



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

INFLUENCIA DE FACTORES COMBINADOS IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA EN LA CALIDAD QUÍMICA DE GUAYABA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A:

ROSARIO REYES CAMPOS



MÉXICO, D.F.



2002

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

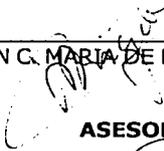
JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. FRANCISCA ITURBE CHIÑAS
VOCAL	PROF. MARIA DE LOS ÁNGELES VALDIVIA LÓPEZ
SECRETARIO	PROF. MARCO ANTONIO LEON FELIX
1ER. SUPLENTE	PROF. JUAN DIEGO ORTIZ PALMA PEREZ
2º. SUPLENTE	PROF. MARIA TERESA PLATA JIMENEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIOS 322 Y 323 EDIFICIO "E" DE LA FACULTAD DE QUÍMICA

ASESOR DEL TEMA

M. EN C.  MARIA DE LOS ÁNGELES VALDIVIA LÓPEZ

ASESOR TÉCNICO


Q.F.B. JULIETA SANDOVAL GUILLÉN

SUSTENTANTE


ROSARIO REYES CAMPOS

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepción:
NOMBRE: Rosario Reyes Campos

FECHA: 26 / NOV / 02

FIRMA: 

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la M en C Maria de los Ángeles Valdivia por haber asesorado este trabajo así como la confianza que depositó en mí para la realización de esta tesis.

Agradezco de manera muy especial a la Q.F.B. Julieta Sandoval por el gran apoyo que me brindó durante el desarrollo de este trabajo al igual que en su revisión

Agradezco a la M en C. Maestra Francisca Iturbe por el tiempo y la dedicación que brindó a este trabajo para su revisión, Muchas gracias

Un Agradecimiento muy especial a la Maestra Emilia Bustos por las facilidades otorgadas para que se llevara a cabo este proyecto así como al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)

DEDICATORIAS

A mis Padres Aureliano Reyes y Esperanza Campos que anhelaron que obtuviera mi título profesional y me apoyaron en el transcurso de la carrera. Gracias

A mis hermanos Rodolfo, Rigoberto, Juan Carlos, Ma. Lander y muy especialmente a Nancy por su apoyo Comprensión y ayuda en la conclusión de este trabajo.

A mis Tíos José y Baltasar por ser un gran ejemplo así como el apoyo que me brindaron muchas gracias

Para toda la Familia Campos por su gran apoyo que brindaron en todos los aspectos gracias.

Para toda la familia Reyes que siempre estuvieron apoyándome y aconsejándome muchas gracias

Finalmente a todos mis primos que el numerarlos no acabaría muchas gracias

A ti abuelita Nieves † por todos tus consejos y tu apoyo

A mis amigas Arminda, Leticia, Azucena, Susana, Lorena, Carmen y Lety, por todos los momentos que pasamos juntas, gracias por su gran amistad espero seguir conservándola.

A Martín, Alfredo y Roberto, por ser unos grandes amigos y estar conmigo en las buenas y las malas los quiero mucho.

A Iñigo eres alguien importante en esta parte de vida por aconsejarme, apoyarme en todos los momentos que compartimos durante la Carrera Gracias.

A todos mis amigos Lupita, Carmen, Alfonso, Iván, Edgar, Mario, Araceli, Berenice, Gabriela, Erick, Elisa, Nacho, Ivonne, Octavio, Mari, Mayte, Yuli, Clara, Arturo, Alberto, Erika, Raúl, Sergio, Rogelio, Tere y Fabián a todos gracias.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
I. ANTECEDENTES	4
1.1. Guayaba	4
1.1.1. Generalidades	4
1.1.2. Variedades	4
1.1.3. Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	5
1.1.4. Producción de guayaba	5
1.1.5. Características fisicoquímicas de la guayaba	7
1.1.6. Composición química	8
1.1.7. Fenómeno de maduración	10
1.1.8. Conservación de la guayaba	12
1.1.9. Procesos de conservación	13
1.1.10. Refrigeración	13
1.2. Irradiación	14
1.2.1. Generalidades	14
1.2.2. Irradiación de frutas y vegetales	15
1.2.3. Efectos de la irradiación	16
1.2.4. Aplicaciones	17
1.2.5. Efectos químicos de la irradiación	18
1.2.6. Efecto de radiación ionizante en el agua	19
1.2.7. Intermediarios Reactivos en la Radiólisis de Agua	20
1.2.8. Productos Finales de la Radiólisis del Agua	21
1.2.9. Irradiación de alimentos	22
1.2.10. Efectos de la irradiación en los componentes de los alimentos	23
1.2.11. Efecto de la Irradiación sobre Insectos	35

II. METODOLOGÍA	37
Esquema general de estudio	38
2.1. Primera etapa: Irradiación	39
2.1.1 Condiciones de irradiación	39
2.1.2 Dosimetría al aire	40
2.1.3 Diseño de irradiación para la guayaba	42
2.2. Segunda etapa: Pruebas de Estabilidad química	44
2.2.1. Análisis de ácido ascórbico	44
2.2.2. β -Caroteno (Provitamina A)	46
2.2.3. Carbohidratos Solubles	47
2.2.4. Fibra Cruda	48
2.2.5. Pectinas	49
2.2.6. Acidez titulable	50
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1. Dosimetría al aire	51
3.2. Diseño de irradiación para la Guayaba	53
3.3. Irradiación de las muestras	55
3.4. Degradación de ácido ascórbico	56
3.5. Degradación de β -Caroteno	64
3.6. Carbohidratos solubles (Temperatura ambiente)	70
3.6.1. Fructosa	70
3.6.2. Glucosa	72
3.6.3. Sacarosa	73
3.7. Carbohidratos solubles (Temperatura de Refrigeración)	76
3.7.1. Fructosa	76
3.7.2. Glucosa	78
3.7.3. Sacarosa	80
3.8. Pectinas	82
3.9. Fibra Cruda	86

3.10. Ácidos orgánicos	90
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXO	101

INTRODUCCIÓN

El aspecto fitosanitario, es un factor que ha influido de manera importante en las exportaciones de guayaba, ya que se considera que las variedades de guayaba producidas en el país se ven afectadas por algunas plagas y enfermedades. Una de las más importantes es la "mosca de la fruta"; la cual afecta el 2% de la producción, su presencia en las principales regiones productoras del país, ha sido el principal argumento para que los Estados Unidos restrinjan su exportación.

México ocupa uno de los primeros lugares en producción a nivel mundial siendo aproximadamente de 200, 000 toneladas métricas al año.

Debido a que la guayaba tiene un alto valor comercial y nutritivo, surge la necesidad de proponer una alternativa para la eliminación de plagas. Una propuesta es el uso de la irradiación como tratamiento cuarentenario sin afectar significativamente la calidad química de la guayaba, a las dosis que tienen la posibilidad de utilizarse como tratamiento fitosanitario.

La temperatura de almacenamiento juega un papel preponderante ya que se sabe que a temperaturas bajas los procesos metabólicos se ven retardados. Una de las ventajas de temperaturas bajas es que reduce la respiración de los frutos prolongando la vida útil. Sin embargo, hay frutos tropicales susceptibles a sufrir daños pro frío como en el caso de la guayaba que se manifiesta por pardeamiento de la pulpa y en algunos casos en la piel.

La guayaba es una de las principales fuentes de ácido ascórbico, beta caroteno y carbohidratos los cuales pudieran verse sensiblemente afectados por la irradiación. Por lo que surge la necesidad de evaluar el efecto de la aplicación de factores combinados (diferentes dosis de irradiación y temperatura) sobre la estabilidad química durante el almacenamiento. Esto permitirá evaluar la dosis mínima y temperatura óptima para alcanzar la vida útil necesaria para su comercialización en los mercados de exportación.

I. ANTECEDENTES

1.1. Guayaba

1.1.1. Generalidades

La guayaba es originaria de América, aunque no se conoce con certeza se presume que es originaria de algún lugar de Centroamérica, el Caribe, Brasil o Colombia. En la actualidad la guayaba es cultivada alrededor de todo el mundo por lo regular en regiones tropicales y subtropicales. (Salunkhe, 1995)

Es una fruta de gran importancia comercial ya que tiene un alto valor nutritivo, en particular es rica en vitamina C.

Esta puede ser consumida en su estado fresco o ya sea procesada en una gran variedad de productos, como son jugo, pulpa, puré, fruta en almíbar, mermeladas, ates y néctares. (Claridades Agropecuarias, 1998).

La guayaba pertenece a la familia de *Myrtaceae*, el árbol en su estado adulto alcanza una altura hasta 8 metros. Su corteza es rojiza y escamosa, las hojas son ovaladas en forma opuesta y con nervaduras bien marcadas.

Sus numerosas flores son de color blanco con varios estambres y su fruto es una esfera pulposa coronada en su extremo. Su pulpa puede ser blanca o rosada de consistencia gomosa y de sabor dulce. (Seymour, 1993)

1.1.2. Variedades

La Guayaba pertenece al género *Psidium* incluyendo cinco especies *Psidium guianense*, *P. catteianum*, *P. chinense*, *P. friedrichsthalianum*, y *P. guajava*, siendo esta última una de las variedades más estudiada (Salunkhe, 1995).

En México se producen diversas variedades, aunque la que predomina es la llamada Media China, sobre todo en los estados de Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán. En otras regiones productoras, se cuenta con variedades criollas identificadas con nombres regionales como son: la Regional del Calvillo, China, Labor, Acaponeta, Coyame entre otras. (Claridades Agropecuarias, 1998)

1.1.3. Guayaba (*Psidium guajava*)

Frecuentemente el arbusto de guayaba es de 2-8 metros de altura con una gran proporción en hojas o ramas, el tronco por lo regular tiene una apariencia en la corteza de color rojiza-negra, las hojas de la planta son ovaladas o rectangulares de 7-15 centímetros de longitud. (Salunkhe, 1995)

La fruta tiene una forma redonda aunque algunas variedades son ovaladas o de forma de pera. Las frutas totalmente maduras son de 4-10 cm de longitud y de 4-8 cm de diámetro, su peso varía de 50-500g.

El color de la cáscara (piel) madura es comúnmente amarilla. El color de la parte carnosa (pulpa) es normalmente blanco o crema, en algunas variedades es color rosa, las pequeñas semillas se encuentran en la parte carnosa de la fruta.

1.1.4. Producción de guayaba

La producción nacional a partir de 1980 (año de mayor producción en la historia de la guayaba, con 284 mil toneladas) y hasta la fecha, ha tenido fluctuaciones que se caracterizan por el proceso de reducción-recuperación. Así, durante el quinquenio 1981-1985 la producción promedio disminuyó a 157 mil toneladas, en el periodo de 1986-1990 la producción se recuperó, ubicándose en 166 mil toneladas en

promedio registrándose durante este periodo de crecimiento (0.28%) apenas perceptible.

En la tabla 1 se muestra la producción, durante el periodo de 1990-1997, donde se observa que Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán han contribuido con el 90% de la superficie cosechada a nivel nacional y con el 94% de la producción total del país.

Tabla 1. Producción a nivel nacional de guayaba

Entidad	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997*	Variación
Aguascalientes	114,928	126,299	115,852	120,852	108,433	106,138	119,083	88,134	-2.88
Zacatecas	52,139	47,958	54,747	54,912	54,016	52,871	56,596	30,811	-5.12
Michoacán	1,771	8,232	8,892	7,429	11,705	30,407	20,998	45,518	94.22
Jalisco	8,040	7,532	6,408	3,496	3,582	5,067	5,782	6,226	-0.14
Guanajuato	911	519	925	2,6246	4,237	2,095	2,295	2,194	33.56
Otros	932	3,258	3,250	3,88	3,961	5,631	4,963	5,500	44.56
Nacional	178,721	193,798	189,227	193,199	185,934	202,209	209,717	178,383	0.28

Fuente ASERCA con datos de SAGAR *1997 datos preliminares

Entre los estados que representan la mayor producción podemos mencionar a: Aguascalientes con el 59%, Zacatecas 26%, Michoacán 9% y al resto de los estados corresponde el 6%. (Claridades Agropecuarias, 1998)

1.1.5. Características fisicoquímicas

La guayaba está constituida alrededor de un 20% de cáscara, 50% de pulpa y 30% de semilla en su interior. Las características fisicoquímicas se mencionan en la tabla 2.

Tabla 2. Características fisicoquímicas

Característica	Contenido
Longitud (cm)	3.9-9.8
Diámetro (cm)	4.2-8.3
Peso Fruta (gramos)	50-500
Volumen (ml)	210-300
Gravedad específica (g/ml)	0.94-1.11
Espesor de la piel (cm)	1.3-3.5
No. De semillas por fruta	4-570
Peso de la semilla por fruta (g)	0.4-4.4
Sólidos solubles totales (g/100g)	8.0-19.4
Acidez (% cítrico)	0.08-2.20
pH	4.1-5.4

Fuente Salunkhe 1995

Estas características fisicoquímicas pueden presentar cambios significativos durante la etapa de maduración. Como en el caso de los sólidos solubles que se incrementan durante esta fase, al igual que la acidez.

1.1.6. Composición química

La guayaba contiene de 74-78% de humedad, 13-26% de materia seca, 0.8-1.5% de proteína, 0.4-0.7% de los lípidos y 0.5-1.0% de las cenizas, entre otros componentes, los cuales se aprecian en la tabla 3.

Los carbohidratos son el principal constituyente de la guayaba. Los azúcares se presentan entre 6-11% en la guayaba fresca, de estos se encuentran fructosa, glucosa y sacarosa en proporciones de 59%, 36% y 5% respectivamente. Además de ser una excelente fuente en vitamina C y una buena fuente en carotenos (Provitamina A), también presenta cantidades apreciables de niacina, tiamina, riboflavina, calcio, hierro y fósforo. (Salunkhe, 1995)

Tabla 3. Composición química

Constituyente	Intervalo	Promedio
Humedad (%)	77.9-86.9	83.3
Materia Seca (%)	12.3-26.3	16.7
Cenizas (%)	0.51-1.02	0.66
Grasa cruda (%)	0.10-0.70	0.36
Proteína cruda (%)	0.82-1.45	1.06
Fibra cruda (%)	2.0-7.2	3.8
Carbohidratos		
Reductores (%)	2.1-6.1	4.0
No reductores (%)	1.0-4.5	2.8
Total (%)	4.2-11.1	6.8

Fuente Salunkhe 1995

El contenido de ácido ascórbico depende de una serie de factores como son: la variedad, estación, estado de maduración y prácticas de cultivo.

Se ha reportado alrededor de 37-1000 mg de ácido ascórbico por 100 gramos de guayaba en distintas variedades.

La concentración de ácido ascórbico depende en gran parte de la estación del año, ya que se ha reportado que en época de noviembre-diciembre, esta se encuentra alrededor de 325 mg/100g y en verano julio-agosto el contenido de ácido ascórbico se ve disminuido 140 mg/100g. Esta fruta tiene cantidades apreciables en fósforo, calcio, así como pequeñas cantidades de hierro, esto se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de Vitaminas y minerales

Vitamina/ Mineral	Intervalo	Promedio
Vitamina A (UI/100g)	-----	250
Ácido ascórbico	11-1160	337
Tiamina	0.03-0.07	0.05
Riboflavina	0.02-0.04	0.03
Niacina	0.20-2.32	1.18
Calcio	10.00-30.0	17.00
Fósforo	22.50-40.0	28.40
Hierro	0.60-1.39	1.82

La guayaba representa una excelente fuente en lo que se refiere al contenido en pectina. El total de pectina se encuentra en un intervalo de 0.5-1.8%. Este contenido se ve influido por ciertos factores como la maduración y la estación del año.

Las frutas por lo general contienen una gran variedad de ácidos orgánicos entre los predominantes se encuentran ácido málico, cítrico, glicólico, tártrico y láctico, estudios realizados muestran que hay diferencias significativas en el contenido de ácidos orgánicos reportados en la guayaba, predominando el cítrico y málico.

El sabor característico que distingue a la guayaba, se atribuye a la presencia de constituyentes volátiles. Entre los cuales se incluyen los hidrocarburos, alcoholes y carbonilos, se han identificado alrededor de 22 compuestos responsables del sabor, de los cuales podemos mencionar metil-benzoato y hexanol. (Salunkhe, 1995)

La guayaba contiene significativamente altas concentraciones de polifenoles, esta decrece durante la maduración del fruto, por lo cual disminuye la astringencia que se le ha asociado a la guayaba.

▶ Azúcares

La mayoría de los frutos acumulan almidón durante su desarrollo, que origina azúcares más sencillos antes o durante la maduración por acción de las enzimas α -amilasa y almidón fosforilasa, todas ellas identificadas en distintos frutos.

▶ Pigmentos

El cambio de color está asociado con la maduración en la mayoría de los frutos y representa un atributo clave en la calidad. Este cambio puede ser debido a la degradación de clorofilas, la cual enmascara otros pigmentos presentes en el fruto no maduro como β -carotenos. Sin embargo, en la mayoría de los frutos, la pérdida de clorofila está acompañada de la biosíntesis de otros pigmentos principalmente antocianinas y carotenoides.

▶ Cambios en la pared celular

Los carbohidratos que forman parte de la pared celular, se pueden dividir en tres tipos: sustancias pecticas, hemicelulosa y celulosas. La composición del material péctico es variable, dependiendo de su posición en la pared y del grado de metilación del esqueleto de ácido galacturónico.

En la mayoría de los frutos, el aumento de pectinas solubles se ha relacionado con la acción de las enzimas hidrolíticas que despolimerizan los componentes pectínicos de la pared celular. (Eskin, 1992)

1.1.8. Conservación de la guayaba

La guayaba es una fruta climatérica donde se ha comprobado que la temperatura es un factor importante en la conservación de ésta, ya que a temperaturas bajas ocurre un incremento en la vida útil de la fruta.

La guayaba permite un almacenamiento de hasta 4 semanas a unos 8 °C y con una humedad relativa del 85 al 90%. Un aumento en el pico de CO₂ y la producción de etileno ocurre aproximadamente entre 5-6 días después de la cosecha, por lo que en frutos climatéricos se caracterizan por presentar un aumento respiratorio acompañado de rápidos cambios en la composición que conducen a la maduración. Además, estos frutos son capaces de producir etileno en respuesta a bajas concentraciones de etileno.

