{3}{4}$
1	Control	34.7 ^{abcd}	36.6 ^{ab}	36.3 ^a	38.9 ^{ab}	NA	NA
	0.15	36.3 ^{abc}	34.5 ^{abcd}	35.3 ^a	36.7 ^{ab}	NA	NA
	0.6	37.2 ^{ab}	35.8 ^{abc}	34.2 ^a	34.5 ^{ab}	NA	NA
	1	39.2 ^a	38.9 ^a	35.4 ^a	41.9 ^a	NA	NA
7	Control	29.3 ^{abcdefg}	24.8 ^{cd}	37.9 ^a	37.4 ^{ab}	32.2 ^{abcde}	29.1 ^{abcd}
	0.15	20.3 ^g	26.5 ^{bcd}	34.2 ^a	35.4 ^{ab}	32.3 ^{abcd}	31.5 ^{abc}
	0.6	28.4 ^{bcdefg}	31.9 ^{abcd}	34.0 ^a	36.6 ^{ab}	25.5 ^{cde}	29.6 ^{abcd}
	1	24.6 ^{defg}	25.8 ^{bcd}	33.4 ^a	29.3 ^b	26.1 ^{bcde}	22.7 ^{bcd}
13	Control	33.0 ^{abcde}	25.9 ^{bcd}	30.7 ^a	35.2 ^{ab}	33.7 ^{abc}	27.6 ^{ab}
	0.15	26.2 ^{cdefg}	28.7 ^{abcd}	35.3 ^a	36.3 ^{ab}	34.2 ^{abc}	35.5 ^{ab}
	0.6	25.8 ^{defg}	27.8 ^{abcd}	33.0 ^a	33.6 ^{ab}	38.1 ^{ab}	31.1 ^{abc}
	1	24.7 ^{defg}	33.7 ^{abcd}	30.3 ^a	31.7 ^{ab}	24.7 ^{cde}	16.2 ^d
19	Control	31.3 ^{abcdef}	24.1 ^{abcd}	38.3 ^a	ND	40.2 ^a	39.4 ^a
	0.15	24.2 ^{efg}	29.2 ^{abcd}	ND	36.8 ^{ab}	35.0 ^{abc}	31.3 ^{abc}
	0.6	31.5 ^{abcdef}	30.0 ^{abcd}	37.0 ^a	34.5 ^{ab}	34.5 ^{abc}	33.0 ^{ab}
	1	20.5 ^{fg}	23.2 ^d	36.6 ^a	32.9 ^{ab}	27.2 ^{abcde}	6.7 ^{cd}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 6. Cuadro de comparación de medias de la firmeza (N) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10 y 20 °C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	$\frac{1}{4}$ - 10°C	$\frac{3}{4}$ - 10°C	$\frac{1}{4}$ - 20°C	$\frac{3}{4}$ - 20°C	T $\frac{1}{4}$	T $\frac{3}{4}$
1	Control	53.5 ^{ab}	48.5 ^a	43.6 ^{ab}	37.3 ^b	NA	NA
	0.15	73.7 ^a	45.2 ^{ab}	38 ^{abc}	64.4 ^a	NA	NA
	0.6	57.7 ^{ab}	49.9 ^a	56.1 ^a	63.5 ^a	NA	NA
	1	43.7 ^{bc}	39.4 ^{abc}	46.0 ^{ab}	61.2 ^a	NA	NA
7	Control	39.5 ^{bcde}	36.8 ^{abcd}	14.6 ^d	13.8 ^c	19.6 ^{abc}	19.1 ^{bc}
	0.15	42.9 ^{bcd}	18.3 ^{cde}	14.7 ^d	15.5 ^c	16.6 ^{abc}	20.7 ^{bc}
	0.6	33.1 ^{bcdef}	28 ^{abcde}	16.2 ^d	16.4 ^c	20.7 ^{abc}	21.6 ^{abc}
	1	25.57 ^{cdef}	14.3 ^{de}	21.2 ^{cd}	19.4 ^{bc}	14.8 ^{bc}	13.9 ^{bc}
13	Control	23.6 ^{cdef}	17.5 ^{cde}	13.6 ^d	9.9 ^c	11.7 ^{bc}	11.6 ^c
	0.15	12.53 ^f	21.2 ^{cde}	9.5 ^d	11.7 ^c	9.9 ^c	11.8 ^c
	0.6	27.7 ^{cdef}	23.1 ^{bcde}	9.1 ^d	11.5 ^c	10.8 ^{bc}	16.2 ^{bc}
	1	19.06 ^{cdef}	16.4 ^{cde}	11.3 ^d	11.9 ^c	16.1 ^{abc}	13.2 ^{bc}
19	Control	11.1 ^f	12.3 ^{de}	12 ^d	ND	12.2 ^{bc}	12.6 ^{bc}
	0.15	14.7 ^{ef}	15.6 ^{cde}	7.9 ^{bcd}	9.1 ^c	8.9 ^c	10.3 ^c
	0.6	17 ^{def}	15.2 ^{cde}	7.9 ^d	7.9 ^c	9.7 ^c	10.4 ^c
	1	15.31 ^{ef}	10.48 ^e	11.9 ^d	10.7 ^c	19.7 ^{abc}	14.5 ^{bc}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado y NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 7. Cuadro de comparación de medias del contenido de SST (°Brix) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez ¼ y ¾ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10 y 20°C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	¼ - 10°C	¾ - 10°C	¼ - 20°C	¾ - 20°C	T ¼	T ¾
