

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE RADIACIÓN
GAMMA SOBRE LA CALIDAD DE TRES VARIEDADES DE
PIMIENTO (*Capsicum annuum*) MÍNIMAMENTE PROCESADO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

MARÍA EUGENIA COLLAHUAZO RAMOS
maria.collahuazo@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. CATALINA VASCO Ph.D
catalina.vasco@epn.edu.ec

Quito, agosto 2017

© Escuela Politécnica Nacional 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, María Eugenia Collahuazo Ramos, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

María Eugenia Collahuazo Ramos

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Eugenia Collahuazo Ramos, bajo mi supervisión.

Ing. Catalina Vasco Ph.D

DIRECTOR DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto PIS 14-34 “Aplicación de una tecnología no contaminante -radiación gamma- para extender la vida útil de pimiento (*Capsicum annuum*) entero y mínimamente procesado”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) y el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para continuar. A mis padres Juan Bautista y Lida Victoria que siempre me apoyan y guían mis pasos a través de sus consejos.

Infinitas gracias a mi directora la Ing. Catalina Vasco PhD. por su guía oportuna y consejos, porque más que una tutora y maestra fue una amiga. A la Ing Silvia Valencia por el soporte y apoyo dado al proyecto. Un agradecimiento especial a la Ing Paola Valencia que sin su valiosa ayuda y conocimientos este proyecto hubiera quedado incompleto.

Al Departamento de Cencas Nucleares por recibirme con los brazos abiertos, a Paola Zarate por el apoyo logístico y consejos, a los ingenieros Marco Sinche y Paul Vargas por su ayuda incondicional y recomendaciones oportunas en la parte experimental y escrita de este trabajo.

Paul Guzmán, gracias amor mío por tu apoyo incondicional y por no permitir que me dé por vencida, a tus padres que de alguna manera contribuyeron con un granito de arena para que este sueño se haga realidad.

Al equipo poscosecha: Grecia, Karlita, Patty, Jessy, Daisy y Nathy que día a día me asistieron y ayudaron incondicionalmente en la parte experimental de esta investigación. A mi compañera de proyecto Evelyn Granja porque juntas pasamos y aprendimos grandes cosas. También muchas gracias a ustedes Silvita Caiza y Fabián Escobar por su colaboración y cariño.

Erika Ruiz, Natalia Espinoza y Héctor Roldan mil gracias por su amistad incondicional durante toda la carrera, por todos los momentos que compartimos y las grandes experiencias que vivimos juntos. Que nuestra amistad perdure y se fortalezca en el tiempo, los quiero y llevo en el corazón. Ruth M., Laura A., Carlita C., Carlita S., Mafer C., William J. y Roberto G. gracias por su amistad.

DEDICATORIA

*A mi hermano Juan David Collahuazo Ramos,
“Atrévete a soñar la vida que has soñado para ti.
Ve hacia adelante y haz que tus sueños se hagan realidad”.*

*A mis sobrinas Malena Noemí y Génesis Saray,
“que sus sueños se conviertan en metas y sus metas en realidad”.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xx
INTRODUCCIÓN	xxi
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Procesamiento del pimiento	1
1.1.1. Pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	1
1.1.1.1. Generalidades	1
1.1.1.2. Clasificación taxonómica y descripción botánica	1
1.1.1.3. Clasificación y variedades	3
1.1.1.4. Cosecha, Postcosecha y Almacenamiento	5
1.1.1.5. Valor nutricional	7
1.1.2. Alimentos IV gama	8
1.1.2.1. Operaciones unitarias de los productos IV gama	10
1.1.2.2. Fisiología de los productos mínimamente procesados	17
1.1.2.3. Parámetros de calidad de los productos mínimamente procesados	20
1.1.2.4. Calidad Nutricional	23
1.2. Uso de tecnologías emergentes en productos de IV gama	26
1.2.1. Irradiación de alimentos	27
1.2.1.1. Irradiación gamma y objetivos de la irradiación de alimentos	29
1.2.1.2. Ventajas y Desventajas	31
1.2.1.3. Radiación gamma en productos IV gama	31
2. PARTE EXPERIMENTAL	33
2.1. Determinación de la mejor de la dosis de irradiación gamma sobre la calidad poscosecha de la variedad más radiosensible de pimiento cortado.	33
2.1.1. Caracterización del pimiento	33

2.1.1.1.	Atributos físicos	33
2.1.1.2.	Atributos químicos	34
2.1.2.	Procesamiento para elaborar pimienta de IV gama, irradiación gamma y almacenamiento	35
2.1.3.	Diseño experimental	38
2.1.4.	Evaluación de la calidad global	38
2.1.4.1.	Pérdida de peso	38
2.1.4.2.	Firmeza	39
2.1.4.3.	Evaluación de la calidad visual	39
2.1.4.4.	Evaluación sensorial	40
2.2.	Evaluación del efecto combinado de la radiación gamma y el uso de empaques en la calidad pososecha de 3 variedades de pimienta de IV gama	41
2.2.1.	Procesamiento del pimienta de IV gama, irradiación gamma y almacenamiento	41
2.2.2.	Diseño experimental	42
2.2.3.	Evaluación de la calidad	42
2.2.3.1.	Parámetros físicos-químicos y calidad sensorial global	42
2.2.3.2.	Análisis microbiológicos	43
2.2.3.3.	Determinación de la concentración de CO ₂ en el interior del empaque	43
2.3.	Estudio del efecto de la radiación gamma sobre la calidad pososecha de una mezcla de pimientos cortados	43
2.3.1.	Procesamiento del pimienta de IV gama, irradiación gamma y almacenamiento	43
2.3.2.	Evaluación de la calidad	44
2.4.	Determinación del efecto de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos	44
2.4.1.	Muestreo	44