Durante el almacenamiento de la guayaba pueden ocurrir cambios severos entre los cuales pueden presentarse variaciones en color, textura, sólidos solubles totales, acidez, humedad y ácido ascórbico. (Salunkhe, 1995)

Se ha detectado una disminución en el contenido de ácido ascórbico cuando las condiciones de almacenamiento son muy prolongadas por lo que se ha visto un aumento en los sólidos solubles y la acidez y a su vez disminuye la concentración de este ácido así como la humedad y firmeza del fruto cuando son almacenadas a temperatura ambiente (17-23°C). (Salunkhe, 1995)

1.1.9. Procesos de Conservación

En general la guayaba puede consumirse en su estado fresco, el someterla algún proceso es un modo de preservarla, en una gran variedad de productos para alargar su vida de anaquel.

La selección de la guayaba, para la elaboración de diversos productos, va a depender de una serie de factores, dependiendo el tipo de proceso al cual vaya a ser sometida entre los factores podemos mencionar: contenido de pulpa, semillas, azúcares, ácidos, pectinas y contenido en taninos.

El almacenamiento de frutos a bajas temperaturas es uno de los más utilizados ya que reduce la actividad respiratoria y el metabolismo en general, logrando prolongar la vida comercial de muchos productos.

1.1.10. Refrigeración

El almacenamiento en refrigeración se lleva a cabo a temperaturas no muy superiores a las de congelación y suele suponer el empleo de hielo o de medios mecánicos. Se puede emplear como principal medio de conservación de alimentos o como procedimiento para su conservación temporal hasta tanto no se aplique otro tratamiento para conseguir conservarlos. La mayoría de los alimentos más perecederos, entre los que se incluyen, productos lácteos, carnes, alimentos marinos, frutas y hortalizas, se pueden mantener almacenados bajo refrigeración durante un tiempo limitado sin que su naturaleza original experimente modificaciones importantes.

1.2. Irradiación

1.2.1. Generalidades

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la irradiación como un proceso en el cual los alimentos son expuestos a niveles predeterminados de energía de irradiación. (Lagunas-Solar 1995)

La radiación se refiere al fenómeno físico en donde la energía viaja a través del espacio o de la materia. La irradiación es un proceso en el que se aplica esta energía a un material como el alimento para conservarlo destruyendo microorganismos, parásitos, insectos u otras plagas. El tipo de radiación usada se llama radiación ionizante porque produce partículas eléctricamente cargadas o iones. (Macrae, 1993)

Las fuentes de radiaciones ionizantes autorizadas para alimentos pueden clasificarse en dos tipos: mecánicas –dependientes de energía eléctrica- y sustancias radioactivas –emisoras espontáneas de radiaciones.

Las fuentes mecánicas a su vez se clasifican en dos tipos según las radiaciones emitidas: Equipos generadores de rayos X, por tanto emisores de energía electromagnética, y equipos generadores de electrones acelerados, emisores de radiaciones corpusculares β . Las fuentes mecánicas ofrecen ventajas de seguridad pues cuando no está en funcionamiento la emisión de radiaciones cesa.

Las fuentes radioactivas que pueden emplearse para tratar alimentos son el Cobalto 60 (Co^{60}) y el Cesio 137. Las radiaciones emitidas por estos radioisótopos

tienen un poder de penetración adecuado para el tratamiento de la mayor parte de los alimentos. (Sendra *et al*, 1996)

El Co 60 se ha convertido en una de las mejores opciones como fuente de radiación. Para obtener Co 60, se bombardean lingotes de Co 59 (no radiactivo) con neutrones en reactores nucleares por 1-1.5 años. Para utilizarse como fuente de radiación, los lingotes son encapsulados en acero inoxidable de lápices de 450 nm de longitud y 12.5 mm de diámetro. El Co^{60}_{27} está presente en forma insoluble en agua, por lo que representa un mínimo de riesgo de contaminación ambiental. Tiene una vida media de 5.27 años y se desintegra a Ni^{60}_{28} con la emisión de radiación gamma (1.17 y 1.33 MeV) y radiación beta (0.31 MeV)

El Cs 137 emite rayos gamma de 0.66 MeV. La vida media del Cs 137 es aproximadamente de 30 años, hace necesaria una recarga anual de únicamente el 2.3 %. Debido a su triple encapsulado en acero que absorbe algo de radiación y el diámetro relativamente largo de las cápsulas que causa una absorción en ellas mismas solo escapa el 70 % de la radiación gamma emitida. En contraste, los lápices de Co 60 emiten una radiación gamma que es 95 % disponible. (Dhiel, 1998)

1.2.2. Irradiación de frutas y vegetales

El tratamiento de radiación para extender la vida útil de las frutas y vegetales frescos ha sido estudiado ampliamente por Lacroix, *et al*. (2000)

La aplicación de la irradiación de dosis menores a un 1 kGy o 100 krad (dosis absorbida) para frutas y verduras, se inhibe la germinación, retardo en la maduración de frutas y elimina la infestación por insectos.

La mayoría de las frutas toleran tratamientos de irradiación a una dosis mínima de 0.25 kGy, sin sufrir cambios en su calidad. Una dosis de 2.25 kGy normalmente es la dosis óptima para frutas y vegetales sin sufrir cambios en su calidad pero pueden ocurrir cambios de: pérdida de firmeza, cambios en el sabor, así como una ruptura fisiológica, acelerando el proceso de maduración. (Lacroix *et al*, 2000)

1.2.3. Efectos de la irradiación

La irradiación tiene dos efectos los cuales se pueden clasificar como directos e indirectos. El efecto directo se basa en el impacto de la radiación con el sustrato. Se ha propuesto que si una molécula cargada choca con material biológico, la función biológica se puede alterar o destruir. El efecto directo se debe a la formación de radicales libres (moléculas inestables que poseen un electrón desapareado) durante la radiólisis de las moléculas de agua. La radiólisis de moléculas de agua produce radicales hidroxilo, especies altamente reactivas que interactúan con las moléculas orgánicas presentes en los alimentos. Los productos de estas interacciones causan muchas de las características asociadas con el deterioro de los alimentos como olores y sabores objetables. (Desrosier, 1970)

1.2.4. Aplicaciones

La irradiación tiene varias aplicaciones en los alimentos, los cuales se clasifican de acuerdo a la cantidad de energía absorbida por unidad de masa. Estas se pueden clasificar como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Aplicaciones de la Irradiación

DOSIS BAJAS (1<KGY)	APLICACIÓN
Inhibición de la brotación de bulbos	patatas, cebollas, ajos, etc.
Desinsectación	Frutas frescas y deshidratadas
Eliminación de parásitos	Pescado y carne fresca
Retraso en procesos fisiológicos (maduración)	Frutas y verduras
DOSIS MEDIAS (1-10KGy)	
Eliminación de microorganismos	pescado fresco, fresas, etc.
Mejorar las propiedades tecnológicas del alimento	Verduras deshidratadas
DOSIS ALTAS (>10 KGy)	
Esterilización industrial	carne, aves y mariscos
Eliminación de virus	

Fuente: Bustos (1991)

Inhibición de la brotación: el uso de muy bajas dosis de irradiación inhibe la brotación de tubérculos y bulbos como papas, cebollas y ajos. Esta aplicación evita el uso de agentes químicos que son utilizados con este propósito. Las dosis a aplicar se encuentran en el intervalo de 0.08-0.14 kGy para papas y de 0.03-0.12 para cebollas y ajos.

Retardo de maduración y aumento de la vida útil: Bajas dosis de irradiación retardan la maduración de algunas frutas como: plátanos, mangos, papayas y guayabas aumentando por otra parte su vida útil. Este efecto fisiológico no debe

confundirse con el aumento de la vida útil que se obtiene por reducción de la población de microorganismos. Una extensión de vida útil razonable se puede obtener con dosis de 0.3-0.5 kGy.

Desparasitación: Dosis bajas también son aplicadas en carnes con el objeto de eliminar el riesgo de parásitos como es el caso de la *Thirechella spiralis*. Debido a que el proceso no produce calor, este no afecta el sabor o la textura de la carne.

El efecto de la irradiación se traduce en la esterilización sexual de estos parásitos, de este modo se le impide completar su ciclo de vida.

Desinsectación: Dosis bajas de irradiación pueden causar la muerte o esterilización de insectos.

La desinsectación por medio de la radiación es uno de los mejores sustitutos de los agentes químicos que el hombre posee en la actualidad. Como se requieren dosis de alrededor de 0.3 kGray, los cambios en frutas y hortalizas frescas son insignificantes. Si se controlan adecuadamente las condiciones ambientales y se realiza una buena selección de estado fisiológico del producto, estos cambios pueden reducirse a niveles no detectables. (Morton, 1997)

1.2.5. Efectos químicos de la irradiación

Los cambios inducidos en el alimento vía iones y radicales libres afectan la habilidad de las células para producirse. De esta manera se pueden controlar los procesos celulares que conllevan la germinación y la maduración, así como el crecimiento de microbios, parásitos y plagas.

La irradiación causa cambios químicos en los alimentos en cantidades directamente relacionadas con la dosis de irradiación aplicada.

Tipos de reacción inducida por la irradiación

- Oxidación de metales y iones.
- Oxidación y reducción de carbonilos de derivados de hidroxilo.
- Eliminación de la insaturación en dobles enlaces.
- Disminución de la aromaticidad en compuestos aromáticos y heterocíclicos.
- Hidroxilación de compuestos aromáticos y heterocíclicos.

Cuando el oxígeno se encuentra presente, los radicales libres son oxidados dando lugar a la formación de peróxidos e hidroperóxidos.

Las radiaciones ionizantes pasan a través de los alimentos provocando choques con las partículas del alimento a nivel molecular y atómico. Cuando los choques proporcionan energía suficiente para romper los enlaces químicos entre los átomos ocurren cambios moleculares como la formación de radicales libres.

Los radicales libres son fragmentos de moléculas, grupos de átomos o átomos individuales que poseen un electrón no apareado. Los radicales libres tienen una gran tendencia a reaccionar entre ellos y con otras moléculas para encontrar parejas para sus electrones que no las tienen y así encontrar su estabilidad.

1.2.6. Efecto de radiación ionizante en el agua

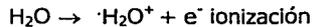
El agua está presente en casi todos los alimentos y en frutas representa una proporción del 80%. La radiólisis del agua es por lo tanto de particular interés en la irradiación de alimentos. Los productos radiolíticos del agua son:

-
- $\cdot\text{OH}$ radical hidroxilo
 - e^-_{aq} electrón acuoso (solvatado o hidratado)
 - $\cdot\text{H}$ átomo de hidrógeno
 - H_2 hidrógeno
 - H_2O_2 peróxido de hidrógeno
 - H_3O^+ protón solvatado (o hidratado)

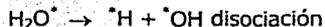
Acuoso, solvatado o hidratado significa que el electrón e^- y el ión hidrógeno H^+ no puede existir libremente en un medio acuoso. Están íntimamente asociados a las moléculas de agua.

1.2.7. Intermediarios Reactivos en la Radiólisis de Agua

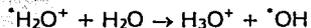
Cuando una molécula de agua es irradiada las principales reacciones que se llevan a cabo son:



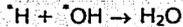
Las rutas de decaimiento para moléculas de agua excitadas son:



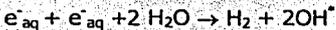
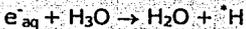
El radical catión del agua puede sufrir una desprotonación o reacción de transferencia de protones con una molécula de agua:



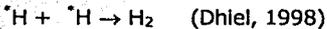
Dando como productos un protón solvatado y un radical hidroxilo. Algunos de los productos de reacción se pierden por recombinación:



y más productos son formados por reacciones de combinación:



Los iones hidroxilo son neutralizados por la reacción con H_3O^+ . También pueden llevarse a cabo reacciones de dimerización como:

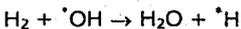
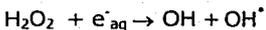


Estos productos radiolíticos pueden reaccionar con los componentes de los alimentos como son vitaminas, carbohidratos, proteínas, lípidos y diversos pigmentos, la interacción entre ellos puede dar la formación de compuestos intermediarios, los cuales pueden llegar a presentar una elevada reactividad.

1.2.8. Productos Finales de la Radiólisis del Agua

Debido a que el $^{\bullet}\text{OH}$, e_{aq}^- y $^{\bullet}\text{H}$ son especies muy activas, el hidrógeno y el peróxido de hidrógeno son los únicos productos finales estables de la radiólisis del agua.

Debido a reacciones



El hidrógeno y el peróxido se consumen de gran medida. Por lo que se producen con un bajo rendimiento, aún cuando las dosis de irradiación son altas. Por esta razón es que el agua puede ser utilizada como escudo a la radiación en las albercas de agua de fuentes de rayos gamma.

El radical hidroxilo es potente agente oxidante, mientras que el electrón acuoso es un agente reductor fuerte. El átomo de hidrógeno es menos efectivo como agente reductor.

1.2.9. Irradiación de alimentos

El proceso de irradiación es útil y deseable como una alternativa en la conservación de alimentos frescos, perecederos y altos en proteína, con un mínimo de aditivos o con la utilización de controles biológicos. También se puede minimizar o eliminar el uso de temperatura o controles atmosféricos (refrigeración, congelación, atmósferas modificadas) o utilizarse en combinación con algún empaque para retardar el deterioro del alimento. (Lagunas-Solar, 1995)

La irradiación gamma se ha demostrado que es un tratamiento efectivo como técnica para eliminar la desinfección por insectos y de tal manera alargar la vida útil de algunas frutas como son mangos, papaya y bananas. (Min Zhao *et al*, 1996)

Diversos factores contribuyen a la pérdida postcosecha de los alimentos. Entre ellos se incluyen los métodos poco eficaces de recolección y desecado, deficientes técnicas de procesado, métodos inadecuados de almacenamiento. La irradiación es un método eficiente que puede ayudar a reducir estas pérdidas, pero debe

asegurarse que otros factores estén controlados durante el proceso. (Morton, 1997)

La exposición a una baja dosis de radiación puede retrasar la maduración de algunas frutas y hortalizas, prolongando de este modo su vida útil. Este efecto de radiación ionizante depende del nivel de tratamiento y grado de madurez del producto.

Uno de los principales usos de la irradiación de alimentos es la destrucción de microorganismos que son los causantes de alteración o el deterioro del producto. La vida útil de frutas, vegetales, carne, aves, pescados y mariscos, puede prolongarse considerablemente combinando la refrigeración y dosis bajas de irradiación que no alteran el sabor ni la textura. (Morton, 1997)

1.2.10. Efectos de la irradiación en los componentes de los alimentos

Carbohidratos

Los carbohidratos constituyen por lo general el 75 % del residuo seco de las plantas. El contenido total de los carbohidratos de los vegetales puede ser de solo el 2 % del peso fresco, de más del 30 % en los feculentos y superar el 60 % en cereales y legumbres. Los carbohidratos totales están constituidos esencialmente por monosacáridos y polisacáridos. Se encuentran en las plantas formando parte de la pared celular e intracelularmente, de los plástidos, las vacuolas y el citoplasma.

Los componentes principales de la pared celular son la celulosa, la hemicelulosa, y las pectinas. La celulosa es una de las sustancias más abundantes de la biosfera. Es muy insoluble y el hombre no la digiere. Las hemicelulosas son un grupo

heterogéneo de polisacáridos constituido por diversos tipos de hexosas y pentosas y a veces contienen residuos de ácidos urónicos.

Se considera que las pectinas están constituidas por radicales de ácido galacturónico unidos mediante enlaces α 1,4 y con diverso grado de esterificación con el metanol. (Fennema, 1993)

Polisacáridos. El principal carbohidrato de los tejidos vegetales no asociado a la pared celular es el almidón, que es un polímero lineal (α -1,4) o ramificado (α 1,4:1,6) de la D-glucosa. El almidón se localiza en los plástidos intracelulares, cuya forma, tamaño y propiedades ópticas dependen de la especie vegetal de la que procede.

Otros polisacáridos que se hallan presentes en el interior de la célula vegetativa de plantas comestibles son: la α -D1,4-glucopiranososa del maíz dulce, los β -glucanos del mango.

Monosacáridos. El contenido de azúcares de frutas y verduras varía, siendo en algunos casos despreciables como por ejemplo en el aguacate, mientras que en otros puede alcanzar una concentración del 20 % sobre su peso en fresco. Los principales azúcares son en la mayor parte de las plantas, la sacarosa, la glucosa y la fructosa. Por lo general las frutas y las verduras contienen además de sacarosa, otros monosacáridos, pero en muchos casos ocurre lo contrario. En ocasiones hay también otros carbohidratos como xilosa, manosa, arabinosa, galactosa, maltosa, sorbosa, octulosa y celobiosa, que en muchos casos constituyen la fracción mayoritaria del contenido total de carbohidratos.

Efecto de la Irradiación

En presencia de agua los carbohidratos son principalmente atacados por radicales $\cdot\text{OH}$, los electrones solvatados y los átomos H juegan un rol menor. Los radicales $\cdot\text{OH}$ extraen predominantemente el H de los enlaces C-H, formando agua.



Los radicales resultantes reaccionan después por varios mecanismos como son:

- Dismutación
- Dimerización
- Deshidratación

Dependiendo de la posición molecular de C = O formado por dismutación o deshidratación, el producto resultante puede ser una cetona o un aldehído. De este modo la extracción del hidrógeno en el C - 1 de la glucosa puede conducir a ácido glucónico.

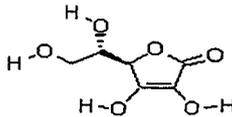
La formación de compuestos desoxi es suprimida cuando la glucosa es irradiada en presencia de oxígeno mientras la producción de azúcares ácidos y cetoazúcares incrementa. La formación de ácidos conduce a una disminución en el pH de la solución de azúcar irradiada. En solución de glucosa una dosis de 25 kGy resulta en una disminución del pH en tres unidades.