1	Control	8.2 ^{efg}	8.0 ^{ef}	8.9 ^{cde}	7.4 ^f	NA	NA
	0.15	6.8 ^g	9.0 ^{def}	8.0 ^{de}	8.9 ^{def}	NA	NA
	0.6	7.0 ^{fg}	8.3 ^{ef}	8.3 ^{de}	7.8 ^f	NA	NA
	1	7.3 ^{fg}	7.1 ^f	7.3 ^e	8.6 ^{ef}	NA	NA
7	Control	9.6 ^{defg}	10.3 ^{bcdef}	13.3 ^{ab}	13.0 ^c	13.5 ^{abcde}	12.3 ^{abcde}
	0.15	10.0 ^{cdefg}	13.3 ^{abc}	13.1 ^{ab}	15.4 ^{bc}	14.9 ^{ab}	12.8 ^{abcde}
	0.6	10.4 ^{bcdef}	10.9 ^{bcdef}	13.5 ^{ab}	14.2 ^{bc}	13.0 ^{abcde}	12.1 ^{abcde}
	1	7.9 ^{efg}	9.9 ^{bcdef}	11.5 ^{bcd}	12.7 ^{cd}	7.6 ^g	10.7 ^{bcde}
13	Control	11.6 ^{abcd}	11.9 ^{abcde}	14.3 ^{ab}	12.4 ^{cde}	14.9 ^{ab}	12.3 ^{abcde}
	0.15	13.4 ^{abc}	12.9 ^{abcd}	13.4 ^{ab}	15.2 ^{bc}	14.5 ^{ab}	13.6 ^{abc}
	0.6	11.3 ^{abcde}	11.8 ^{abcde}	13.7 ^{ab}	14.1 ^{bc}	14.5 ^{ab}	14.4 ^{ab}
	1	7.4 ^{fg}	9.5 ^{bcdef}	12.4 ^{abc}	14.3 ^{bc}	10.0 ^{defg}	8.8 ^e
19	Control	13.9 ^a	13.8 ^{ab}	14.8 ^{ab}	ND	15.4 ^a	13 ^{abcde}
	0.15	13.4 ^{ab}	13.3 ^{abc}	14.4 ^{abcd}	17.5 ^b	14.1 ^{abc}	13.2 ^{abcd}
	0.6	12.0 ^{abcd}	15.9 ^a	16.8 ^a	14 ^{bc}	14.2 ^{abc}	14.1 ^{ab}
	1	9.8 ^{defg}	9.3 ^{cdef}	11.6 ^{bcd}	13.9 ^{bc}	11.2 ^{bcdefg}	10.4 ^{bcde}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado y NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 8. Cuadro de comparación de medias de la acidez total titulable (% de ácido cítrico) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez ¼ y ¾ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10 y 20°C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	¼ - 10°C	¾ - 10°C	¼ - 20°C	¾ - 20°C	T ¼	T ¾
1	Control	2.7 ^{abc}	2.6 ^a	2.5 ^a	2.8 ^b	NA	NA
	0.15	2.6 ^{abc}	2.3 ^a	2.4 ^a	2.8 ^b	NA	NA
	0.6	2.8 ^a	2.3 ^a	2.6 ^a	2.7 ^b	NA	NA
	1	2.8 ^a	2.7 ^a	3.0 ^a	2.6 ^b	NA	NA
7	Control	2.3 ^{abc}	2.4 ^a	0.8 ^{bcd}	0.9 ^{cde}	1.42 ^{cdefgh}	1.73 ^{abcde}
	0.15	2.2 ^{abc}	1.7 ^a	1.3 ^b	1.1 ^c	0.90 ^{defgh}	1.84 ^{abc}
	0.6	2.4 ^{abc}	1.8 ^a	1.2 ^{bc}	1.08 ^{cd}	1.53 ^{bcdefgh}	1.77 ^{abcd}
	1	2.8 ^{ab}	1.9 ^a	1.3 ^b	1.1 ^{cd}	2.32 ^{abc}	1.57 ^{abcdef}
13	Control	2.3 ^{abc}	2.2 ^a	0.2 ^d	0.1 ^f	0.70 ^{fgh}	0.43 ^f
	0.15	1.6 ^c	1.4 ^a	0.3 ^d	0.3 ^{ef}	0.62 ^{gh}	0.81 ^{cdef}
	0.6	2 ^{abc}	1.5 ^a	0.3 ^d	0.4 ^{def}	0.84 ^{efgh}	0.99 ^{bcdef}
	1	2.5 ^{abc}	2.1 ^a	0.4 ^{bcd}	0.4 ^{def}	1.62 ^{bcdef}	1.86 ^{abc}
19	Control	1.7 ^{bc}	1.9 ^a	0.1 ^{cd}	ND	0.65 ^{efgh}	0.48 ^{def}
	0.15	1.9 ^{abc}	1.5 ^a	0.3 ^{bcd}	0.2 ^f	0.58 ^h	0.54 ^f
	0.6	1.6 ^c	1.6 ^a	0.2 ^{cd}	0.17 ^{ef}	0.60 ^{gh}	0.61 ^{def}
	1	1.7 ^c	2.4 ^a	0.4 ^{cd}	0.3 ^{ef}	0.57 ^h	0.58 ^{ef}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado NA = no aplica por no haber transferencias