2.4.2.	Determinación de vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos	45
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1.	Determinación de la mejor dosis de irradiación para conservar la calidad poscosecha de la variedad más radiosensible de pimiento cortado	46
3.1.1.	Caracterización físico-química de la materia prima	46
3.1.1.1.	Parámetros físicos	46
3.1.1.2.	Parámetros químicos	47
3.1.2.	Pérdida de peso	48
3.1.3.	Firmeza	51
3.1.4.	Evaluación de la calidad visual	54
3.1.5.	Evaluación de la calidad sensorial	58
3.2.	Evaluación del efecto combinado de la irradiación gamma y el uso de empaques en la calidad poscosecha de 3 variedades de pimiento de IV gama	62
3.2.1.	Parámetros físicos	62
3.2.1.1.	Pérdida de peso	62
3.2.1.2.	Firmeza	66
3.2.2.	Parámetros químicos	69
3.2.2.1.	Contenido de sólidos solubles totales (STT)	69
3.2.2.2.	pH y acidez titulable	71
3.2.3.	Concentración de CO ₂ en el interior del empaque	73
3.2.4.	Calidad microbiológica	75
3.2.5.	Calidad visual global	77
3.2.6.	Calidad sensorial	79
3.3.	Evaluación del efecto de la radiación gamma sobre la calidad poscosecha de una mezcla de pimientos cortados	81
3.3.1.	Parámetros físicos	82
3.3.2.	Parámetros químicos	84

3.3.3.	Concentración de CO ₂ en el interior del empaque	85
3.3.4.	Calidad microbiológica	86
3.3.5.	Calidad visual global	88
3.3.6.	Calidad sensorial	90
3.4.	Determinación del efecto de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos	91
3.4.1.	Compuestos fenólicos	92
3.4.2.	Vitamina C	94
3.4.3.	Carotenoides	97
3.4.4.	Compuestos bioactivos en una mezcla de pimientos	99
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
4.1.	Conclusiones	102
4.2.	Recomendaciones	103
5.	BIBLIOGRAFÍA	104

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Clasificación de los pimientos dulces de acuerdo a características comerciales y agronomicas	5
Tabla 1.2.	Contenido nutricional de tres variedades de pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	7
Tabla 1.2.	Contenido nutricional de cada una de las variedades de pimiento (<i>Capsicum annuum</i>) continuación (...)	8
Tabla 1.3.	Descripción de las diferentes gamas de los alimentos	9
Tabla 1.4.	Permeabilidades al dióxido de carbono y oxígeno de diferentes materiales de empaque usados en los PMP	15
Tabla 1.5.	Límites microbiológicos permitidos en productos de IV gama (UFC/g)	23
Tabla 1.6.	Descripción de los tres tipos de radiación ionizante	29
Tabla 1.7.	Descripción de las aplicaciones y las dosis requeridas en la irradiación de alimentos	30
Tabla 2.1.	Escala de valoración de los atributos de calidad visual utilizada en pimiento mínimamente procesado	39
Tabla 2.2.	Escala de valoración del índice global de calidad visual para pimiento mínimamente procesado	40
Tabla 3.1.	Parámetros físicos de las tres variedades de pimiento	46
Tabla 3.2.	Parámetros químicos de tres variedades de pimiento	48
Tabla 3.3.	Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	54
Tabla 3.4.	Índices globales de calidad visual de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	58
Tabla 3.5.	Resultados de la pérdida de peso (%) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en	

	PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	63
Tabla 3.6.	Resultados de la firmeza (N) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	66
Tabla 3.7.	Resultados del contenido de solidos solubles totales (° Brix) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	70
Tabla 3.8.	Resultados de pH de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	71
Tabla 3.9.	Resultados de acidez titulable de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	72
Tabla 3.10.	Resultados de la concentración de CO ₂ en el interior del empaque (%) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	74
Tabla 3.11.	Índices globales de calidad visual de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	79
Tabla 3.12.	Resultados del contenido solidos solubles (° Brix), pH y acidez	

	titulable de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	85
Tabla 3.13.	Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y de mohos y levaduras (UFC/g) de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	87
Tabla 3.14.	Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	88
Tabla 3.15.	Índices globales de calidad visual de la mezcla de pimientos cortados irradiados a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	89
Tabla AVI.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro pérdida de peso de los factores dosis de radiación (250, 500 y 750 Gy) y tiempo de almacenamiento (0,6 y 12 días) del pimiento amarillo mínimamente procedo y almacenado a 5 °C y 90 % HR	129
Tabla AVI.2.	Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro firmeza de los factores dosis de radiación (250, 500 y 750 Gy) y tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) del pimiento amarillo mínimamente procedo y almacenado a 5 °C y 90 % HR	129
Tabla AVII.1.	Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días.	130
Tabla AVIII.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo apariencia general del pimiento amarillo mínimamente procesado	131
Tabla AVIII.2.	Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo aroma del pimiento amarillo mínimamente procesado.	131
Tabla AVIII.3.	Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo dureza del pimiento amarillo mínimamente procesado.	131
Tabla AVIII.4.	Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color del pimiento amarillo mínimamente procesado.	132