La ruptura radiolítica de polisacáridos debería utilizarse para mejorar la digestibilidad. Sin embargo, la dosis requerida para alcanzar un efecto que valga la pena es muy alta, éstas son superiores a 100 kGy. (Dhiel, 1998)

Cuando los carbohidratos son irradiados como componentes de un alimento, son mucho menos sensibles a la radiación que en su forma pura. Por ejemplo, los productos de radiólisis del almidón puro y de la harina de trigo, el almidón se ve protegido por la presencia de proteínas, esto se comparo con la formación del producto de almidón irradiado con una dosis de 5 kGy. Resultó ser mucho más sensitivo que la harina irradiada a 50 kGy. (Dhiel, 1998)

Vitaminas (Ácido ascórbico)

Estructura: El ácido L-ascórbico es una sustancia muy soluble que posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras. Tales propiedades se deben a su estructura enediol que está conjugada con el grupo carbonilo de una lactona. La forma natural de la vitamina es el isómero L-; el isómero D- tiene alrededor del 10 % de la actividad del L- y se añade a los alimentos con fines no vitamínicos. (Fennema, 1993)



Estabilidad: El ácido ascórbico es muy sensible a diversas formas de degradación. Entre los numerosos factores que pueden influir en los mecanismos degradativos cabe citar la temperatura, concentración de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas, catalizadores metálicos, concentración inicial del ácido y la relación ácido ascórbico-ácido dehidroascórbico. El ácido ascórbico es muy inestable ya que se puede ver afectado por el procesado, manejo y almacenamiento de los alimentos. La ácidoascórbicooxidasa, la citocromo oxidasa

importante se produce por degradación química. En aquellos alimentos que son particularmente ricos en ácido ascórbico, como las frutas, las pérdidas están relacionadas habitualmente con el pardeamiento no enzimático.

La degradación del ácido ascórbico en los zumos de los cítricos deshidratados parece ser función sólo de la temperatura y del contenido de humedad. Aunque parece ser que el ácido ascórbico se degrada incluso a valores de actividad de agua muy bajos, la velocidad llega a ser tan lenta que pueden utilizarse periodos de almacenamiento largos sin que se pierda una cantidad excesiva de ascorbato.

Efecto de la irradiación

La pérdida de vitaminas causada por la irradiación parece ser contradictoria ya que algunos investigadores informan que la sobrestimación de la pérdida de vitaminas son basados en resultados obtenidos con soluciones puras. (Dhiel, 1998) La pérdida de vitaminas se ha estudiado que ocurre después de la irradiación, aunque algunas vitaminas en algunos alimentos pudieran continuar su degradación durante el almacenamiento.

Los cambios en la composición durante el almacenamiento requieren atención especial en el caso de frutas y verduras ya que experimentan cambios constantes, éstos pueden ser acelerados por factores como, daños mecánicos, temperaturas bajas de almacenamiento o atmósferas modificadas. Dependiendo de la dosis aplicada en los productos, pueden verse acelerados los cambios metabólicos por la irradiación.

En general la pérdida de vitaminas aumenta cuando la dosis de radiación es mayor, para dosis relativamente altas se requiere a menudo de algún proceso para que de esta manera disminuyan los efectos sensoriales indeseables. (Dhiel, 1998)

Debido a que la mayoría de los alimentos contienen una proporción grande de agua, la reacción más probable será la radiólisis del agua, la mayoría de las vitaminas pueden reaccionar con otros componentes del alimento, los cuales se verán afectados indirectamente por la radiación, la naturaleza de estas reacciones.

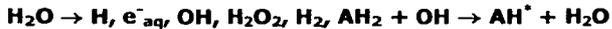
Investigaciones realizadas por Dhiel en 1998 reportaron una pérdida de ácido ascórbico en un tiempo de 2 horas después de la irradiación, aproximadamente del 16% como respuesta a la irradiación para una dosis de 4 kGy aplicada en limones.

La suma de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico, reportan una ganancia de 3.5% 24 horas después de la irradiación. Sin embargo, a dosis altas (4 kGy) no se recomienda para aplicaciones comerciales en frutas ya que a estas dosis la fruta sufre cambios en sus características sensoriales.

En solución, la vitamina se oxida fácilmente a un tipo de quinona de tipo triceto (ácido dehidroascórbico), así como hay un incremento en la oxidación y un decremento en el pH. (Thorne, 1991)

Bajo condiciones alcalinas el ácido dehidroascórbico puede ser convertido al ácido 2,3-diceto-L-gulónico abriendo el anillo de lactona, que no es biológicamente activo.

Los radicales del ácido ascórbico pueden existir en forma protonada, neutra y en forma de anión, los cuales pudieron ser generados por la oxidación del ácido ascórbico por radicales hidroxilo.



A partir del agua se forman una serie de productos radiolíticos como se muestra en la reacción anterior, los cuales reaccionan con el ácido ascórbico tal y como ocurre en la siguientes reacciones.

a) Reducción de ácido ascórbico por electrones acuosos



Donde:

A = ácido ascórbico, AH = ácido dehidroascórbico, e^-_{aq} = electrón acuoso

b) Por átomos de hidrógeno



H = átomos de hidrógeno, A = ácido ascórbico, AH = ácido dehidroascórbico

La presencia de átomos de hidrogeno puede provocar la reducción del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, por un mecanismo similar al que se lleva acabo por electrones acuosos, estos átomos de hidrógeno se generan durante la radiolisis del agua.

El tratamiento de irradiación tuvo como resultados una disminución inmediata en el contenido de ácido ascórbico y un incremento en el contenido de glutatión pero no se ha demostrado efectos específicos.

En jugo de naranja el contenido de ácido ascórbico disminuye inmediatamente después de la irradiación con una recuperación a las 24 horas. (Thorne, 1991)

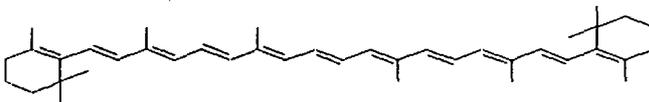
β -Caroteno

Los carotenoides son un grupo de compuestos principalmente liposolubles, responsables de los colores amarillo y rojo de los productos vegetales y animales. Se hallan distribuidos y existen en la naturaleza en grandes cantidades. (Fennema, 1993)

Cuantitativamente el caroteno más importante encontrado en las plantas superiores es el β -caroteno.

Estructura: Los carotenoides constituyen una clase de hidrocarburos denominados carotenos y sus derivados oxigenados, las xantofilas. Están formados por ocho unidades de isoprenoide ligadas de modo tal que la disposición de las unidades isoprenoides se invierte en el centro de la molécula. (Fennema, 1993)

Los carotenoides pueden presentarse en forma libre en los tejidos vegetales (como cristales o sólidos amorfos) o en disolución en los lípidos. También se presentan como ésteres o en combinación con azúcares y proteínas.



Reacciones químicas: Los carotenoides han recibido gran atención, porque el β -caroteno es precursor de la vitamina A, un nutriente bien conocido de la dieta humana. Por escisión en el centro de la molécula el β -caroteno da 2 moléculas de vitamina A. Compuestos como el α -caroteno, con la mitad de su estructura idéntica al β -caroteno, funciona como precursor de una molécula de vitamina A.

Reacciones de oxidación: la principal causa de la degradación de los carotenoides de los alimentos es la oxidación. La intensidad de la oxidación depende si el pigmento se encuentra *in vivo* o *in vitro* y de las condiciones ambientales.

En los alimentos procesados el mecanismo de oxidación es complejo y depende de muchos factores. Los pigmentos se pueden autooxidar por reacción con el oxígeno atmosférico a velocidades que dependen de la luz, el calor y la presencia de antioxidantes. Las reacciones se cree que son debidas a la formación de radicales libres en tres etapas distintas. Los carotenoides sufren la oxidación acoplada en presencia de lípidos a velocidades que dependen del sistema.

Degradación de los carotenoides: Debido a su naturaleza altamente insaturada, los carotenoides tienen tendencia a oxidarse rápidamente, particularmente en las dobles ligaduras. La oxidación y subsiguiente desintegración de los carotenoides se inicia en un extremo de la molécula y que no ocurre al azar; el proceso siempre ocurre en el extremo abierto antes que en el anillo terminal de ionona.

A medida que se saturan las dobles ligaduras y finalmente se rompen, el color característico de los carotenoides va desapareciendo.

La oxidación de los carotenoides y la autooxidación de las grasas tienen muchos aspectos en común, y a menudo se encuentran interrelacionados en los alimentos. Los radicales libres que se forman en el curso de la oxidación de las grasas pueden participar en el ataque oxidativo de los carotenoides.

Efecto de la Irradiación

Se ha establecido como una de las vitaminas más sensibles a la radiación ionizante, presentando un orden decreciente como sigue:

Vitamina E > Caroteno > Vitamina A > Vitamina D > Vitamina K

La irradiación a dosis de 2 kGy no tuvo efecto en el contenido de carotenos de mangos y papayas almacenados en congelación por un periodo de 1-3 meses causando una pérdida del 90% en los carotenoides de papaya. (Dhiel, 1998)

No hay efectos significativos sobre el contenido de carotenoides en pulpa de mango y jugo de naranja irradiado a una dosis de 10 kGy inmediatamente después de la irradiación, ni después de 90 días de almacenamiento en temperatura ambiente. (Dhiel, 1998)

La irradiación causa pérdidas hasta de un 40% de β -caroteno puro a una dosis de 24 kGy. (Thorne, 1991)

Estudios realizados para determinar el efecto de la irradiación en un intervalo de 0,7-20 kGy sobre el contenido de β -caroteno cristalino almacenado a temperatura

ambiente bajo una atmósfera de nitrógeno, indicaron que no ocurrió la destrucción del β -caroteno ni la formación de productos radiolíticos. (Thorne, 1991)

En 1979 Franceschini y colaboradores estudiaron el efecto de la radiación gamma sobre la retención de carotenoides y el color de las zanahorias, papas dulces, ejotes y brócoli. Estos vegetales fueron irradiados bajo las siguientes condiciones:

- a) Dosis 18 kGy
- b) Temperatura: Ambiente y congelación
- c) Atmósfera: vacío, aire y nitrógeno
- d) Empaque: seco y solución de salmuera
- e) Recipientes: lata plana, ensamblada
- f) Temperatura de almacenamiento: 0°F, 70°F y 100°F
- g) Duración de almacenaje: 0.5, 1, 3, 6 y 12 meses

Los resultados generales de este estudio indicaron que grandes pérdidas en β -caroteno y carotenoides ocurrieron cuando las muestras fueron irradiadas en latas que contenían aire en la superficie. Los efectos de estas condiciones de proceso sobre el contenido de carotenoides de zanahorias, papas dulces y brócoli no fueron significativos. Los ejotes almacenados a 100°F mostraron una alta retención de caroteno cuando se irradiaron a temperatura ambiente y a su vez baja retención cuando se irradiaron congelados. Los pigmentos decrecieron durante el almacenamiento por un año, inicialmente seguidos por un incremento y después un decremento gradual.

Ácidos orgánicos

Los productos vegetales presentan pequeñas cantidades de ácidos orgánicos, metabolitos intermediarios de diversos procesos (ciclo del ácido tricarbóxico) que pueden acumularse en vacuolas que confieren al tejido un sabor ácido o amargo.

El contenido varía según la especie y va desde niveles muy bajos (maíz dulce) a concentraciones muy altas como en fresa, espinaca y grosella. (Eskin, 1990)

Efecto de la irradiación en ácidos orgánicos

Aunque generalmente no son reconocidos como nutrientes esenciales los ácidos orgánicos como el cítrico y málico, son de los más abundantes en frutas y semillas. Son ciertamente útiles ya que son capaces de entrar al ciclo de Krebs como fuente de energía.

No hay reportada suficiente información sobre los efectos de la irradiación en la concentración de ácidos orgánicos en frutas, pero estudios realizados en limones se reportó una pérdida la cual se encuentra relacionada con la dosis, este decremento ocurrió después de 40 días de almacenamiento a 15°C. (Murray, 1990)

1.2.11. Efecto de la Irradiación sobre Insectos

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA-1-1993 sobre la irradiación de alimentos, la dosis mínima para tratamiento cuarentenario en frutos frescos es de 0.15 kGy y la dosis máxima de 1 kGy.

La dosis requerida para tener la seguridad cuarentenaria contra las etapas por las cuales pasa un artrópodo es de 0.3 kGy. La dosis necesaria para matar cualquier

insecto depende de varios factores como son la edad del insecto al momento del tratamiento y las etapas metamórficas del huevo, larva o adulto. En general, la sensibilidad a la radiación es mayor en la etapa de huevo y menor en la etapa adulta. Se requieren dosis de 1-3 kGy para lograr la muerte en todas las etapas. Dosis menores de radiación son mucho más económicas y menos dañinas a la calidad de los alimentos irradiados las cuales son suficientes para esterilizar las poblaciones adultas y prevenir la emergencia de huevos y larvas adultas. (Dhiel, 1998)

El tratamiento de cuarentena para algunas frutas sensibles a la infestación por insectos como la mosca de la fruta entre otros requieren dosis hasta de 250 Gy. La extensión de la vida útil tiene como propósito retardar la maduración así como la inactivación de flora de putrefacción tiene éxito para algunas frutas tratadas con dosis hasta de 2 kGy. La mayoría de las frutas desarrollan daños por la radiación como son: ablandamiento, daños en la piel, formación de cavidades interiores así como cambios indeseables en niveles de dosis entre 0.5 y 2 kGy. (Dhiel, 1998)

II. METODOLOGÍA

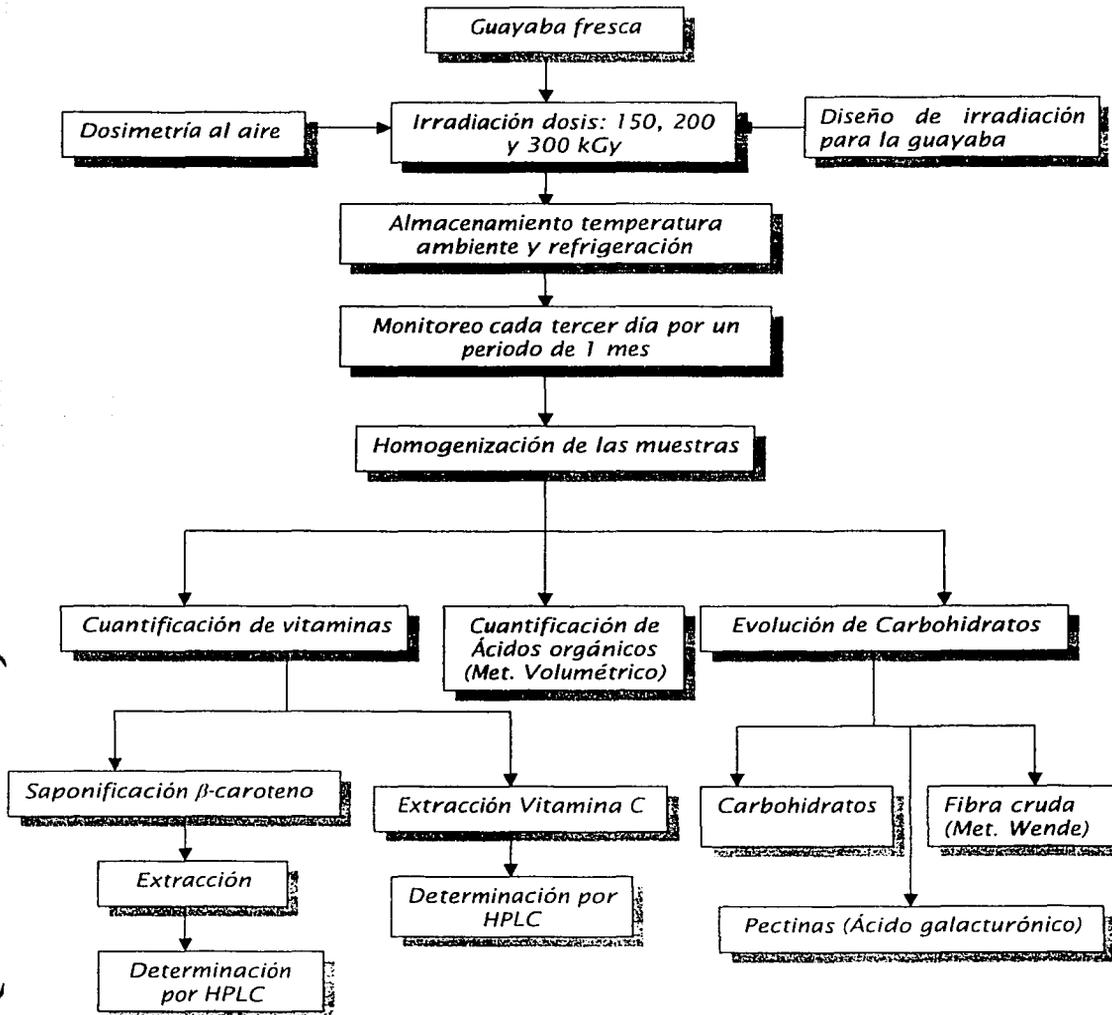
Las guayabas se separaron en 4 lotes y a 3 de ellos se les aplicó irradiación a las siguientes dosis: 150, 200 y 300 Gy. Un lote no se irradió, tomándose éste como muestra control.

Posteriormente se almacenaron a temperatura ambiente (23°C) y refrigeración (5°C).

El monitoreo se realizó cada dos días para las vitaminas y cada tres días para los carbohidratos. Se tomaban tres guayabas de cada lote previamente pesadas, las cuales se homogenizaban con agua. Y a partir del homogeneizado se realizaban las determinaciones.

En la figura 1 se muestra el esquema general de experimentación.

Figura 1. Esquema general de experimentación.



2.1. Primera etapa: Irradiación

2.1.1 Condiciones de irradiación

Se seleccionó irradiar a dosis de 100, 150 y 300 Gy. Estas dosis se eligieron pensando en poder aplicar este tratamiento para la eliminación de insectos, es decir, como tratamiento cuarentenario ya que como se mencionó al principio del documento la guayaba es infestada en el campo por moscas de la fruta del género *Anastrepha striata*. Y de acuerdo a estudios anteriores se requiere un mínimo de 100 Gray para evitar la emergencia de adultos. El USDA, ha autorizado 150 Gy y como dosis de tolerancia se dice 300 Gy. La NOM-033-SSAI-1993 establece que la dosis mínima para controlar la infestación por insectos que es de 150 Gy y como dosis máxima 1 kGy, pero esta dosis es muy alta y la guayaba ya no puede tolerarla.