Anexo 9. Cuadro de comparación de medias del contenido de ácido ascórbico (mg/100g) de mangos 'Ataulfo' en estado de madurez $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ irradiados a diferentes dosis y almacenados 19 días a 10 y 20°C y 90% de humedad relativa.

Día	Dosis(kGy)	$\frac{1}{4}$ - 10°C	$\frac{3}{4}$ - 10°C	$\frac{1}{4}$ - 20°C	$\frac{3}{4}$ - 20°C	T $\frac{1}{4}$	T $\frac{3}{4}$
1	Control	118 ^{ab}	114 ^a	112.8 ^c	108.8 ^{bc}	NA	NA
	0.15	107 ^{abc}	102 ^{ab}	118.4 ^{bc}	112.4 ^{bc}	NA	NA
	0.6	109.3 ^{abc}	108.7 ^{ab}	109 ^c	114 ^b	NA	NA
	1	121.9 ^{ab}	115 ^a	150.8 ^{ab}	106 ^{bcd}	NA	NA
7	Control	99.2 ^{abc}	115.6 ^a	101.6 ^{cd}	91.6 ^{bcd}	100.4 ^{abc}	94.0 ^{abcdef}
	0.15	98.87 ^{abc}	112.8 ^a	94.4 ^{cd}	93.6 ^{bcd}	92.0 ^{abc}	104.8 ^{abcdef}
	0.6	106.4 ^{abc}	91.2 ^{ab}	99.2 ^{cd}	76.8 ^{cd}	92.4 ^{abc}	98.8 ^{abcdef}
	1	104.4 ^{abc}	105.2 ^{ab}	103.2 ^c	82 ^{bcd}	95.6 ^{abc}	80.0 ^{cdefgh}
13	Control	138.8 ^a	123.6 ^a	107.6 ^c	88 ^{bcd}	79.2 ^{bc}	124.0 ^{ab}
	0.15	122.8 ^{ab}	110.4 ^{ab}	90.4 ^{cd}	98.4 ^{bcd}	94.4 ^{abc}	86.8 ^{bcdef}
	0.6	110 ^{abc}	98.8 ^{ab}	106.05 ^c	71.6 ^d	96.4 ^{abc}	68.0 ^{efgh}
	1	111.6 ^{abc}	86.4 ^{ab}	87.6 ^{cd}	80 ^{bcd}	72.8 ^{bc}	41.3 ^h
19	Control	120 ^{ab}	136.8 ^a	162.4 ^a	ND	86.4 ^{abc}	93.1 ^{abcdefg}
	0.15	97.2 ^{abc}	123.2 ^a	134.4 ^{abc}	91.2 ^{bcd}	101.2 ^{abc}	90.4 ^{bcdefg}
	0.6	81.12 ^{bc}	110.4 ^{ab}	100 ^{cd}	92.8 ^{bcd}	101.2 ^{abc}	70.0 ^{defgh}
	1	61.6 ^c	64 ^b	68.0 ^d	95.52 ^{bcd}	61.6 ^c	47.6 ^{gh}

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey 0.05). ND = no determinado y NA = no aplica por no tener muestras de transferencia

Anexo 10. Valores de probabilidad del análisis de varianza de los datos de sumatorias de áreas de los picos incluidos en diferentes intervalos de tiempos de retención.

Tiempo retención	Trat. (Tr)	Muest (M)	Temp (Te)	Tr*M	Tr*Te	M*Te
1	0.9851	0.2498	0.4940	0.3700	0.6565	0.5520
2	0.3175	0.4919	0.9568	0.6235	0.6170	0.5705
3	0.0987	0.0432	0.7752	0.2137	0.6080	0.6991
4	0.1974	0.0042	0.6809	0.2414	0.4649	0.4041
5	0.2687	0.0319	0.6665	0.4602	0.5232	0.3944
6	0.6152	0.3771	0.5938	0.7831	0.6687	0.4397
7	0.7662	0.6190	0.5606	0.9111	0.8496	0.4715
8	0.9146	0.7415	0.4077	0.5293	0.5212	0.3297
9	0.6435	0.8704	0.3286	0.8819	0.6421	0.2249
10	0.4133	0.9435	0.0903	0.6626	0.5734	0.4673
11	0.5338	0.2389	0.0157	0.1064	0.9138	0.0630
12	0.1899	0.2804	0.4086	0.8022	0.9157	0.8540