Tabla AVIII.5.	Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo presencia de sabores y olores extraños del pimiento amarillo mínimamente procesado.	132
Tabla AIX.1.	Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y mohos y levaduras (UFC/g) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	133
Tabla AIX.1.	Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y mohos y levaduras (UFC/g) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días. Continuación (...)	134
Tabla AIX.2.	Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento verde mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	134
Tabla AIX.3	Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	134
Tabla AIX.4.	Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento rojo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	135
Tabla AX.1.	Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento verde mínimamente procesado y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días.	136
Tabla AX.2.	Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	137
Tabla AX.3.	Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento rojo mínimamente procesado y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	138
Tabla AXII.1.	Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial de la mezcla de pimientos cortados y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	144

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Corte transversal de un fruto de pimiento con sus principales partes	2
Figura 1.2.	Pimientos picantes “chiles”, “chilis” o “guindillas”	3
Figura 1.3.	Clasificación de los pimientos dada por su relación ancho/largo	4
Figura 1.4.	Gráfico de la I a la V gama de alimentos, de izquierda a derecha	9
Figura 1.5.	“Radura” símbolo internacional de radiación de alimentos	28
Figura 2.1.	Diagrama de bloques del procesamiento del pimiento (<i>Capsicum annuum</i>) mínimamente procesado	36
Figura 2.2.	Disposición de bandejas de pimiento de iv gama en el interior de la cámara de la fuente de Co-60	37
Figura 3.1.	Comportamiento de la variable pérdida de peso (%) de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado, irradiadas a dosis de 250, 500 y 750 Gy y de un control (sin irradiar) y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	49
Figura 3.2.	Gráficos de medias en intervalos LSD de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para la variable pérdida de peso de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR (n=6)	50
Figura 3.3.	Evolución de la variable firmeza (N) de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado, irradiadas a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	51
Figura 3.4.	Gráficos de medias en intervalos lsd de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para la variable firmeza de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR (n=6)	52
Figura 3.5.	Gráficos de medias en intervalos LSD de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo turgencia del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR (n=6)	55

Figura 3.6.	Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo marchitez del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=6)	56
Figura 3.7.	Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo presencia de patógenos en el pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=6)	57
Figura 3.8.	Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo apariencia general de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=12)	59
Figura 3.9.	Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo dureza de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=12)	60
Figura 3.10.	Evolución de la variable pérdida de peso (%) de las variedades de pimiento (a) verde, (b) amarillo y (c) rojo mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	65
Figura 3.11.	Evolución de la variable firmeza (N) de las variedades de pimiento (a) verde, (b) amarillo y (c) rojo mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	67
Figura 3.12.	Evolución de la variable pérdida de peso (%) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	82
Figura 3.13.	Evolución de la variable firmeza (N) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)	83
Figura 3.14.	Evolución de la concentración de CO ₂ en el interior del empaque (%) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 gGy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=3)	86
Figura 3.15.	Bandejas con mezcla de pimientos cortados (a) control y (b) irradiado a 250 Gy y almacenados a 5 °C y 90 % de HR después de 12 días. Flechas en rojo indican zonas de	

	ablandamiento.	90
Figura 3.16.	Contenido de compuestos fenólicos de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=5)	93
Figura 3.17.	Contenido de vitamina C de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=3)	95
Figura 3.18.	Contenido de β -carotenos de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=3)	98
Figura 3.19.	Contenido de compuestos fenólicos (a), vitamina C (b) y carotenoides (c) de la mezcla de pimiento cortados irradiados a 250 Gy y la mezcla control almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días	101
Figura AII.1.	Analizador rápido de CO ₂ /O ₂ (post harvest research, modelo cg-1000, usa) provisto de un detector infrarrojo	125
Figura AXI.1.	Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo pérdida de peso (%) (n=6)	139
Figura AXI.2.	Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo firmeza (N) (n=6)	140
Figura AXI.3.	Gráficas de medias e intervalos LSD de los atributos (a) pH, (b) sólidos solubles totales y (c) acidez titulable del factor tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) (n=6)	141
Figura AXI.4.	Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo concentración de CO ₂ en el interior del empaque (%) (N) (n=3)	142
Figura AXI.5.	Gráficas de medias e intervalos LSD de los atributos (a) turgencia, (b) marchitez y (c) presencia de patógenos del factor tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) (n=6)	143