La irradiación se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Utilizando el loop de investigación del irradiador comercial de rayos gamma de Co 60 modelo JS6500. Este loop consiste en un contenedor de aluminio de dimensiones de 60cm de alto, 40 de ancho y 15 cm de espesor, el cual va sostenido por un riel en la parte superior y a través de un sistema automático se introduce al interior de la cámara de irradiación, donde permanece expuesto el material a irradiar el tiempo determinado previamente de acuerdo al objetivo técnico deseado.

Cuando se va a irradiar por primera vez un tipo de producto en un diseño específico de empaque es necesario conocer la distribución de dosis en el volumen

de irradiación. Por lo que es necesario primero determinar las dosis en el contenedor de aluminio es decir sin producto esta determinación se domina Dosimetría en aire.

2.1.2 Dosimetría al aire

Esta medición consiste en colocar dosímetros en el contenedor (dentro y fuera), para determinar que área de irradiación es más homogénea, y poder conocer los puntos de Dosis máxima y Dosis mínima y con ello poder calcular la Dosis media total absorbida. En la figura 2 se localizan las posiciones en donde se colocaron los dosímetros. Se utilizó el dosímetro de Fricke, el cual es una solución de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado 0.001 M en ácido sulfúrico 0.8 N que tiene una respuesta lineal de 30 a 400 Gy. La irradiación induce la oxidación de los iones (Fe^{2+}) a iones férrico (Fe^{3+}) cuyo pico de absorción es de 305 nm, el contenedor se irradió por 15 minutos y posteriormente se determinó la dosis en cada punto donde se habían colocado dosímetros. (Dhiel, 1998)

La siguiente ecuación determina la dosis absorbida en cada dosímetro

$$D = (275 * \Delta A(Gy)) / (1 + 0.007(T - 25))$$

Donde:

D = dosis absorbida

ΔA = diferencia de absorbancias (muestra - blanco)

T = temperatura de la solución

Para conocer la dosis media total absorbida, se calcula con la siguiente expresión,

$$\text{Dosis media total absorbida} = (D_{\text{min}} + D_{\text{máx}}) / 2,$$

D_{\min} = promedio de los puntos de la dosis mínima

D_{\max} = promedio de los puntos de dosis máxima

Para calcular la razón de dosis cuantos Gray son absorbidos por minuto, se utilizó la siguiente expresión: D/t , donde D es dosis absorbida y t es tiempo..

Para conocer la uniformidad de la dosis se utilizó la ecuación $U = D_{\max} / D_{\min}$,

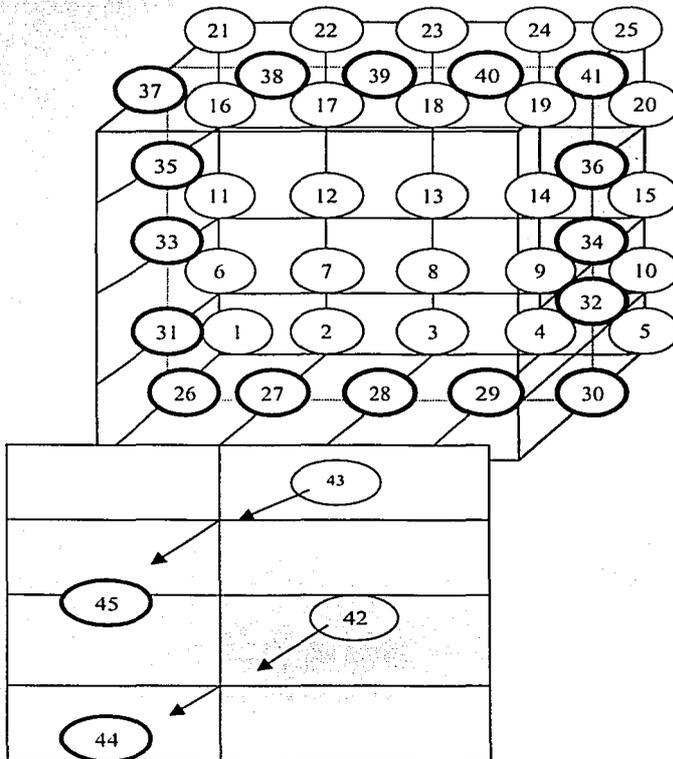


Figura. 2 Ubicación de los dosímetros en el contenedor para la dosimetría al aire.

2.1.3 Diseño de irradiación para la guayaba

Las guayabas que se emplearon para la investigación se encontraban en estado inmaduro, ya que se tiene una mejor respuesta a la irradiación cuando ésta se aplica en la etapa preclimática.

Las guayabas fueron adquiridas en la Central de Abastos, se seleccionaron de manera que todas presentaran el mismo grado de madurez y que no mostraran golpes u otros defectos.

Para determinar que área del contenedor es más adecuada para la irradiación uniforme del producto, se colocó una caja de cartón que contenía las guayabas ordenadas de tal forma que no se encimaran. Los dosímetros se ubicaron en el área que era más uniforme, como se puede observar en la figura 3, el producto se irradió durante 15 minutos se utilizaron las ecuaciones mencionadas anteriormente para determinar la dosis media total absorbida en guayaba, los puntos de $D_{mín}$ y $D_{máx}$, la razón de dosis y la uniformidad de la radiación.

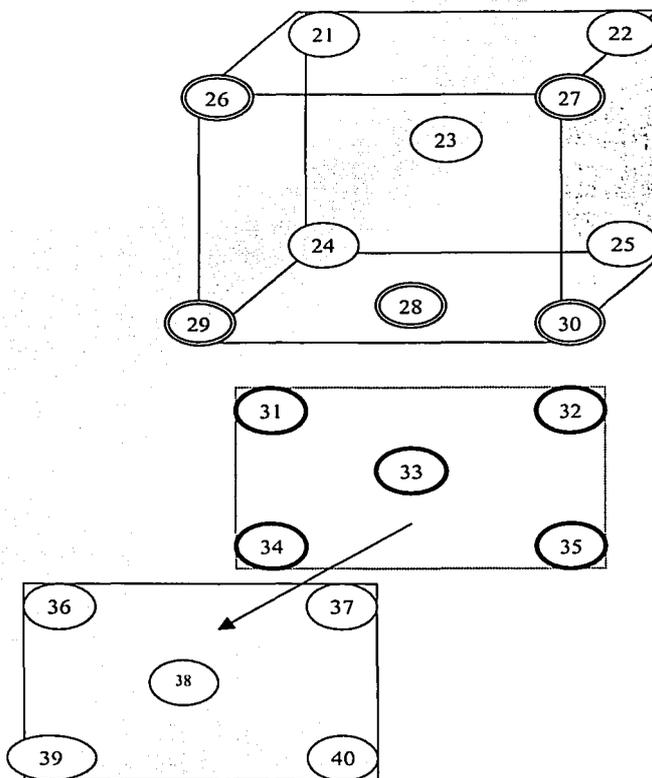


Figura. 3 Ubicación de dosímetros en la caja para el diseño de irradiación de guayaba

Los números representan la posición en la cual se encontraban los dosímetros tanto en el interior de la caja como en la parte posterior y delantera de la misma.

- | | | | |
|---|------------------------|---|----------------------------|
|  | debajo de la fruta |  | parte delantera de la caja |
|  | por encima de la fruta |  | parte trasera de la caja |

2.2. Segunda etapa: Pruebas de Estabilidad química

Una vez irradiadas las muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde se tomó una muestra de 3 guayabas alrededor de 20 gramos cada una y se evaluaron los contenidos iniciales de vitaminas, carbohidratos y acidez. El resto de las guayabas irradiadas se almacenaron a Temperatura ambiente (24°C) y refrigeración (5°C).

Posteriormente se monitoreó el deterioro químico de ácido ascórbico, β -caroteno y carbohidratos solubles cada tercer día durante 4 semanas. Para realizar el estudio se tomaron 3 guayabas previamente pesadas y se homogeneizaron con 150 ml de agua destilada en una licuadora.

2.2.1. Análisis de ácido ascórbico

Extracción Vitamina C

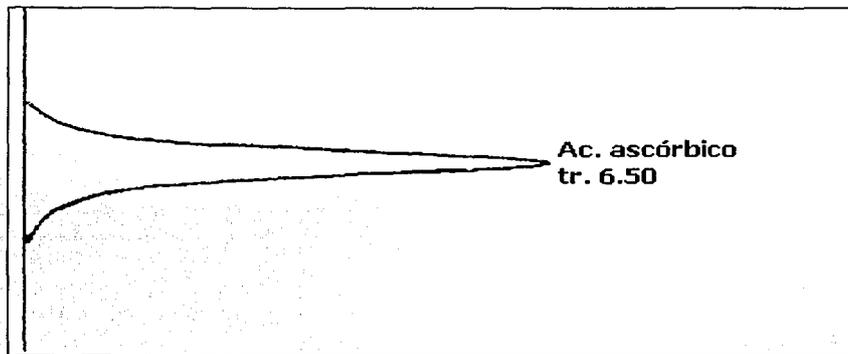
El principio básico de extracción es prevenir la degradación de la vitamina C. La extracción se realizó con ácido acético al 2%, el cual tiene función de estabilizar la vitamina. (AOAC, 1995)

Se pesaron 10 gramos de cada homogeneizado por triplicado, en un matraz aforado de 25 ml, la muestra se llevó al aforó con ácido acético al 2%. Posteriormente se centrifugó por 5 minutos a 2500 rpm en una microcentrífuga IEC. El sobrenadante se filtró en membranas (acrodiscos 0.45 μm) para posteriormente inyectar 20 μL en el cromatógrafo de líquidos de alta resolución, bajo las siguientes condiciones.

Cuantificación de Vitamina C

Condiciones cromatográficas	Condiciones del Análisis
Cromatógrafo Beckman System Gold	Fase MeOH : H ₂ O (5:95)
Detector: UV, $\lambda = 261 \text{ nm}$	Cetrimida 50 mM y Fosfato de potasio 5 mM
Columna Waters Symmetry Shield C18 5 μm 3.9*150 mm	Flujo: 0.8 ml/min Loop: 20 μL

Los resultados se expresan como mg de ácido ascórbico/100 g de guayaba. Los cuales fueron cuantificados a través de una curva patrón en un intervalo de 0.2 – 1.0 mg/ml.

Cromatograma típico de Ácido ascórbico

2.2.2. β -Caroteno (Provitamina A)

2.2.2.1. Extracción

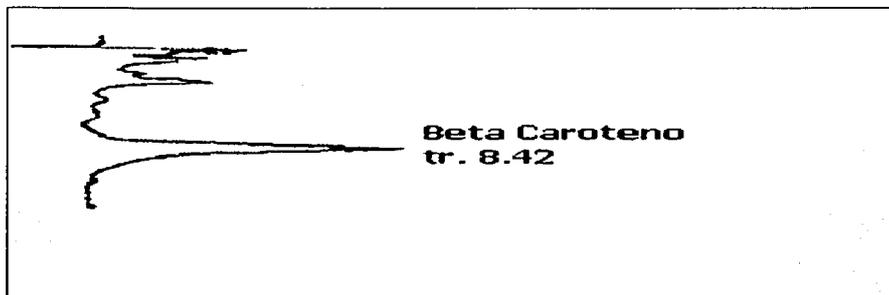
La saponificación es la hidrólisis de los enlaces ester de los triglicéridos y la clorofila. A 10 gramos del homogeneizado, se adicionó 50 ml de una solución metanólica de hidróxido de potasio al 10%, ésta se dejó toda la noche en la oscuridad a temperatura ambiente. (Philip *et al*, 1988)

Una vez saponificada la muestra se realizó una extracción con Hexano:Acetona en una proporción (50:50) debido a que los carotenos son muy solubles en esta mezcla de disolventes. Se realizaron de 2 a 3 extracciones de 50ml cada una con los disolventes, los extractos obtenidos se lavaron con agua para eliminar el hidróxido de potasio, se evaporó el disolvente y el residuo se resuspendió con acetato de etilo (grado HPLC). Que posteriormente se inyectó en el cromatógrafo de líquidos de alta resolución bajo las siguientes condiciones

Condiciones cromatográficas	Condiciones de Análisis
Cromatógrafo Beckman Modelo 110 A	Fase: MeOH : Hexano (95:5)
Columna: Nucleosil 5 μ m, 100 $^{\circ}$ A, C18 150*4 mm	Flujo: 1 ml/min
Detector UV/VIS $\lambda = 445$ nm	Loop: 20 μ l

Los resultados se expresan como mg de β -caroteno/100 g de guayaba, los cuales se cuantificaron a través de una curva patrón de intervalo de concentración de 15 – 50 μ g/ml.

Cromatograma típico de β -Caroteno



2.2.3. Carbohidratos Solubles

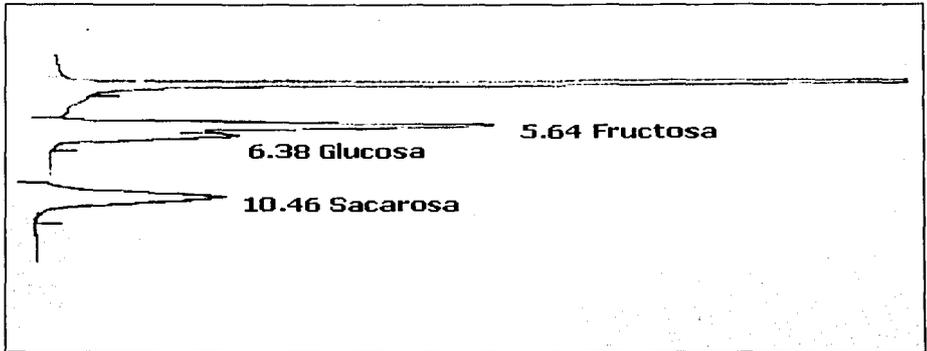
Los carbohidratos mayoritarios presentes en la guayaba son fructosa, glucosa y sacarosa, los cuales se analizaron por Cromatografía de líquidos de alta resolución.

El homogenizado se centrifugó por 10 minutos a 5000 rpm del sobrenadante se realizó una dilución de 0.2ml que se afora a 1 ml, la cual se filtró en membranas (acrodiscos 0.45 μm) y se inyectó en el cromatógrafo de líquidos de alta resolución, bajo las siguientes condiciones.

Condiciones cromatográficas	Condiciones de análisis
Cromatógrafo Beckman Modelo 110A	Fase: Acetonitrilo: Agua 87:13
Columna: High Performance Carbohydrate 60 A ^o 4.6*250mm 4 μm , Waters.	Flujo: 1.4 ml/min Loop: 20 μl
Detector : Índice de Refracción Perkin Elmer LC-30	

Los resultados se expresan como gramos de carbohidrato/100g de guayaba, los cuales se cuantificaron empleando el método de Factor de Respuesta.

Cromatograma típico de Carbohidratos (fructosa, glucosa y sacarosa)

**2.2.4. Fibra Cruda**

La fibra cruda constituye un índice de las sustancias presentes en los alimentos de origen vegetal. Está constituida fundamentalmente por celulosa, lignina y pentosanas.

Se transfirieron 2g de homogeneizado a un vaso digestor de 600 ml con un 1g de asbesto, añadir 200 ml de ácido sulfúrico 1.25% por 30 minutos a ebullición, filtrar el contenido del vaso y lavar con agua hirviendo de 50-70ml, regresar el filtrado al vaso y adicionar 200ml hidróxido de sodio 1.25% hirviendo y calentar a ebullición por 30 minutos, filtrar y lavar con agua. Secar por succión y transferir el residuo a un gooch con asbesto y secar por 2 horas en la estufa de secado. Enfriar en desecador, pesar, calcinar en la mufla a 600 °C por 30 minutos, enfriar en desecador y pesar. El % de fibra se calcula por diferencia entre las muestras secas y las calcinadas. (AOAC, 1995)

$$\% \text{ (mtra seca - mtra calcinada) - Bco / peso mtra * 100}$$

2.2.5. Pectinas

A partir del sobrenadante obtenido de fibra cruda se determinó las concentraciones de ácido galacturónico, a través del método de ácidos urónicos.

El cual se basa en la cuantificación de los ácidos urónicos por medio de la reacción con carbazol, formando complejos coloridos entre pentosas y el reactivo. Sin embargo, este método es útil para la cuantificación de ácidos galacturónico, glucorico y otros. Por lo tanto se trata de una medida indirecta del contenido de pectinas, ya que estas se cuantificaron a través de la cantidad de ácido galacturónico presentes en la muestra.

Del sobrenadante de fibra cruda se tomó una alícuota de 10 ml y se aforo a 25 ml con agua destilada, la cual se utilizó como solución problema.

Se tomaron 5 ml de la solución de tetraboratos de sodio en ácido sulfúrico y se colocó en tubos de ensayo y se enfrió a 4 °C, posteriormente se adicionó un 1 ml de la solución problema, los tubos se agitaron previamente y se sometieron en un baño de agua por 10 minutos, los cuales se enfriaron a temperatura ambiente. Después se añadió 0.2 ml de carbazol y se agitó nuevamente, esto se leyeron en espectrofotómetro a una longitud de onda de 530 nm. Se cuantifico a través de una curva patrón en un intervalo de concentración de 0 - 100 µg/ml.