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Formato utilizado para la evaluación de la calidad sensorial a través de una prueba descriptiva con escalas no estructuradas.	124
ANEXO II Condiciones de operación del analizador de gases postharvest research para determinar la concentración de CO ₂ en el interior del empaque	125
ANEXO III Determinación de compuestos fenólicos	126
ANEXO IV Determinación de vitamina C	127
ANEXO V Determinación de carotenoides	128
ANEXO VI Análisis de varianza de los parámetros de calidad para la determinación de la mejor dosis de irradiación	129
ANEXO VII Resultados del análisis visual y sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % HR por 12 días.	130
ANEXO VIII Tablas de análisis de varianza ANOVA para cada uno de los atributos de calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % HR por 12 días	131
ANEXO IX Resultados de la calidad microbiológica y de los atributos de calidad visual de tres variedades de pimiento mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % HR por 12 días.	133
ANEXO X Resultados de los atributos de calidad sensorial de tres variedades de pimiento mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % HR por 12 días.	136
ANEXO XI Gráficas LSD de los resultados de cada uno de los atributos de calidad de la mezcla de pimientos mínimamente procesados y almacenados a 5 °C y 90 % HR por 12 días.	139

ANEXO XII

Resultados de los atributos de calidad sensorial de la mezcla de pimientos mínimamente procesados y almacenados a 5 °C y 90 % HR por 12 días.

144

GLOSARIO

Capsaicina: Es una oleorresina conformada por amidas ácidas derivadas de la vainillilamina, provocan el sabor picante de las especies *Capsicum* y se encuentran en el tejido placentario (Vásquez-Flota et al., 2007).

Pedúnculo: Tallo o rabillo que sujeta la hoja, flor o el fruto de una planta la tallo (Reche, 2010).

Polifenoloxidasas: Enzima causante del pardeamiento enzimático de algunos frutos y vegetales. Su centro activo está formado por dos átomos de cobre con tres histidinas cada uno y a su alrededor posee aminoácidos hidrofóbicos con anillo aromáticos (Toivonen y Brummell, 2008).

Polinización autógama: Es cuando el transporte de polen, y por ende, la fecundación, ocurre entre flores del mismo individuo (Reche, 2010, p. 35).

Turgencia: Presión ejercida por el agua contenida en las vacuolas contra la pared celular (Toivonen y Brummell, 2008)

RESUMEN

En la presente investigación se estudió el efecto de la aplicación de irradiación gamma sobre la calidad poscosecha de tres variedades de pimiento (*Capsicum annuum*) mínimamente procesado.

Pimientos de tres variedades fueron cosechados, lavados desinfectados, procesados en tiras y empacados. En primer lugar se evaluaron las dosis de irradiación 0, 250, 500 y 750 Gy con el pimiento amarillo que fue la variedad más radiosensible. Posteriormente se evaluó la combinación de irradiación gamma y dos tipos de empaque sobre la calidad del pimiento cortado por 12 días a 5 °C y 90 % de HR. Finalmente con la mejor dosis y el mejor empaque se evaluó la calidad de la mezcla de las tres variedades de pimiento cortado. Las variables de salida analizadas fueron: parámetros físico-químicos, calidad visual, sensorial y microbiológica y generación de CO₂ en el interior del empaque. Adicionalmente se determinó el contenido de compuestos fenólicos por espectrofotometría y de vitamina C y carotenoides por cromatografía líquida a los 0 y 12 días de almacenamiento para cada una de las variedades de pimiento, como de la mezcla de pimientos cortados.

Del estudio se determinó que la mejor dosis fue la de 250 Gy y la combinación con la bandeja PET ayudó a mantener la calidad de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado y de la mezcla de pimientos cortados, pues a los 12 días de almacenamiento se categorizaron a las tres variedades y al mix con calidad A, es decir que aun mantenían las características iniciales. Con respecto al contenido de compuestos bioactivos, en general, se tuvo un incremento de compuestos fenólicos en los pimientos de color verde y rojo y en la mezcla de pimientos y una disminución en el contenido de vitamina C y carotenoides en las tres variedades de pimiento y el mix, durante el almacenamiento.

Por lo tanto, se determinó que el uso de la irradiación en combinación con una barrera como lo es el empaque permite conservar las características de calidad del pimiento cortado a los 12 días de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha incrementado la demanda de vegetales de IV gama o mínimamente procesados, especialmente en países de Europa, Asia y en Estados Unidos (FAO, 2010, pp. 2-4). La demanda creciente de productos mínimamente procesados se debe a que presentan diferentes ventajas como menor tiempo de preparación y un menor desperdicio a nivel doméstico que los vegetales enteros (Parzanese, 2011).

Los vegetales de IV gama son productos que han sido sometidos a un mínimo procesamiento como: pelado, cortado o troceado y que conservan la calidad nutricional y organoléptica, siendo aptos para un consumo en fresco (Monteiro y Cannon, 2015, p.4). A pesar de un mínimo procesamiento, el corte trae como consecuencia un rápido deterioro de los vegetales. Al ocasionar el aumento de: la tasa de respiración, la transpiración, la actividad enzimática y la proliferación microbiana, que llevan a un acortamiento de la vida en estante del producto (Martin y Soliva, 2011, p. 87).

Para reducir el deterioro y mejorar la conservación de productos en la actualidad se emplean un sin número de tecnologías complementarias a la refrigeración que garantizan productos inocuos y seguros para el consumo en fresco. Entre estas tecnologías aplicadas están: tratamientos químicos, tratamientos físicos y el uso de tecnologías emergentes como pulsos de luz, pulsos eléctricos, altas presiones e irradiación (Parish, Beuchat, Suslow, Harris y Garret. 2003).

La irradiación de alimentos es una tecnología emergente que según la FDA (2014) “mejora la seguridad y la vida útil de los alimentos en el anaquel, mediante la disminución o la eliminación de los microorganismos”. La irradiación gamma sola o en combinación con otros tratamientos, se utiliza como un medio para extender la vida útil de los productos y reducir la carga microbiana, ralentiza procesos metabólicos y enzimáticos de los productos IV gama, conservándose así la calidad poscosecha (Fan y Sommers, 2013, p.150).

En la actualidad, al pimiento se lo comercializa como hortaliza en fresco, al granel o en unidades empacadas en bandejas, pero no se ha encontrado pimiento mínimamente procesado. Una característica importante en el pimiento, es su contenido de compuestos bioactivos como: la vitamina C y la provitamina A. Estas dos vitaminas son consideradas poderosos antioxidantes, que trabajan juntos para neutralizar el efecto de los radicales libres (Simonne et al, 1997, p.299; Rodríguez-Burruezo, González-Mas y Nuez, 2010, p. 447). Además los pimientos contienen compuestos fenólicos que podrían actuar como antioxidantes para reducir el riesgo de enfermedades degenerativas como cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y enfermedades neurodegenerativas (Zhang y Hamauzu, 2003, p 22).

El objetivo de este proyecto fue mantener la calidad y vida útil de tres variedades de pimiento aplicando una tecnología emergente, como es la irradiación combinada con el uso de dos tipos de empaque.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. PROCESAMIENTO DEL PIMIENTO

1.1.1. PIMIENTO (*Capsicum annuum*)

1.1.1.1. Generalidades

El pimiento es un cultivo originario de Latinoamérica, específicamente de la zona de Bolivia y Perú (Higón, 2002, p. 78). Es una de las solanáceas que más se cultiva en el mundo y es consumida en fresco o como una especia (Brummell y Pathirana, 2007, p. 393). El pimiento llama la atención del consumidor por su gama de colores (verdes, rojos, amarillos anaranjados entre otros) y también por su alto contenido de antioxidantes como: vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos (Suquilanda, 2006, p. 69).

1.1.1.2. Clasificación taxonómica y descripción botánica

Desde el punto de vista botánico se describe la taxonomía de la siguiente manera (Mendoza, 2006):

Reino: Vegetal
Clase: Angiospermas
Subclase: Dicotiledónea
Orden: Tubiflorae
Familia: Solanacea
Género: Capsicum
Especie: *Capsicum annuum L.*

El pimiento posee un ciclo de cultivo anual que con los debidos cuidados se puede extender hasta dos años (Suquilanda, 2003, p.71). Su tallo es de

consistencia herbácea y al alcanzar la altura de 40 cm se comienza a ramificar y es necesario el tutorado del tallo para evitar el contacto con el suelo y que se quiebre. La planta de pimiento puede llegar a una altura de 1 m en cultivos al aire libre y hasta 2 m en invernadero (Reche, 2010, p. 30).

La planta de pimiento cuenta con una raíz principal pivotante que en estado adulto puede llegar a medir 1 m. Sus hojas son de tipo lampiña y lanceolada cuyo haz es suave y liso al tacto (Reche, 2010, p. 33; Suquilanda, 2003, p.71). Las flores son de tamaño pequeño (2-3 cm), de color blanco lechoso que nacen de manera solitaria en cada uno de los nudos del tallo, son hermafroditas es decir, tienen una polinización autógena y su floración inicia entre los 25 a 30 días desde la plantación (Higón, 2002, p. 80).

El pimiento es un fruto tipo baya hueca en forma de cápsula, en cuyo interior se encuentran las semillas insertas en una placenta cónica y de disposición central como se ilustra en la Figura 1.1. Su piel es lisa de coloración verde al inicio y de color al madurar, la coloración depende de la variedad. En el ápice del fruto se notan normalmente 3 o 4 lóculos. La forma, el tamaño, el grosor del pericarpio y el peso del pimiento cambian dependiendo de la variedad cultivada, condiciones climáticas, tipo de suelo, entre otros (Berrios, Arredondo y Tjalling, 2007, p. 20; Reche, 2010, p. 35).