2.2.6. Acidez titulable

Se tomaron 30 gramos de la muestra homogeneizada, se centrifugaron por 10 minutos a 5000 rpm y del sobrenadante se tomaron alícuotas de 11 ml que se colocaron en matraz erlenmeyer de 50 ml y se les adicionó gotas de fenolftaleína, y se tituló con hidróxido de sodio al 0.1 N. El resultado se expresa como g ácido cítrico/100g de guayaba. (AOAC, 1995)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primera etapa: Irradiación

3.1. Dosimetría al aire

La importancia de realizar una dosimetría en aire es para conocer que tan homogéneo es nuestro sistema de irradiación. En la figura 2 de la metodología se muestra la distribución de los dosímetros en el contenedor a irradiar. Se observó como era de esperarse que los dosímetros que están expuestos frente a la fuente de radiación obtienen una dosis mayor, y los que quedan hacia el fondo tienen una dosis menor como se puede observar en los resultados de la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la dosimetría al aire

Posición	Absorbancia ($\lambda = 305 \text{ nm}$)	D (Gray)	D/t (Gy/min)
7	1.142	309.321	20.621
8	1.113	300.736	20.049
9	1.160	314.327	20.955
10	1.103	293.844	19.589
11	1.159	314.037	20.935
12	1.199	325.604	21.706
13	1.103	293.844	19.589
14	1.180	320.110	21.340
15	1.125	304.206	20.280
16	1.121	303.049	20.203
17	1.198	325.315	21.687
18	1.180	320.110	21.340
19	1.188	322.423	21.494
20	1.140	308.543	20.569
21	1.096	295.820	19.721
22	1.141	308.832	20.588
23	1.142	309.321	20.621
24	1.131	305.941	20.396
25	1.051	282.807	18.853
26	1.183	320.977	21.398
27	1.211	329.074	21.938
28	1.192	323.580	21.572
29	1.166	316.062	21.070
30	1.196	324.737	21.649
31	1.196	324.737	21.649
32	1.194	324.158	21.610
33	1.274	347.292	23.152

Posición	Absorbancia ($\lambda = 305 \text{ nm}$)	D (Gray)	D/t (Gy/min)
34	1.256	342.087	22.805
35	1.262	343.822	22.921
36	1.264	344.400	22.960
37	1.243	338.328	22.555
38	1.172	317.797	21.186
39	1.140	308.543	20.569
40	1.159	314.037	20.935
41	1.174	318.375	21.225
Bco.	0.077		
Bco.	0.069		

* la temperatura de la solución 18 °C

Se eliminaron los puntos del 1 al 6 y del 42 al 45. Porque fueron puntos donde la irradiación era menos homogénea, de los demás puntos se tomaron el promedio de las dosis mínima y el promedio de la dosis máxima y así se determinó la dosis media total absorbida en el sistema, y se calculó el valor de U que indica la dispersión en el sistema de irradiación.

El promedio de las dosis mínima y máxima provienen de los resultados presentados en la tabla 7.

Promedio Dosis mínima = 279.04 Gy	Promedio Dosis máxima = 375.63 Gy
-----------------------------------	-----------------------------------

Dosis media fue de 327.33 Gy.

Razón de dosis (Gy/min) en aire = 21.82

U Dmax/ Dmin = 1.34

Este valor indica que el sistema de irradiación tiene una diferencia de dosis de \pm 34%.

3.2. Diseño de irradiación para la Guayaba

Es necesario realizar una dosimetría con frutos de guayaba ya que la distribución de dosis cambia de acuerdo al producto a tratar.

Para irradiar las guayabas se utilizó una caja que tenía las dimensiones: 45*33.5*9.5 centímetros. El sistema se irradió por 15 minutos, y los resultados se presentan en la tabla 7. Para conocer la dosis media se realizó el promedio de las dosis mínimas así como el promedio de las dosis máximas. Los siguientes resultados indican la dosis promedio en el sistema. Con estos resultados se calculó el tiempo necesario para llegar a la dosis de estudio propuesta.

Tabla 7. Resultados de diseño de irradiación de la guayaba

Posición	Absorbancia ($\lambda = 305 \text{ nm}$)	D (Gray)	D/t (Gy/min)
21	0.672	173.095	11.539
22	0.684	176.539	11.769
23	0.787	206.106	13.740
24	0.761	198.643	13.240
25	0.847	223.329	14.888
26	0.694	179.410	11.960
27	0.905	239.979	15.998
28	0.914	242.562	16.170
29	0.857	226.200	15.080
30	0.830	218.449	14.563
31	0.890	235.673	15.711
32	0.836	220.172	14.678
33	0.960	255.767	17.051
34	1.092	293.658	19.577
35	1.062	285.046	19.003
36	0.877	231.940	15.462
37	0.849	223.903	14.926
38	0.978	260.934	17.395
39	1.122	302.227	20.151
40	1.122	302.227	20.151
Bco.	0.069		
Bco.	0.069		

- Temperatura de la solución 19 °C

Tabla 8. Parámetros de irradiación de la guayaba

D _{mín} promedio	195.54 Gy
D _{máx} promedio	264.24 Gy
Razón de dosis (Gy/min)	15.326
Uniformidad	1.351

De los resultados reportados en la tabla 8 se determinó que para la irradiación de guayabas la razón de dosis es de 15.32 Gy/ min, y una homogeneidad de dosis de radiación de $\pm 35\%$. Para calcular los tiempos de exposición para las diferentes dosis seleccionas para este estudio se hace una simple regla aritmética de la determinación obtenida anteriormente.

$$15.326 \text{ Gray} \text{ _____ } 1 \text{ minuto}$$

$$100 \text{ Gray} \text{ _____ } X = 6.270 \text{ minutos}$$

Para 200 Gray se requerirán 9.406 min y para 300 Gray 18.82 min.

La uniformidad de dosis absorbida se considera aceptable para este sistema, ya que el intervalo marcado para aplicaciones de investigación es de 1.2-1.4 y el obtenido se encuentra dentro de este intervalo, aunque factores de 2 o 3 son recomendables para afirmar la uniformidad de la dosis en aplicaciones comerciales.

3.3. Irradiación de las muestras

Con la información previamente obtenida en el diseño de irradiación para la guayaba se determinó que la dosis media total absorbida esta en el intervalo esperado de 150, 200 y 300 Gy con una dispersión de $\pm 35 \%$.

En la tabla 9 se muestran las dosis absorbidas de acuerdo a la posición de los dosímetros.

Tabla 9. Resultados de la dosis absorbida en los dosímetros de referencia

Posición (dosímetro)	150 Gy	200 Gy	300 Gy
1	135.05	178.41	222.65
2	129.25	178.99	189.39
3	149.68	218.31	194.31
4	154.70	183.03	217.44

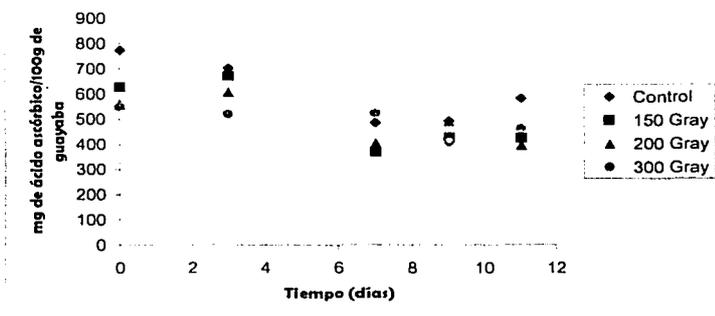
Segunda etapa: Pruebas de Estabilidad química de la guayaba irradiada

Esta etapa consistió en monitorear los cambios en los contenidos de macro y micronutrientes de la guayaba, los cuales tienen influencia en su calidad química durante el almacenamiento a temperatura ambiente y refrigeración de guayabas irradiadas.

3.4. Degradación de ácido ascórbico**Temperatura ambiente**

Los resultados de la degradación del ácido ascórbico de guayabas irradiadas y almacenadas a temperatura ambiente se muestran en la gráfica 1 y en la tabla 10. Los datos se expresan como mg de ácido ascórbico por cada 100 gramos de guayaba.

Las guayabas utilizadas para realizar este estudio se encontraban parcialmente inmaduras y está demostrado que en esta etapa el contenido de ácido ascórbico en los frutos se encuentra en altas concentraciones. La concentración inicial de las guayabas que se utilizaron como control fue de 773 mg el cual se encuentra dentro del intervalo reportado para la guayaba. Para la fruta irradiada se observó una disminución, donde la proporción de pérdida es inversamente proporcional con la dosis de irradiación.

Gráfica 1. Efecto de la Irradiación en el contenido de ácido ascórbico en guayabas almacenadas a temperatura ambiente**Tabla 10. Contenido de ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/100g de guayaba) en guayabas almacenadas a temperatura ambiente.**

Tiempo (Días)	Control	c. v	150 Gy	c.v	200 Gy	c. v	300 Gy	c.v
0	773.93	0.78	627.90	0.33	558.61	1.98	549.06	0.57
3	702.01	0.41	670.34	2.01	605.86	0.62	519.52	0.94
7	485.3	3.22	371.25	0.51	404.92	0.57	524.22	1.17
9	492.20	0.55	426.66	1.00	490.00	1.81	408.02	0.66
11	582.54	1.01	424.53	0.81	394.73	1.12	461.05	2.23

El control presenta cambios durante el almacenamiento, esto se puede deber a que las concentraciones de ácido ascórbico son mayores cuando el fruto se encuentra en estado inmaduro y conforme avanza el periodo de maduración el contenido de éste disminuye. Debido a los cambios que se presentan en catabolismo de los frutos durante el proceso de maduración. Sin embargo, cuando las concentraciones de ácido ascórbico disminuyen en la maduración, se ha observado que los niveles de ácido cítrico aumentan.

Se puede observar que al tiempo cero hay un decremento en las muestras irradiadas, con respecto al control. Esto confirma que la irradiación tiene un efecto inmediato en el contenido de ácido ascórbico. El tratamiento de irradiación induce la oxidación de la vitamina C, como lo demostraron Barr y King (1987), proponiendo el mecanismo por el que se lleva a cabo dicha oxidación, es decir a la formación de radicales libres durante la irradiación.

Se observó un decremento del 18.86%, 27.82% y 29.85% con respecto al control, para las dosis de 150, 200 y 300 Gy.

Estudios previos de Thomas y Beyers (1979) demostraron que conforme aumenta la dosis de irradiación las concentraciones de ácido ascórbico disminuyen. Esto se debe a que se forman mayor número de radicales libres, los cuales provienen de la radiólisis del agua estos pueden reaccionar con los componentes del fruto, en este caso la vitamina C provocando una disminución.

En las muestras irradiadas los cambios se llevan a cabo después de la irradiación y durante el almacenamiento disminuye ligeramente para las muestras a dosis de 200 y 300 Gy. En contraste con la muestra control el ácido ascórbico disminuye significativamente. Esto se explica como se mencionó anteriormente a los cambios durante la maduración, un efecto similar se observa para la muestra de 150 Gy. Lo cual puede explicarse basándose en estudios previos se demostró que cuando se utilizan dosis de irradiación bajas se da un aumento en la respiración de los frutos.(Gómez, *et al* 1999), por lo que el comportamiento del control y la muestra de 150 Gy es muy similar.

La degradación también puede asociarse a los procesos de maduración y temperatura de almacenamiento. Por ejemplo, Adsule y Tandon, (1983) observaron una disminución en el contenido de vitamina C, humedad y textura en guayabas almacenadas a temperatura ambiente con un aumento significativo en sólidos solubles y acidez.

La pérdida de la vitamina C, puede describirse como una reacción de primer orden. Los parámetros que se evaluaron del modelo, se describen en la tabla 11. En ella se reporta la constante de velocidad, el tiempo de vida media y coeficiente de correlación. Los valores se derivan de la siguiente expresión:

$$dC / dt = k C$$

Donde: C es concentración de ácido ascórbico, t: tiempo y k es la constante de velocidad.

Integrando la ecuación se tiene,

$$\ln C / C_0 = - kt$$

C_0 : concentración inicial de ácido ascórbico

Para el tiempo final de almacenamiento, (t_s) y una concentración final C_f

$$\ln C_f / C_0 = - kt_s$$

En general las pérdidas de ácido ascórbico, después de 11 días de almacenamiento, para las muestras irradiadas a 150, 200 y 300 Gy fueron de 32.39, 29.36 y 16.03% respectivamente por lo que durante el tiempo de estudio, la pérdida no fue mayor al 50%. En comparación con el control que presentó una pérdida de 24.72%.

Tabla 11. Parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en guayabas almacenadas a temperatura ambiente.

Parámetro	Control	150 Gy	200 Gy	300 Gy
$k(\text{días}^{-1})$	5.23E-2	6.05E-2	5.37E-2	3.33E-2
R^2	0.9921	0.9707	0.8955	0.9973
$t_{1/2}$ (días)	13.25	11.45	12.90	20.81

En lo que se refiere a los tiempos de vida media se observa para que llegue a la mitad de su concentración el ácido ascórbico, se va a requerir más tiempo de almacenamiento que el estudiado. Para las dosis de 150 y 200 Gy se requiere de 11.45 y 12.90 días respectivamente, mientras que control presenta 13.25 días. Sin embargo, para la dosis de 300 Gy el tiempo de vida media estimado es de 20 días aproximadamente. Esto se puede explicar a que la concentración de ácido ascórbico al tiempo cero disminuyó 200 mg/100g después de la irradiación. Después de este período se mantuvo constante hasta el final del almacenamiento por lo va a requerir un tiempo mayor para que la concentración de esta vitamina llegue a la mitad.

Mediante un análisis de varianza se determinó si había diferencia significativa entre las muestras irradiadas con respecto al control.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de varianza se estableció que si hay diferencia significativa ($p < 0.5$) entre las concentraciones de guayabas tratadas a las dosis de 150, 200 y 300 Gy con respecto al control. (Ver anexo)

Temperatura de refrigeración

Los resultados de la degradación contenido de ácido ascórbico de guayabas almacenadas a 5°C, se muestran en la gráfica 2 y la tabla 12.

Gráfica. 2 Efecto de la Irradiación en el contenido de ácido ascórbico en guayabas almacenadas en refrigeración

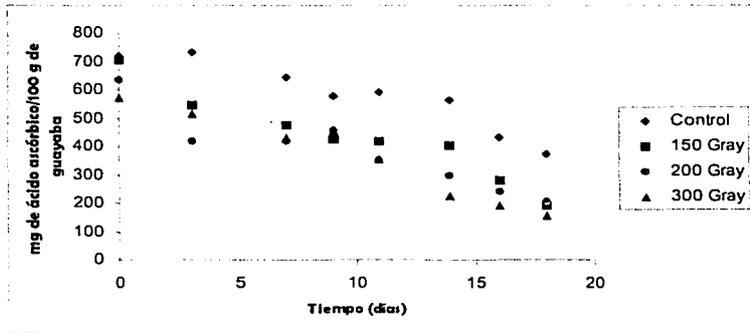


Tabla 12. Contenido de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración.

Tiempo (Días)	Control	c. v	150 Gy	c.v	200 Gy	c. v	300 Gy	c.v
0	719.40	1.16	706.17	0.90	634.42	1.00	575.46	0.07
3	731.73	1.40	545.26	0.75	417.86	0.73	516.24	0.07
7	643.65	0.80	477.24	2.47	416.08	4.23	430.51	2.33
9	577.54	0.77	428.00	0.82	450.62	0.50	451.71	1.07
11	591.47	1.42	419.05	0.88	349.95	5.80	355.51	2.63
14	562.67	1.46	405.27	1.49	298.72	1.02	227.19	2.06
16	430.43	1.18	282.08	1.13	242.22	1.73	191.67	1.24
18	375.40	0.93	189.40	2.38	203.20	0.46	157.01	2.62

Al tiempo cero hay una considerable disminución en el contenido de ácido ascórbico en todas las muestras irradiadas. Y a partir del tercer día esta disminución es sumamente significativa ya que se determinaron porcentajes de pérdidas con respecto al control de 25.48, 42.89 y 29.44 para las dosis de 150,

200 y 300 Gy respectivamente. Después de este tiempo la concentración de ácido ascórbico va disminuyendo para todos los tratamientos incluyendo el control, pero se observa que la pérdida es mayor en los irradiados, ya que al cabo del tiempo de almacenamiento la pérdida para el control es de 47.81% mientras que en los irradiados llega a hacer cerca del 70%.

La pérdida de vitamina es mayor en el lote almacenado en refrigeración en comparación con el de temperatura ambiente, lo cual puede deberse al fenómeno de maduración, donde se ha observado que las concentraciones de ácido ascórbico disminuyen, con un aumento en los niveles de ácido cítrico. Los atributos sensoriales al final del estudio no eran muy aceptables ya que las guayabas irradiadas presentaban una serie de manchas, ablandamiento excesivo y el olor ya no era el característico, esta pérdida de atributos pudo deberse a daños por frío. Ya que la exposición durante periodos de tiempo excesivamente largos, de un producto determinado, a una temperatura apartada de su rango óptimo, provoca lesiones que perjudican su calidad y acortan su vida útil.

Para esta parte del estudio se puede observar que el decremento tiene una forma exponencial conforme el tiempo de almacenamiento avanza, lo cual indica que se trata de un modelo cinético de primer orden. Como se observa en la tabla 13, donde los parámetros evaluados fueron constante de velocidad, tiempo de vida media y el coeficiente correlación.

Tabla 13. Parámetros cinéticos de degradación de ácido ascórbico en guayabas almacenadas en refrigeración

Parámetro	Control	150 Gy	200 Gy	300 Gy
k(días ⁻¹)	3.41E-2	5.981E-2	5.07E-2	5.60E-2
R ²	0.9117	0.9334	0.9553	0.8808
t _{1/2} (días)	20.32	11.59	13.67	12.37

El tiempo de vida media que presentaron las guayabas irradiadas se observa en la tabla 19, donde se puede apreciar que tanto para la dosis de 150, 200 y 300 Gy se presentó alrededor de los días 11 y 13 de almacenamiento, en cambio para el control este se presentara después de los 18 días de almacenamiento.

Con los resultados anteriores se afirma que la irradiación afecta los contenidos de ácido ascórbico, pero a su vez este puede sufrir modificaciones durante la maduración del fruto, el cual tiende a disminuir conforme avanza el periodo de madurez.

Se realizó el análisis de varianza para determinar si había diferencia significativa entre las muestras irradiadas con referencia al control. Y con los resultados obtenidos se determinó que si hay diferencia significativa entre las concentraciones de las muestras irradiadas con respecto al control. (Ver anexo)

3.5. Degradación de β -Caroteno

Temperatura ambiente

Los resultados de la degradación de β -caroteno en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente se presentan en la gráfica 3 y la tabla 14.

Los datos se expresan como mg β -caroteno por cada 100 g de guayaba.

Las guayabas que se utilizaron para el estudio a temperatura ambiente al momento de la irradiación se encontraban en un estado de madurez avanzado.