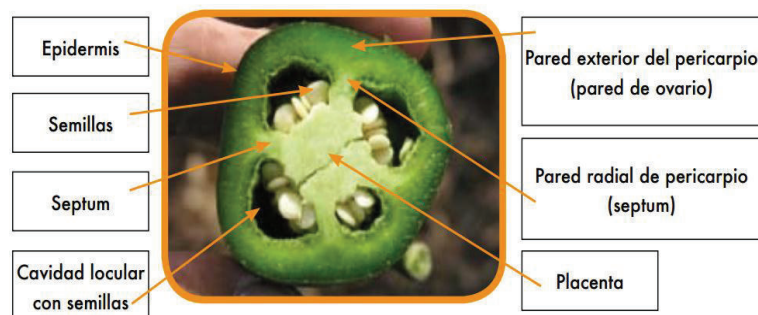


Figura 1.1. Corte trasversal de un fruto de pimiento con sus principales partes (Berrios et al., 2007, p. 20)

El pimiento es apetecido por sus propiedades culinarias (Ortega, 2009, p. 35). Este se consume principalmente en fresco y es parte de una variedad de

ensaladas y guisos. Industrialmente es materia prima de encurtidos, deshidratados y congelados (Mason, 2014, p. 51; Reche, 2010, p. 282). El pimiento rojo se usa para: pimentón (paprika), extracción de oleorresinas que se utilizan en productos farmacéuticos (Grate, Graham y Burt, 2016), y extracción de capsantina (pigmento que produce el color rojo vivo, anaranjado o amarillo) que es utilizado en la industria avícola para dar color a las yemas de los huevos y color de las aves (P&C Maderas, 2013, p. 4; Ramalho, Monteiro, y Finger, 2016, p. 10)

1.1.1.3. Clasificación y variedades

En la actualidad al pimiento se lo clasifica por la forma, el tamaño, el color o por el sabor de su carne (Reche, 2010, p. 45). Serrano Cermeño menciona que se destacan dos grupos que son: los pimientos picantes y los dulces (2011, p. 59).

- **Variedades de sabor picante:** Son ampliamente cultivadas en Sudamérica y se caracterizan por ser frutos largos y delgados de tamaño pequeño mostrados en la Figura 1.2. Generalmente se les conoce como “chilis”, “chiles” “ajíes” o “guindillas” (Crosby, 2008, p. 224; Reche, 2010, p. 29). Su sabor picante se debe a la presencia de capsaicina que está concentrada en la placenta y las semillas (Milla, 2006, p.22).

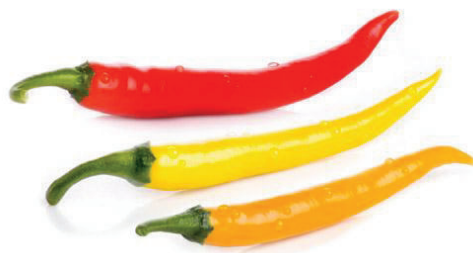


Figura 1.2. Pimientos picantes “chiles”, “chilis” o “guindillas”
(Berrios et al., 2007, p. 15)

- **Variedades de sabor dulce:** Caracterizados por su bajo nivel de capsaicina. Son pimientos de gran tamaño, con carne gruesa y de textura crujiente (Brummell y Pathirana, 2007, p. 393; Crosby, 2008, p. 225).

Los pimientos dulces, por su tamaño, puede ser clasificados por códigos: GG (frutos muy grandes), G (frutos grandes), M (frutos medianos) y P (frutos pequeños) (Reche, 2010, p. 45). Otra clasificación muy conocida relaciona la longitud y el diámetro del fruto tal como se ilustra en Figura 1.3 (Milla, 2006, p. 24).

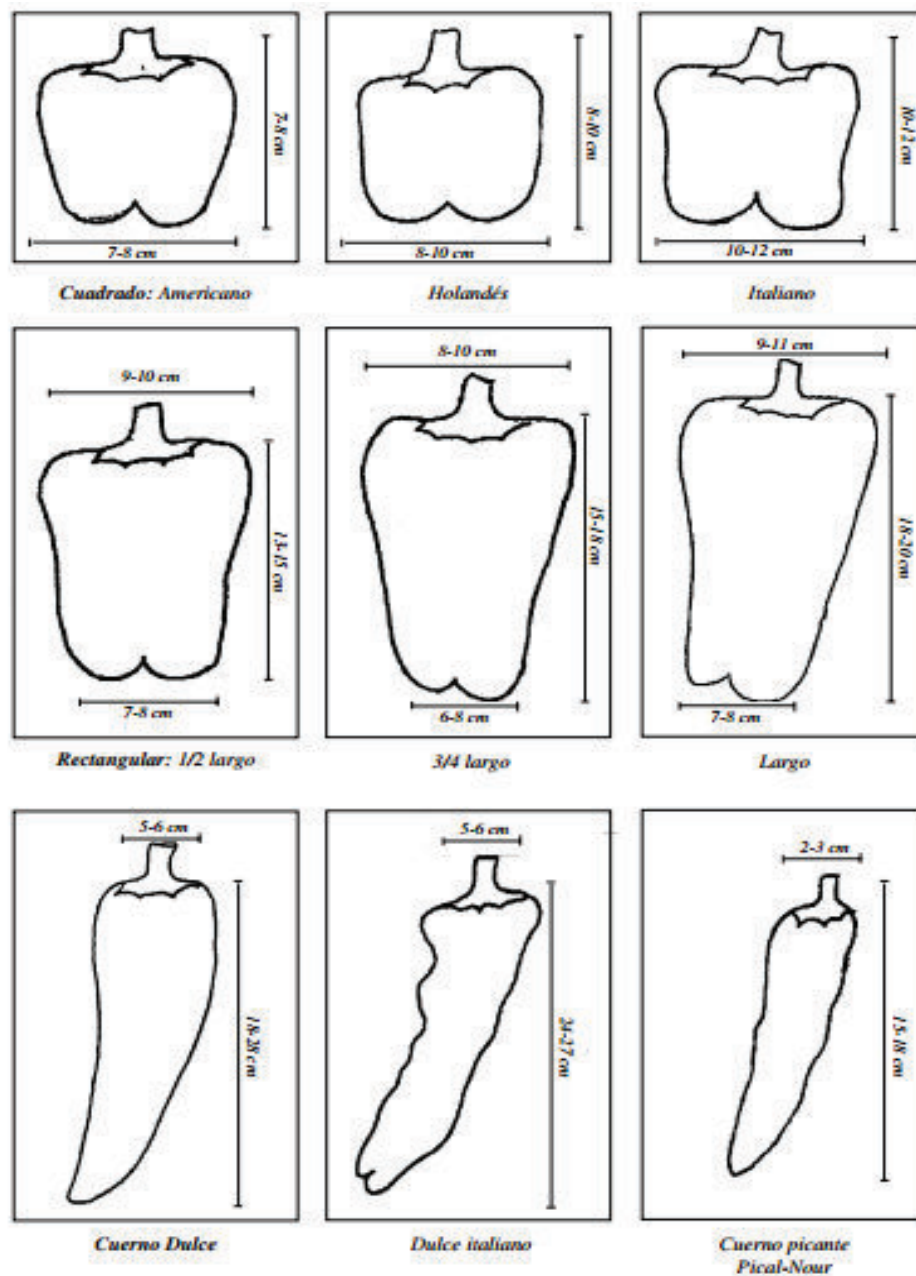





Figura 1.3. Clasificación de los pimientos dada por su relación ancho/largo (Milla, 2006, p. 24)

De acuerdo con las características comerciales y agronómicas del cultivo, las variedades de pimiento dulce se clasifican tal como se describe en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación de los pimientos dulces de acuerdo a características comerciales y agronómicas

Tipo	California	Lamuyo	Italian sweet
Descripción:	Frutos de sección cuadrangular donde la longitud es similar a la anchura. Su carne es más o menos gruesa. Tiene hombros muy pronunciados y marcados. Los hay de color verde, rojo y amarillo.	Frutos de gran tamaño, de sección rectangular donde la longitud es mayor que la anchura. De carne gruesa. Los hay de color verde y rojo	Frutos de forma alargada, estrechos y puntiagudos de sección triangular. Su carne es fina y de color verde que vira ligeramente a rojo.
Peso medio (g)	150 – 200	200 - 300	75 – 125
Longitud (cm)	7 – 13	15 – 20	15 – 25
Diámetro o anchura (cm)	6 – 10	5,5 - 7,0	4 – 6
Espesor carne (cm)	0,4 - 0,5	0,5 - 0,75	0,4
Numero de lóculos	2, 3 o 4	3 o 4	2, 3 o 4
Fotografías (Reche, 2010)			

(Reche, 2010, pp. 36-49)

1.1.1.4. Cosecha, Postcosecha y Almacenamiento

El pimiento es un fruto no climatérico (El-Ramady, Domokos-Szabolesy, Abdalla, Taha, y Fari, 2015, p. 319), por lo tanto, no cambiará su color una vez

recolectado. Es así que se cosecha en color verde o si se quiere otra coloración se deja que cambien de color en la misma planta y se procede a la recolección (Lin y Saltveit, 2012, p. 64; Thompson, 2003, p. 198).

La cosecha del pimiento se inicia entre los 70 y 100 días después del trasplante y se la efectúa a tempranas horas de la mañana o al atardecer, para así evitar principalmente la deshidratación que causaría el ablandamiento del fruto (Suquilanda, 2003, p. 87). La cosecha es manual y con la ayuda de tijeras de podar para evitar daños en el pedúnculo y en la planta. La longitud óptima del pedúnculo está entre los 2 y 3 cm desde el cáliz (Reche, 2010, p. 267; Serrano Cermeño, 2011, p. 218).

Para remover el polvo y la suciedad provenientes del campo se efectúa un lavado con agua clorada, cuya concentración no debe ser mayor a 200 ppm (Lin y Saltveit, 2012, p. 65). Luego es necesario eliminar el exceso de humedad mediante el secado que, por lo general, es con ventilación natural, para evitar el ataque y proliferación de hongos y bacterias (Reche, 2010, p. 277; Siddiqui, 2002, p. 28).