Gráfica 3. Efecto de la Irradiación en el contenido de β -Caroteno de guayabas almacenadas a temperatura ambiente

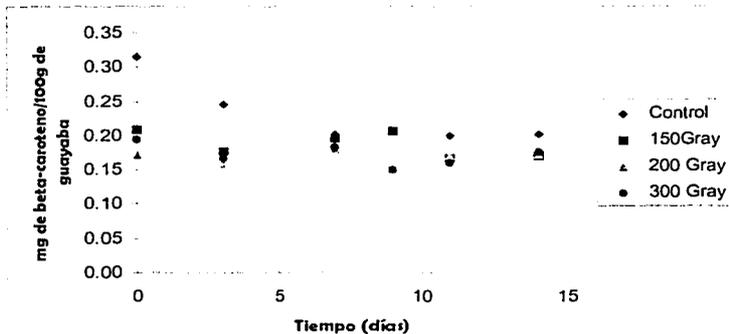


Tabla 14. Contenido de β -caroteno en guayabas (mg de beta caroteno/100g de guayaba) irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	0.31	3.75	0.20	4.70	0.17	3.75	0.19	1.81
3	0.24	1.63	0.17	0.42	0.15	1.83	0.16	0.52
7	0.20	7.46	0.19	1.10	0.17	4.42	0.18	6.88
9	0.20	7.35	0.20	1.34	0.15	12.79	0.15	15.17
11	0.20	7.46	0.16	1.73	0.17	1.90	0.15	1.89
14	0.20	0.64	0.17	3.68	0.17	0.38	0.17	1.15

Los cambios que ocurrieron en el control fueron una disminución durante los 0 y 7 días de almacenamiento y posteriormente mantenerse constante hasta el final del estudio, estos cambios que se presentan en el contenido de carotenoides durante la maduración dependen de diversos factores, como son las condiciones ambientales durante su almacenamiento (efectos bioquímicos, luz, temperatura, humedad relativa y tipo de producto).

Se puede observar que al tiempo cero hay un decremento en las muestras irradiadas, con respecto al control. Lo cual confirma que la irradiación tiene un efecto inmediato sobre el contenido de beta caroteno, esta disminución fue alrededor de 35.48%, 45.16% y 38.70% para 150, 200 y 300 Gy respectivamente, con relación a la muestra antes de la irradiación. La irradiación pudo afectar al beta caroteno, por la formación de productos radiolíticos como son $^{\bullet}\text{OH}$, H^{\bullet} los cuales actúan sobre las dobles ligaduras del β -caroteno promoviendo la oxidación de éste. Después de este tiempo la concentración de β -caroteno, se mantiene constante para los tres tratamientos es decir, el cambio producido por la irradiación sólo se observó al tiempo inicial.

Estudios realizados en pimiento rojo demostraron que los niveles de beta caroteno decrecen de manera no significativa, cuando se incrementa la dosis de irradiación. (Gregory *et al*, 1990).

El tiempo de vida media para el caroteno ocurrirá después de los 14 días que se establecieron para el estudio.

De los resultados obtenidos del tratamiento estadístico se estableció que no hay diferencia significativa entre las concentraciones de cada una de las muestras irradiadas con respecto al control. (Ver anexo)

La irradiación tuvo un efecto inmediato sobre las concentraciones de beta caroteno, entre las muestras irradiadas con respecto al control.

Temperatura de refrigeración

Los resultados de guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración se observan en la gráfica 4 y la tabla 15.

Las guayabas que se utilizaron para el estudio a temperatura de refrigeración, al momento de la irradiación se encontraban prácticamente inmaduras. A diferencia del lote de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente.

Gráfica 4. Efecto de la irradiación en el contenido de β -Caroteno de guayabas almacenadas en refrigeración

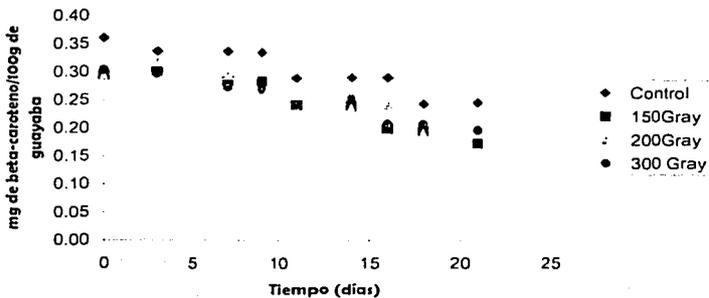


Tabla 15. Contenido de β -caroteno (mg de beta caroteno/ 100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	0.36	3.55	0.29	1.37	0.29	4.69	0.30	2.91
3	0.33	1.76	0.30	0.39	0.31	1.95	0.29	3.36
7	0.33	8.07	0.28	1.11	0.29	3.64	0.27	2.36
9	0.34	0.89	0.28	2.98	0.24	2.80	0.17	6.77
11	0.28	3.58	0.24	1.76	0.21	2.49	0.24	3.02
14	0.28	3.25	0.24	2.46	0.21	2.38	0.20	2.72
16	0.28	0.64	0.19	0.50	0.19	0.15	0.20	2.38
18	0.24	1.92	0.16	0.50	0.16	1.85	0.17	0.26
21	0.24	1.81	0.15	1.39	0.14	2.60	0.13	0.29

Al tiempo cero se observa una disminución en el contenido de beta caroteno, de las muestras irradiadas con respecto al control, del 19.44%, 19.44% y 16.66% para la dosis de 150, 200 y 300 Gy respectivamente. Lo cual explica que la irradiación tuvo efecto sobre el contenido inicial de beta caroteno. Después de este tiempo se observa una disminución del beta caroteno para todos los tratamientos incluyendo el control. La pérdida es mayor para las muestras irradiadas en promedio para los tres tratamientos fue de 52.21% mientras que en el control fue del 33.33%.

Las guayabas tratadas para cada una de las dosis muestran un comportamiento similar durante la pérdida de β -caroteno, donde se aprecia que si hay diferencia significativa entre los tres lotes irradiados.

Se realizó el análisis de varianza para establecer si había diferencia significativa entre las guayabas irradiadas con respecto a las guayabas control.

De acuerdo con los resultados del tratamiento estadístico se determinó que si hay diferencia significativa entre las concentraciones de las muestras irradiadas con relación a la muestra control. (Ver anexo)

Al igual que las guayabas almacenadas a temperatura ambiente, en estas se observó un efecto de la irradiación en la degradación de carotenoides, para las muestras irradiadas con relación al control.

La disminución del beta caroteno durante el tiempo de almacenamiento, puede atribuirse tanto al efecto de la irradiación así como también al fenómeno de maduración, ya que por su naturaleza insaturada es particularmente susceptible a la isomerización, por lo que puede darse pérdida de color por oxidación. (Eskin, 1990)

Los tiempos de vida media del caroteno se presentaron para las muestras irradiadas entre los 18 y 21 días de almacenamiento y para el control este se presentará después de los 21 días.

3.6. Carbohidratos solubles (Temperatura ambiente)

3.6.1 Fructosa

Es importante indicar que las guayabas que se emplearon para esta parte del estudio se encontraban maduras.

Los resultados del contenido de fructosa de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente se muestran en la gráfica 5 y la tabla 16. La concentración de fructosa se reporta como gramos de este carbohidrato por cada 100 g de guayaba.

Gráfica 5. Contenido de Fructosa en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

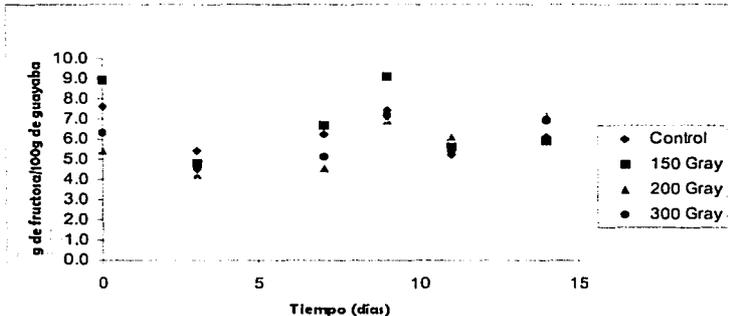


Tabla 16. Datos del contenido de Fructosa (g de fructosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo(Días)	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	7.62	17.70	8.91	8.32	5.46	1.55	6.33	0.84
3	5.40	5.25	4.83	8.10	4.23	5.79	4.56	4.75
7	6.24	10.89	6.67	8.93	4.53	4.68	5.12	8.13
9	7.40	9.45	9.13	1.47	6.92	6.25	7.21	0.59
11	5.22	3.54	5.63	14.05	6.15	3.16	5.45	8.75
14	6.10	8.32	5.94	11.02	7.17	4.19	6.95	3.85

Se puede observar en la gráfica 5 que tanto la muestra control como las diferentes dosis de irradiación, presentan la misma tendencia, es decir, que no se presentan cambios significativos en las concentraciones de fructosa durante el tiempo de almacenamiento.

De acuerdo con el análisis de varianza se determinó que no hay diferencia significativa entre las muestras irradiadas. (Ver tablas anexo) Por esta razón se puede establecer que la irradiación no afecta la concentración de fructosa en guayaba.

Sin embargo en estudios previos se demostró que cuando se utilizan dosis de irradiación bajas se da un aumento en la respiración de los frutos. (Gómez, *et al* 1999)

Las guayabas almacenadas en condiciones ambientales, presentan altas tasas de velocidad de respiración y la producción de etileno evoluciona hasta alcanzar el pico climatérico en el noveno día de almacenamiento. (Laguado, *et al* 1998)

Alrededor de los nueve días de almacenamiento se aprecia un aumento en la concentración de fructosa. Este máximo puede tratarse de un incremento en la respiración del fruto. Para la guayaba un aumento en la cantidad de CO₂ liberado así como la producción de etileno ocurren generalmente entre los 5 y 6 días de almacenamiento. (Salunkhe, 1995)

3.6.2. Glucosa

Los resultados del monitoreo en el contenido en glucosa de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente se aprecian en la gráfica 6 y la tabla 17. Los datos se reportan en g de glucosa por cada 100g de guayaba.

Gráfica 6. Contenido de glucosa en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

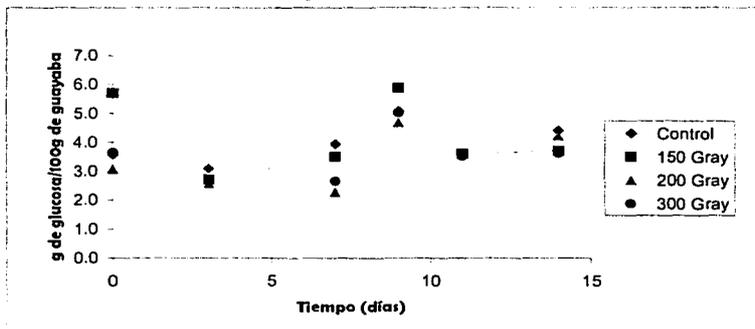


Tabla 17. Contenido de glucosa (g de glucosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo(Días)	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	3.58	10.38	5.70	25.96	3.07	2.40	3.64	0.73
3	3.09	12.39	2.71	11.74	2.56	8.14	2.70	4.64
7	3.94	8.19	3.51	5.44	2.28	6.46	2.66	12.27
9	5.07	13.84	5.88	2.04	4.68	9.28	5.02	4.98
11	3.63	11.98	3.60	11.83	3.58	10.60	3.51	3.82
14	4.41	1.93	3.71	4.08	4.22	3.81	3.62	27.30

Se puede observar que al tiempo cero las concentraciones iniciales se encuentran en el intervalo 3%-3.5% para el control, 200 y 300 Gy excepto para las dosis de 150, la cual presenta una contenido del 5.7%. Esta diferencia puede explicarse por el alto coeficiente de variación que presentó para la cuantificación de este

carbohidrato. El comportamiento que presentan tanto el control como las muestras irradiadas es muy similar durante el almacenamiento.

De la misma forma que en el comportamiento en la concentración de fructosa, el contenido de glucosa se distingue un incremento a los nueve días de almacenamiento.

Este máximo puede deberse al aumento en la respiración, que es el proceso metabólico fundamental en el que se producen la degradación oxidativa sustratos complejos (azúcares y ácidos orgánicos), hasta moléculas simples (dióxido de carbono y agua) con la liberación de energía. Un incremento en el contenido de glucosa, puede estar relacionado con el climaterio. Este incluye cambios físicos, químicos, fisiológicos y metabólicos, que están asociados al aumento en la tasa respiratoria, donde el etileno juega un papel muy importante, ya que este es capaz de acelerar la maduración.

De acuerdo con el análisis de varianza se determinó que no hay diferencia significativa entre las muestras. (Ver anexo) Por lo que se puede afirmar que las dosis de irradiación estudiadas no afectan el contenido de glucosa en guayaba.

3.6.3. Sacarosa

Los azúcares se incrementan a medida que avanza el estado de maduración. En el caso de la sacarosa, se encuentra en continuo aumento hasta el punto de recolección del fruto, una vez cortado el vínculo con el árbol, la sacarosa experimenta un ligero incremento para posteriormente disminuir paulatinamente hasta la práctica desaparición. (Herrero, 1992)

Los resultados del monitoreo en el contenido de sacarosa en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente, se muestran en la gráfica 7 y la tabla 18. Los datos se reportan como g de sacarosa por cada 100g de guayaba.

Gráfica 7. Contenido de sacarosa en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

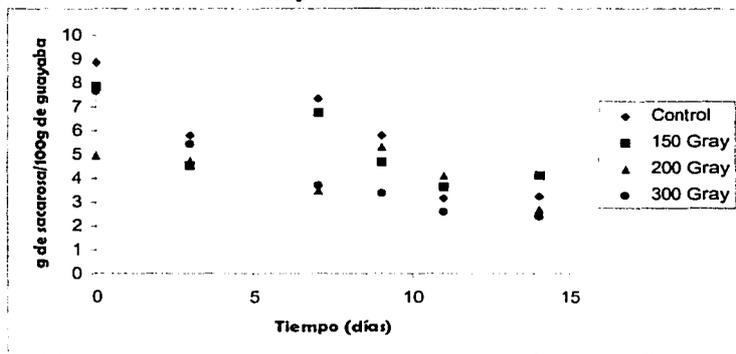


Tabla 18. Contenido de sacarosa (g de sacarosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo(Días)	Control	c.v	150 GY	c.v	200 GY	c.v	300 GY	c.v
0	8.82	8.29	7.85	5.80	4.95	4.14	7.60	6.44
3	5.79	8.94	4.54	25.71	4.71	5.82	5.40	6.25
7	7.32	6.18	6.73	6.83	3.46	19.77	3.70	15.86
9	5.76	6.13	4.68	2.51	5.30	6.65	3.39	11.33
11	3.16	8.97	3.63	12.47	4.09	11.09	2.57	13.64
14	3.22	13.92	4.10	6.30	2.69	2.63	2.39	3.72

En general durante el almacenamiento el comportamiento de la sacarosa fue muy variable inclusive en el control. Esto puede deberse a la variabilidad de la fruta para cada una de las muestras irradiadas ya que las concentraciones iniciales son diferentes con respecto al control.

Mediante el análisis de varianza para determinar si había diferencia significativa entre cada una de las muestras. Se obtuvo que no existe diferencia significativa

entre las muestras irradiadas con respecto al control. Por lo que se puede explicar que las dosis de irradiación empleadas no afectan el contenido de sacarosa en guayaba.

Sin embargo, para las dosis de 150 y 200 Gy se aprecia un incremento entre los siete y nueve días de almacenamiento respectivamente. Este aumento en la concentración de sacarosa puede estar relacionado con el climaterio, que es el máximo en la respiración del fruto.

3.7. Carbohidratos solubles (Temperatura de Refrigeración)

Como ya se mencionó, los carbohidratos representan un parámetro de calidad por que es importante estudiar su comportamiento frente a un tratamiento de irradiación, en frutos climatéricos tales como la guayaba.

Es importante mencionar que las guayabas que se emplearon para esta parte del estudio se encontraban inmaduras, con respecto a las que se emplearon en el estudio a temperatura ambiente.

3.7.1 Fructosa

Los resultados del contenido de fructosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración, se muestran en la gráfica 8 y la tabla 19.

Gráfica 8. Contenido de fructosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

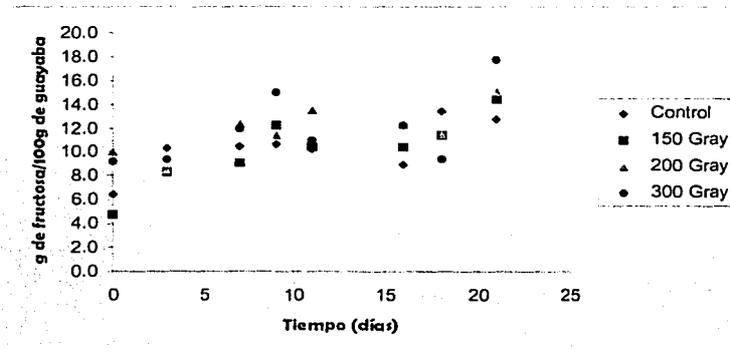


Tabla 19. Contenido de fructosa (g de fructosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	6.44	8.36	4.81	4.07	10.08	1.22	9.23	8.91
3	10.37	8.54	8.37	7.92	8.57	2.43	9.39	10.16
7	10.50	10.37	9.10	6.53	12.38	8.68	11.98	12.85
9	10.72	2.50	12.26	4.14	11.48	13.47	15.06	7.53
11	10.26	1.29	10.44	6.00	13.53	5.61	10.98	6.80
16	9.01	15.26	10.51	7.81	12.39	17.24	12.30	8.22
18	13.43	2.99	11.39	3.74	11.49	5.07	9.45	16.60
21	12.84	8.83	14.46	19.12	15.15	10.36	17.79	1.88

Se aprecia que al tiempo cero la concentración de fructosa varía para cada una de las dosis aplicadas desde 4% hasta 10% aproximadamente. Después de este tiempo la concentración de fructosa aumenta gradualmente en lo que se refiere al control.

En general las muestras irradiadas presentan un comportamiento similar al control, por lo que se puede afirmar que la irradiación no tuvo efecto sobre la evolución de la fructosa durante el almacenamiento. Los cambios que se observan pueden atribuirse a la variabilidad de la fruta ya que las concentraciones iniciales se observan diferencias entre las muestras irradiadas y el control.

Mediante los resultados del análisis de varianza se determinó que si hay diferencias significativas entre las concentraciones de fructosa, esta variación puede deberse a lo que ya se dijo anteriormente, por los altos coeficientes de variación. (ver anexo) Durante el almacenamiento se observa un máximo en el día nueve, lo cual confirma que se trata de un aumento en la respiración, esto ocurrió para los tratamientos de 150 y 300 Gy, en cambio para 200 este resultó a los once días. Lo

que se explica que la irradiación tuvo efecto sobre la maduración, donde ocasionó retardo de la misma.

La respuesta respiratoria de frutas irradiadas durante la etapa preclimática, está caracterizada por un aumento respiratorio acompañado de rápidos cambios en la composición que conducen a la maduración, además, estos frutos son capaces de producir etileno y la liberación de dióxido de carbono. (Akamine-Gol, 1971)

3.7.2. Glucosa

Los resultados del contenido de glucosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración se muestran en la gráfica 8 y la tabla 20. Donde los datos se expresan como g de glucosa por cada 100g de guayaba.

Gráfica 9. Contenido de glucosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

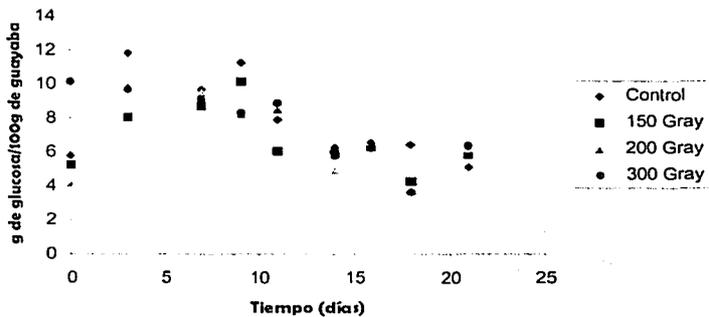


Tabla 20. Contenido de glucosa (g de glucosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	5.78	7.53	5.25	5.36	4.13	0.96	10.15	4.07
3	11.88	8.53	8.07	6.60	9.84	10.27	9.72	5.65
7	9.71	16.30	8.738	2.80	9.52	12.47	9.12	10.47
9	11.26	1.36	10.14	5.43	8.25	16.93	8.26	7.12
11	7.92	9.98	6.04	15.09	8.50	6.12	8.89	1.47
14	6.26	3.12	5.90	3.18	4.98	15.61	5.81	10.40
16	6.24	4.73	6.28	6.16	6.65	19.17	6.50	4.57
18	6.43	8.68	4.26	6.68	3.75	2.24	3.63	15.83
21	5.07	3.32	5.83	9.40	6.23	17.86	6.40	13.38

La concentración de glucosa en el tiempo cero es similar en las guayabas que fueron irradiadas con dosis de 150, 200 Gy y el control, mientras que para las guayabas irradiadas a 300 Gy la concentración de glucosa inicial es del doble. Lo cual puede deberse a un aumento en la respiración del fruto provocado por la irradiación, la cual incrementa la respiración en frutos a dosis bajas.

En general el comportamiento tanto de las muestras irradiadas y el control es muy similar, por lo que se puede decir que la irradiación no afecta su evolución durante el almacenamiento.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se corrobora que si hay diferencia significativa entre las concentraciones de cada una de las muestras irradiadas al igual que en el control. Lo cual puede deberse a la variabilidad de la fruta.

Al igual que en la fructosa se observó un máximo alrededor de los 9 días de almacenamiento, el cual puede asociarse al pico climatérico de la guayaba el cual se encuentra reportado que ocurre al noveno día de almacenamiento.

Esto se puede confirmar con estudios previos que revelaron que cuando la guayaba logró la fase maduración los componentes principales eran fructosa, glucosa y sacarosa. (Rashida, 1997)

3.7.3. Sacarosa

Los cambios en el contenido de sacarosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración se muestran en la gráfica 10 y la tabla 21. Los datos se expresan como g de sacarosa por cada 100 g de guayaba.

Gráfica 10. Contenido de sacarosa en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

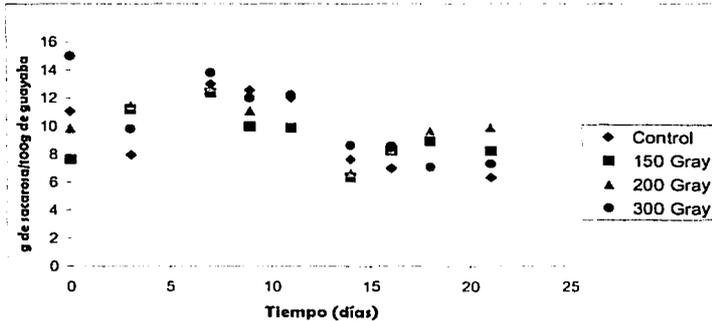


Tabla 21. Contenido de sacarosa (g de sacarosa/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	11.07	9.13	7.63	3.11	9.84	5.38	15.00	4.95
3	7.97	12.53	11.21	4.06	11.50	3.74	9.82	1.93
7	13.03	6.32	12.40	7.56	12.79	12.43	13.82	7.16
9	12.58	8.48	10.00	4.51	11.12	8.87	12.02	6.46
11	12.04	8.48	9.88	4.51	12.29	8.87	12.20	6.46
14	7.65	19.17	6.37	12.08	6.69	9.07	8.63	9.32
16	6.99	11.81	8.24	4.33	8.30	16.87	8.55	11.50
18	8.93	1.38	8.94	16.71	9.68	3.75	7.10	10.58
21	6.31	7.49	8.20	20.36	9.89	8.48	7.28	15.83

Se aprecia que al tiempo cero hay incremento en el contenido de sacarosa para la dosis de 300 Gy, lo cual se explica por un aumento repentino en la respiración del fruto, esto provocado por la irradiación, cual incrementa la respiración de los frutos a dosis bajas de radiación.

El comportamiento tanto del control como de las muestras irradiadas es muy similar con lo que se confirma que la irradiación no afecta la evolución de la sacarosa en la guayaba durante el almacenamiento.

Se observa, un máximo en el contenido de este alrededor del día nueve de almacenamiento, este aumento se ha detectado en los otros carbohidratos estudiados, en el mismo día de almacenamiento, por lo tanto se confirma que se trata del pico climatérico del fruto.

De los resultados del análisis de varianza se confirma que si hay diferencia significativa entre las concentraciones tanto de las guayabas irradiadas y el control. Lo cual puede explicarse por la diferencia entre la fruta ya que esta presentó diferentes concentraciones durante el monitoreo.

En general para los tres carbohidratos no se observó un cambio por efecto de la irradiación. Sin embargo, los cambios que se presentaron en estos carbohidratos se atribuyen al proceso de maduración y la variabilidad de la fruta. Ya que la fruta irradiada muestra un comportamiento similar al control, con esto se confirma que la irradiación no afecta los carbohidratos presentes en la guayaba

3.8. Pectinas (Temperatura ambiente)

Las pectinas son constituyentes primordiales de la pared celular de la mayoría de los vegetales, imparten textura al fruto, siendo una de las características de calidad más representativas para el consumo posterior del alimento. Por lo que resulta importante la evolución en el contenido de pectina de guayabas irradiadas así como las características organolépticas que el fruto presente al final del estudio.

Adicionalmente es importante mencionar que las pectinas se cuantificaron a través de un método indirecto. Donde se determinó ácido galacturónico del sobrenadante de fibra cruda y por medio de un método espectrofotométrico se obtuvieron las concentraciones de pectina.

Los resultados de la evolución de pectina en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente, se observan en la gráfica 11 y la tabla 22. Los datos se expresan como g de pectina por cada 100g de guayaba.

Gráfica 11. Contenido de pectinas en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

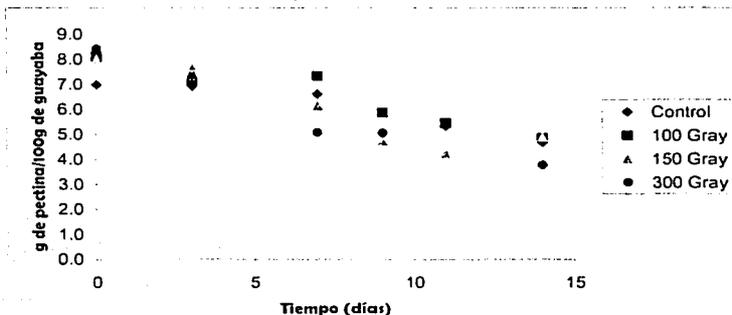


Tabla 22. Contenido de pectina (g de pectina/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	7.001	2.860	8.114	8.539	8.030	12.698	8.422	11.820
3	6.923	5.253	7.106	2.860	7.630	11.676	7.268	6.786
7	6.615	4.632	7.343	6.955	6.123	7.620	5.077	1.586
9	5.067	3.931	5.864	1.062	4.732	6.913	5.054	11.189
11	5.344	12.038	5.463	3.931	4.237	2.827	5.440	7.343
14	4.635	18.514	4.845	12.833	4.893	9.414	3.761	3.490

Al tiempo cero se observa que los niveles de pectina para cada una de las dosis empleadas es muy similar ya que se encuentra entre 8 % de pectina, en cambio el control presenta una menor concentración. Por lo que se puede afirmar que al estado de madurez que presentaba el fruto, se presentó una solubilización de las sustancias pecticas y por lo tanto un decremento en la concentración de pectina. Debido a la transformación de esta a sustancias solubles similares. Después de este tiempo la concentración de pectina disminuye conforme transcurre el tiempo de almacenamiento.

de acuerdo con los resultados del análisis de varianza se estableció que no hay diferencia significativa entre las concentraciones de las muestras con relación al control. Lo cual confirma que la irradiación no afectó la evolución de las pectinas en guayabas irradiadas.

El ablandamiento se presentó en los últimos días de almacenamiento, esto se encuentra relacionado con los cambios que sufren las pectinas durante la maduración. Ya que se ha observado que cuando la maduración está más avanzada, se produce también una disminución en la pectina soluble, la cual esta relacionada con la aparición de una textura harinosa. (Herrero, 1992)

Al final del estudio las guayabas presentaron una serie de manchas, y un pronunciado ablandamiento, independientemente de la dosis empleada.

Temperatura de refrigeración

Es importante mencionar que el fruto utilizado para esta etapa del estudio se encontraba inmaduro. Los resultados de la evolución en el contenido de pectina en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración se indican en la gráfica 12 y la tabla 23. Los datos se expresan como g de pectina por cada 100g de guayaba.

Gráfica 12. Contenido de pectina en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

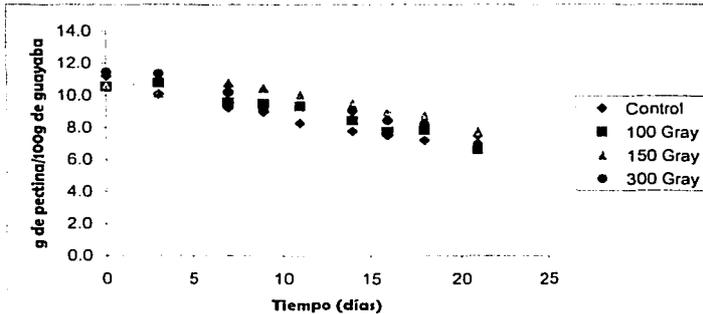


Tabla 23. Contenido de pectina (g de pectina/100g de guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	c.v	100 Gy	c.v	150 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	11.218	0.528	10.543	3.238	10.601	7.039	11.435	6.185
3	10.076	1.243	10.772	2.340	10.135	2.731	11.355	1.648
7	9.239	8.649	9.583	0.943	10.775	1.794	10.170	3.059
9	8.985	7.023	9.491	3.124	10.479	4.211	9.070	2.853
11	8.296	4.751	9.339	0.384	10.053	2.427	9.401	0.712
14	7.788	3.602	8.439	3.940	9.583	1.706	9.058	1.674
16	7.542	1.196	7.788	6.769	9.057	5.589	8.438	1.750
18	7.221	2.523	7.863	2.889	8.799	2.708	8.222	5.452
21	7.493	0.677	6.642	1.116	7.756	0.986	6.932	0.612

Al tiempo cero la concentración de pectina es muy similar tanto para las guayabas irradiadas con relación a las guayabas control. Después de este tiempo los niveles de pectina disminuyen conforme avanza el tiempo de almacenamiento.

Para lo cual se realizó el análisis de varianza para determinar si había diferencia significativa entre las muestras irradiadas con referencia al control. Y con los resultados obtenidos se determinó que no hay diferencia significativa entre las concentraciones de las muestras irradiadas con respecto a las guayabas que se emplearon como control. Lo cual confirma que la irradiación no afectó el contenido de pectina en guayabas.

Esto se concuerda con estudios previos donde estudiaron el efecto de la irradiación en el contenido en pectina de papaya y mostraron que después del tratamiento ocurrió una solubilización de las sustancias pécticas.

La degradación de las pectinas durante el almacenamiento puede deberse al fenómeno de maduración ya que las guayabas perdieron textura y firmeza este efecto se da por la transformación de la pectina insoluble a pectina soluble durante la fase de madurez la cual se manifiesta por un ablandamiento.

3.9. Fibra Cruda (Temperatura ambiente)

La fibra cruda es uno de los componentes principales de la pared celular de algunos frutos, por lo que es importante evaluar su comportamiento frente a los efectos de la radiación ya que ésta representa un parámetro de calidad para la aceptación o rechazo de los frutos.

Los resultados del contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente, se presentan en la gráfica 13 y la tabla 24.

Gráfica 13. Contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

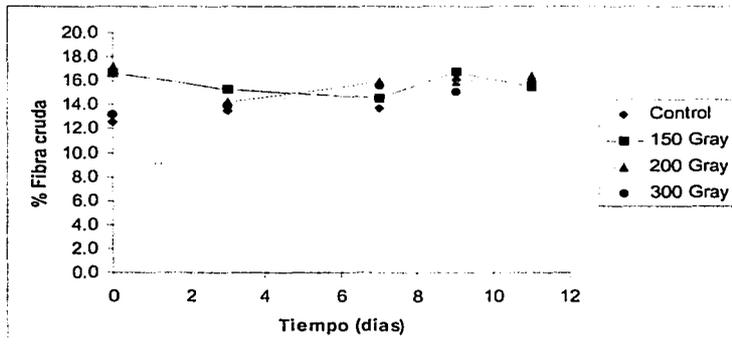


Tabla. 24. Contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	12.53	3.37	16.64	4.07	17.20	0.83	13.19	9.67
3	13.54	0.67	15.33	6.86	14.28	8.66	13.91	3.38
7	13.67	3.82	14.56	4.65	15.87	3.00	15.55	0.83
9	16.09	0.15	16.76	6.35	15.87	1.09	15.05	5.76
11	16.02	1.82	15.48	6.35	16.42	2.73	15.92	4.50

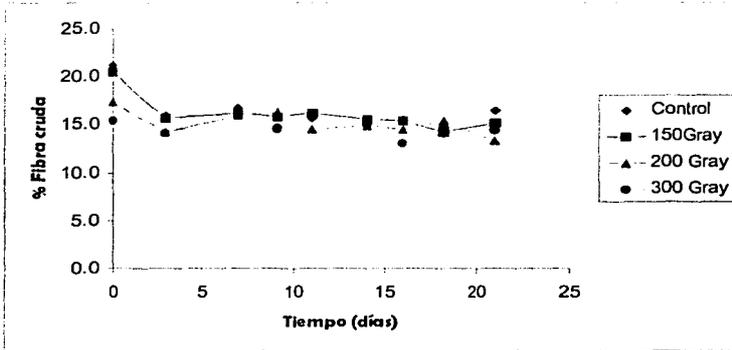
Se observa que el contenido en fibra al tiempo cero hay variaciones entre los tratamientos ya que para las dosis de 150 y 200 Gy, los valores fueron muy elevados en comparación con el control y la dosis de 300 Gy. Sin embargo, para los últimos días de almacenamiento los contenidos en fibra aumentaron en el caso del control así como en la dosis de 300 Gy. Estos cambios pueden deberse a la variabilidad de la fruta ya que sus concentraciones presentaron modificaciones durante el monitoreo entre las muestras irradiadas y el control.

El comportamiento del contenido en fibra cruda es muy similar para el control y las muestras irradiadas, por lo que se puede afirmar que la irradiación no afectó los contenidos de este componente.

De acuerdo con el análisis de varianza se determinó que no hay diferencia significativa entre los porcentajes de cada una de las muestras irradiadas con relación al control. (Ver anexo)

Temperatura de refrigeración

En los resultados del contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración, se observa un comportamiento similar a lo que ocurrió en los lotes de guayabas almacenadas a temperatura ambiente. Esto confirma que la irradiación no tiene repercusión en el contenido de fibra cruda. Esto se puede apreciar en la gráfica 14 y la tabla 25.

Gráfica 14. Contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración**Tabla. 25. Contenido de fibra cruda en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración**

Tiempo	Control	c.v	150 Gy	c.v	200 Gy	c.v	300 Gy	c.v
0	21.25	8.49	20.56	7.14	17.42	7.06	15.38	1.90
3	16.02	1.85	15.64	0.63	14.28	3.50	14.18	4.78
7	16.80	5.75	16.25	4.97	16.02	0.71	15.95	0.43
9	14.76	2.26	15.80	7.28	16.34	7.64	14.49	2.28
11	15.76	5.07	16.21	7.05	14.57	0.69	15.96	5.94
14	15.22	12.88	15.54	15.31	14.91	7.02	15.03	8.43
16	15.52	9.01	15.44	13.03	14.48	8.33	13.03	6.03
18	14.84	0.83	14.20	13.39	15.48	7.57	14.12	4.09
21	16.48	9.25	15.14	9.49	13.36	2.49	14.35	3.34

Se observa que al tiempo cero las muestras de 200 y 300 Gy presentaron un contenido de fibra de 17.42 y 15.38, en cambio el control y la dosis de 150 fueron de 21.25 y 20.26. Y después de este tiempo los contenidos en fibra cruda disminuyen. Sin embargo, se mantienen constantes conforme avanza el tiempo de almacenamiento, para las muestras irradiadas y el control.

Con los resultados del análisis de varianza se estableció que no hay diferencia significativa entre las guayabas irradiadas y el control. Por lo que se afirmó que la irradiación no afecta los contenidos de fibra cruda en guayaba.

El comportamiento tanto de las muestras irradiadas como del control es muy similar durante el tiempo de almacenamiento.

Por efecto de bajas temperaturas sobre la catálisis de las reacciones bioquímicas propias del proceso de maduración. Ya que las bajas temperaturas pueden romper el equilibrio de los procesos metabólicos alterando la calidad del fruto.

3.10. Ácidos orgánicos

Evaluados como acidez, indican la concentración de H^+ y la cantidad de ácidos libres, están relacionados con parámetros como resistencia al desarrollo de microorganismos, estabilidad del color y sabor.

La evolución de la acidez en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente se muestran en la gráfica 15 y la tabla 26. Los resultados se expresan como g de ácido cítrico por cada 100 g de guayaba.

Gráfica 15. Contenido de acidez en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

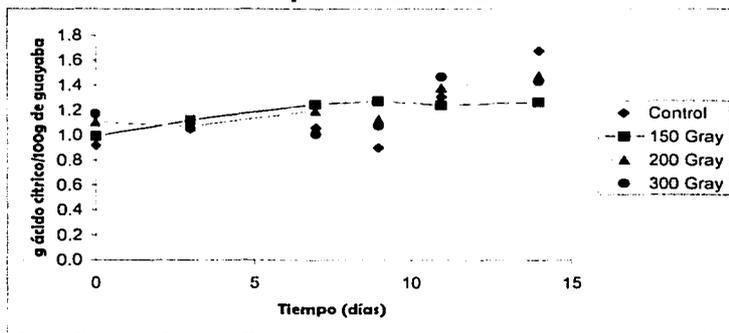


Tabla. 26. Evolución de la acidez (g de ácido cítrico/100g guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Tiempo	Control	150 Gy	200 Gy	300 Gy
0	0.91	0.99	1.10	1.16
3	1.05	1.12	1.07	1.05
7	1.06	1.25	1.20	1.01
9	0.90	1.27	1.13	1.07
11	1.31	1.24	1.38	1.47
14	1.67	1.26	1.48	1.43

c.v. < 0.5 %

Se observa que la acidez tiende a aumentar conforme transcurre el tiempo de almacenamiento. Al tiempo cero los niveles de acidez tanto del control como de las muestras irradiadas es muy similar. Sin embargo, durante el tiempo de almacenamiento las concentraciones de acidez aumentaron tanto para los tres tratamientos incluyendo el control.

A través de un análisis de varianza se determinó si había diferencia significativa entre las muestras irradiadas con relación al control.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se estableció que no hay diferencia significativa entre cada muestra. Esto confirma que la irradiación no afecta los niveles de acidez en guayaba.

El comportamiento de los niveles de acidez de las guayabas irradiadas es muy similar al control, ya que este se mantuvo constante hasta el noveno día de almacenamiento posteriormente aumentó.

La relación que se da entre azúcar y ácido es particularmente útil como índices de maduración para muchas frutas. Sin embargo, en este lote de guayabas el fenómeno de maduración ocurrió a una velocidad mayor debido a que el fruto ya se encontraba maduro.

Se ha detectado que para la guayaba el contenido de ácido cítrico aumenta, conforme disminuye el ácido ascórbico.

Temperatura de refrigeración

Los resultados de la evolución de la acidez de guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración. Se aprecian en la gráfica 14 y la tabla 27, los valores se expresan como g de ácido cítrico por cada 100g de guayaba.

Gráfica 16. Contenido de acidez en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

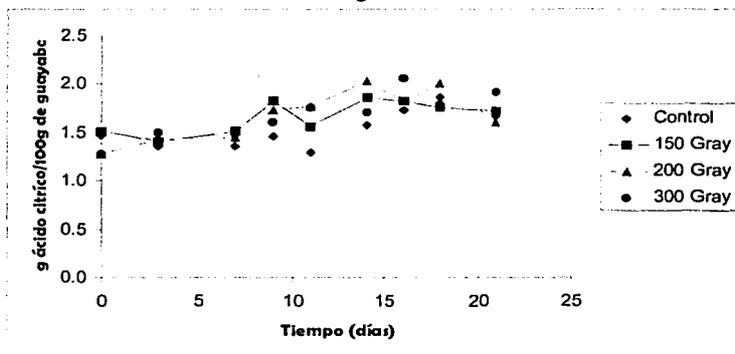


Tabla 27. Evolución de la acidez (g de ac. cítrico/100g guayaba) en guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración

Tiempo	Control	150 Gy	200 Gy	300 Gy
0	1.46	1.51	1.27	1.27
3	1.35	1.40	1.43	1.50
7	1.35	1.51	1.44	1.47
9	1.46	1.82	1.73	1.60
11	1.29	1.56	1.77	1.76
14	1.57	1.85	2.03	1.70
16	1.73	1.82	1.82	2.06
18	1.86	1.76	2.00	1.78
21	1.67	1.72	1.59	1.92

c.v. < 0.5 %

Se observa que al tiempo cero las concentraciones de acidez para las muestras de 200 y 300 Gy mostraron el mismo nivel, en cambio el control y la dosis de 150 Gy

mostraron una mayor concentración. Después de este tiempo los niveles de ácido cítrico aumentan conforme transcurre el tiempo de almacenamiento.

En general las concentraciones que se obtuvieron de ácido cítrico para las guayabas irradiadas así como para el control, se encuentran del intervalo que marca la literatura que es de 0.08 – 2.20 %.

Se realizó el análisis de varianza para determinar si había diferencia significativa entre las guayabas irradiadas y el control. Con los resultados obtenidos del análisis de varianza se determinó que no hay diferencia significativa entre las muestras irradiadas y el control. Lo cual confirma que la irradiación no afecta las concentraciones de acidez en guayaba.

En cuanto al comportamiento de los niveles de acidez durante el almacenamiento son muy similares de las muestras irradiadas y el control, así que los cambios que se llevaron a cabo pueden deberse al proceso de maduración.

Se ha estudiado que conforme se sintetizan los carbohidratos el contenido de acidez tiende a disminuir, pero esto no ocurre en todos los frutos, no necesariamente son dependientes de los carbohidratos. Lo que pudo ocurrir en la guayaba es que a partir de la degradación de ácido ascórbico la concentración de ácido cítrico aumenta. (Salunkhe, 1995) La disminución del ácido ascórbico coincide precisamente con el pico respiratorio y con un ligero aumento en la acidez.

CONCLUSIONES

- La irradiación afectó los contenidos iniciales de ácido ascórbico en guayaba en un intervalo de (150 – 200 mg), inmediatamente después del tratamiento.
- De acuerdo con los datos cinéticos se estableció que el tiempo de vida media para las guayabas almacenadas a temperatura ambiente es de 12 días, para las dosis de 150 y 200 Gy.
- No hay diferencia significativa entre las dosis de irradiación en la degradación de ácido ascórbico de guayabas almacenadas a temperatura ambiente.
- No es recomendable la irradiación de guayabas a dosis de 150, 200 y 300 Gy cuando se requiera almacenar a temperatura de refrigeración por un tiempo mayor a 4 semanas ya que hay pérdida de ácido ascórbico mayor del 50%.
- Se estableció que no hay diferencia significativa en el contenido de ácido ascórbico de las muestras irradiadas con relación al control en guayabas almacenadas en refrigeración.
- La irradiación tuvo un efecto significativo en los contenidos iniciales de beta caroteno de guayabas con una pérdida del 30 % para cada una de las dosis, con respecto al control.

-
- La pérdida de beta caroteno de guayabas irradiadas a dosis de 150, 200 y 300 Gy almacenadas en refrigeración se encontró en un intervalo de (48 – 55%), por lo que no se recomiendan periodos prolongados de almacenamiento mayor de cuatro semanas para estas frutas.
 - Se encontró que si hay diferencia significativa sobre el contenido de beta caroteno de las muestras irradiadas con referencia al control en ambas temperaturas.
 - La irradiación no tiene efecto significativo en el contenido de carbohidratos solubles tanto de guayabas almacenadas a temperatura ambiente como en refrigeración.
 - No hay diferencia significativa entre las dosis aplicadas en la evolución de las pectinas de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración.
 - No hay cambios significativos en el contenido de fibra cruda de guayabas irradiadas almacenadas en refrigeración y temperatura ambiente, durante el periodo de maduración.
 - Las dosis de irradiación de 150, 200 y 300 Gy aplicadas en la guayaba no tienen influencia en la evolución de los carbohidratos.
 - No es recomendable la irradiación, cuando los periodos de almacenamiento por más de cuatro semanas, ya que provoca ablandamiento y daños en la textura.
-

-
- No se recomienda la irradiación cuando el fruto se encuentra en estado de madurez avanzado para posteriormente almacenarlo a temperatura ambiente.
 - La irradiación es un tratamiento efectivo para la eliminación de parásitos, ya que es sabido por estudios previos que a dosis de 150, 200 y 300 Gy se elimina su proliferación. Sin embargo, la radiación afectó principalmente los microcomponentes de la guayaba como fueron ácido ascórbico y beta caroteno, ya que se sabe que esta es una fuente natural de estas vitaminas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adsule, P.G, y Tandon, D.K. (1983) The assessment of LDP bags for enhancing sep-life of guava, *Indian Food Packer* 37, 82,
 - AOAC, 1995 Official methods of analysis. EUA
 - Akamine, E.K., y Goo, T. (1971) Respiration of Gamma Irradiated Fresh Fruits. *Journal of Food Science* 36: 1074-1076.
 - ASERCA, 1998 La Guayaba en México un Largo Camino por Recorrer, *Claridades Agropecuarias*, 59, 3-14.
 - Barr, N.F. y King, C.G. (1987) The γ -ray induced oxidation of ascorbic acid and ferrous ion, *J. Am. Chem. Soc.*, , 43, 718-721.
 - Braverman, J.B.S. (1980) Introducción a la Bioquímica de los Alimentos, Editorial manual moderno, 2ª edición. pp.106,
 - Bustos, M.R., Rocabado, F. (1991) Irradiación de alimentos: Memoria del seminario nacional realizado en México, D.F., 7-9 noviembre 1990, ININ, México.
 - Davies, D.D., y J, Giovanelli., (1969) Bioquímica vegetal. Ap. Rees, Omega, Barcelona, España.
 - Diehl, J.F., Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, Inc., EUA, 1998, pág. 266-269,
 - Desrosier, (1970) The Technology of Food Preservation. The Avi Publishing Company, EUA.
 - Eskin, N.A. (1990) Biochemistry of Foods. Academic, Pres, Inc, New York.
-

-
- Fellows, Peter (1994) Tecnología del procesado de los alimentos Principios y prácticas. Zaragoza España Editorial Acribia, pp. 373-376
 - Fennema, Owen. Química de los Alimentos. España Editorial Acribia, 1993, pp. 550-555, 643-647.
 - Franceshini, R., Francis, F.J., Livingston, G.E. y Fagerson, I.S., (1979) Effects of gamma ray irradiation on carotenoid and color of carrots, sweet potatoes, green beans and broccoli, *Food Technology* 13, 358 – 365.
 - Gómez, M.L.P.A., Lajolo F.M. , Cordenunsi B.R.. (1999) Metabolismo de carbohidratos durante o amadurecimiento do mamão (*Carica papaya* L. Ev. Solo): influencia da radiação gama. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 19, 1-11
 - Herrera, E., 1993, Elementos de Bioquímica Ed. Interamericana Mc Graw Hill, México, pp.102-106.
 - Herrero, A., Guardia, J. 1992 Conservación de frutos, Manual Técnico. Ediciones: Mundi, pp. 16,90.
 - Hulme. A.C., 1981 Food Science and Technology. Volume I, Academic Press, London Gran Bretaña , pp. 371-381.
 - Lacroix, B. Uttara. (2000) Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of Food products a review. *Food Research International*. 33, 719-724.
 - Lagunas-Solar, M.C. (1995) Radiation Processing of Foods: An Overview of Scientific. Principles and Current Status, *Journal of Food Protection*. 1995, 58:2 pp 186-192.
-

-
- MINollet Leo. Food Analysis by HPLC . ed Marcel N.Y., Dekker 1992
 - Macrae. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition Gran Bretaña. Academic Press, Volumen I 1993, pp 289-295.
 - Morton Satin. 1997, La irradiación de los Alimentos. Editorial: Acribia, Zaragoza España. Pp 115-116, 137-140.
 - Murray David. R, 1990 Biology of Food Irradiation Editorial: Research Studies Press, England..
 - Norma Oficial Mexicana NOM-033-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Irradiación de Alimentos- Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios.
 - Phillip, T y Chen, T.S., 1988, Separation and Quantitative Analysis of Some Carotenoid Fatty Acid Esters of Fruits by Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography*, 435 113-126.
 - Rashida, E. El Bulk, El Fadil E. Babiker y Abdullahi H. El Tinay, 1997, Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening, *Food Chemistry*, 59, 3, 395-399.
 - Ruiz, J., y Ruiz, L.F. 2000 Efecto de la Irradiación Gamma de Cobalto 60 en el Deterioro Químico de la pulpa de Aguacate Congelada. Tesis Licenciatura, UNAM, México.
 - Salunkhe, D.K., y S.S. Kadam, 1995, Handbook of Fruit Science and Technology Production, Composition, Storage and Processing, Marcel Dekker Inc., EUA,. p. 419-436.
-

-
- Sendra, E.M., Capellas, y B., Guamis, 1996 Food Irradiation General aspects. *Food Science and Technology* (2) 1-11.
 - Seymour, J.E. Taylor. 1993, Biochemistry of fruit Ripening, Editorial Chapman & Hall London, pp 243-245.
 - Southgate, D.A.T, Determination of Food Carbohydrates, Editorial Elsevier Science Publishers 2ª edición 1991. pp. 137-138
 - Thorne, Stuart, Food Irradiation 1991. Elsevier Science Publishing Co. Inc. Londond and New York. pp. 286-290
 - Thomas, Austin.C, y Marguerite Beyers, 1979, γ -Irradiation of Subtropical Fruits. A Comparison of the Chemical Changes Occurring during Normal Ripening of Mangoes and Papayas with Changes. *J. Agric. Food Chem.* 27 (1) 1979 157-163.
 - Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A., Luo Ding., Mujumdar, A.S., 2002, Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*, 51 21-26
 - Yusof Salmah y Suhaila Mohamed, 1987, Physico-chemical Changes in Guava (*Psidium guajava* L.) During Development and Maturation. *J Sci Food Agric* 1987, 38, 31-39.
 - Zhao, M., Moy, J., y Paull, R.E., Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin, *Postharvest Biology and Technology* 8 (1996) 209-222
-

ANEXO

Tratamiento estadístico para cada una de las pruebas de estabilidad

Análisis de varianza de la determinación de ácido ascórbico de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	47088.268	3	15696.08	1.35	0.293	3.23
Error	185915.829	16	11619.73			
Total	233004.098	19				

Análisis de varianza de la determinación de ácido ascórbico de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura refrigeración

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	233618.5538	3	77872.85	3.721	0.022	2.94
Error	585864.271	28	20923.72			
Total	819482.8248	31				

Análisis de varianza de la determinación de beta caroteno de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	0.014231195	3	0.00474	6.668	0.0026	3.09
Error	0.014226763	20	0.00071			
Total	0.028457959	23				

Análisis de varianza de la determinación de beta caroteno de guayabas irradiadas almacenadas a temperatura refrigeración

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	0.024482903	3	0.00816	3.850	0.0184	2.90
Error	0.067818925	32	0.00211			
Total	0.092301828	35				

Análisis de varianza de la determinación de fructosa en guayabas irradiadas almacenadas a temperatura ambiente

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	4.320105955	3	1.440	0.855	0.482	3.09
Error	33.83495816	20	1.691			
Total	38.15506411	23				

**Análisis de varianza de la determinación de fructosa en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura refrigeración**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	22.72098174	3	7.573	1.229	0.315	2.90
Error	197.4751899	32	6.171			
Total	220.1961717	35				

**Análisis de varianza de la determinación de glucosa en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	2.415451302	3	0.805	0.849	0.482	3.098
Error	18.94662324	20	0.947			
Total	21.36207454	23				

**Análisis de varianza de la determinación de glucosa en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura refrigeración**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	8.058675653	3	2.686	0.547	0.653	2.901
Error	157.0568804	32	4.908			
Total	165.115556	35				

**Análisis de varianza de la determinación de sacarosa en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	10.34774855	3	3.449	1.088	0.376	3.098
Error	63.35506065	20	3.167			
Total	73.7028092	23				

**Análisis de varianza de la determinación de sacarosa en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura refrigeración**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	9.137351949	3	3.045	0.549	0.652	2.901
Error	177.3400173	32	5.541			
Total	186.4773692	35				

**Análisis de varianza de la determinación de fibra cruda en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	8.755511737	3	2.918	1.982	0.157	3.238
Error	23.55461645	16	1.472			
Total	32.31012819	19				

**Análisis de varianza de la determinación de fibra cruda en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	14.78725021	3	4.929	2.062	0.124	2.901
Error	76.46257562	32	2.389			
Total	91.24982583	35				

**Análisis de varianza de la determinación de pectinas en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	5.625911088	3	1.875	1.102	0.36257	2.901
Error	54.44772374	32	1.701			
Total	60.07363483	35				

**Análisis de varianza de la determinación de pectinas en guayabas irradiadas
almacenadas a temperatura refrigeración**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	1.405605694	3	0.468	0.232	0.872	3.098
Error	40.24780541	20	2.012			
Total	41.6534111	23				

**Análisis de varianza de la determinación de ácidos orgánicos en guayabas
irradiadas almacenadas a temperatura ambiente**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	0.016897205	3	0.0056	0.1348	0.938	3.098
Error	0.835282741	20	0.0417			
Total	0.852179947	23				

**Análisis de varianza de la determinación de ácidos orgánicos en guayabas
irradiadas almacenadas a temperatura refrigeración**

Variación	$\Sigma\Sigma$ cuadrados	G.L	MS.	F _o	Probabilidad	Valor para F
Entre grupos	0.139751327	3	0.0465	0.972	0.418	2.901
Error	1.533584901	32	0.0479			
Total	1.673336228	35				