Es necesario hacer una selección y clasificación donde se descartan los frutos que presenten golpes, marchitez, rajaduras en la epidermis, daños por virus, bacterias o plagas (Siddiqui, 2002, p. 3). Los frutos en buen estado pasan a ser categorizados en grado I o II, de acuerdo con los requisitos especificados en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1996:2012.

En el almacenamiento, la temperatura de refrigeración, la humedad relativa apropiada y la composición atmosférica óptima de las instalaciones y empaques de almacenamiento son esenciales para reducir las pérdidas postcosecha de los pimientos frescos que están destinados al consumidor (Chakraverty, Mujumdar, Raghavan, y Ramaswamy, 2003, p. 505). Un buen intervalo de temperatura de almacenamiento para los pimientos frescos es de 7 a 13 °C con 90 a 95% de HR para evitar los daños por frío, la maduración acelerada y la pudrición (Lin y Saltveit, 2012, p. 65; Suquilanda, 2003, p. 98).

1.1.1.5. Valor nutricional

Las frutas y verduras se valoran por su contenido nutricional y también por su potencial funcionalidad contra diversas enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas, diabetes y enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson (Deepa, Kaur, George, Singh, y Kapoor, 2007, p. 121).

El pimiento dulce (*Capsicum annuum L.*) es un vegetal importante para el consumo diario en una dieta balanceada. Los pimientos son buena fuente de vitaminas C (60 a 210 mg ácido ascórbico / 100 g de producto fresco) y E, y carotenoides (0,38 a 1,09 mg / 100 g de peso fresco), compuestos fenólicos (9,2 a 15,4 mg GAE / 100 g de peso fresco) y flavonoides (Bosland y Votava, 2012, pp. 83–93; Figueroa Cares et al., 2015, p. 699; Meléndez-Martínez, Vicario, y Heredia, 2004, p. 104; Sun et al., 2007, p. 98). En la Tabla 1.2 se describe el contenido nutricional de cada una de las tres variedades.

Tabla 1.2. Contenido Nutricional de tres variedades de pimiento (*Capsicum annuum*)

Componente	Valores dados por cada 100 g de producto fresco		
	Pimiento verde	Pimiento amarillo	Pimiento rojo
Agua (g)	93,89	92,02	92,21
Energía (kcal)	20	27	31
Proteína (g)	0,86	1,00	0,99
Lípidos totales (g)	0,17	0,21	0,3
Fibra dietética total (g)	1,7	0,9	2,1
Carbohidratos (g)	4,64	6,32	6,03
Azúcares totales (g)	2,4	-	4,2
Cenizas (g)	0,43	0,45	0,47
Calcio (mg)	10	11	7
Hierro (mg)	0,34	0,46	0,43

Tabla 1.2. Contenido Nutricional de cada una de las variedades de pimiento (*Capsicum annuum*) (Continuación...)

Magnesio (mg)	10	12	12
Fosforo (mg)	20	24	26
Potasio (mg)	175	212	211
Sodio (mg)	3	2	4
Zinc (mg)	0,13	0,17	0,25
Vitamina C (mg)	80,4	183,5	127,7
Tiamina (mg)	0,057	0,028	0,054
Riboflavina (mg)	0,028	0,025	0,085
Vitamina A, RAE* (μ g)	18	10	157
β -caroteno (μ g)	208	120	1 624
Vitamina E (mg)	0,37	-	1,58

*Equivalente de la actividad del retinol por sus siglas en ingles (USDA, 2016)

1.1.2. ALIMENTOS IV GAMA

El estilo de vida cada vez más acelerado, hace que el tiempo dedicado a la cocina sea cada vez menor, y por ello sea necesario recurrir a alimentos procesados o a los también denominados alimentos de conveniencia que se identifican como alimentos que han sido total o parcialmente procesados y que responden a la necesidad de disminuir el esfuerzo (mental y físico) y el tiempo empleado en la preparación de los mismos (García González, Varela Moreiras, Alonso Aperte, y AchónTuñón, 2014, p. 11; Martín Cerdeño, 2006, p. 74).

El mercado ofrece actualmente productos de conveniencia en diferentes formatos y que dependiendo del grado de procesamiento se clasifican desde la primera hasta la quinta gama como se describe en la Tabla 1.3 e ilustran en la Figura 1.4.

Tabla 1.3. Descripción de las diferentes gamas de los alimentos

Gama	Descripción	Tiempo de vida útil
I	Son alimentos frescos como frutas y vegetales y aquellos que han sido sometidos a métodos de conservación como: el secado, la salazón y la fermentación.	De 5 a 7 días
II	Dentro de este grupo están las conservas y enlatados, los cuales han sido sometidos a tratamientos térmicos severos para su conservación como la esterilización con temperaturas mayores a los 100 °C. Se envasan en recipientes herméticamente cerrados ya sean latas o en envases de vidrio.	De meses e incluso años
III	Productos vegetales frescos que han sido congelados para su conservación. Se aplica técnicas de congelación y ultra congelación con temperaturas por debajo de -18 °C.	Varios meses
IV	Frutas y vegetales frescos sometidos a un mínimo procesamiento como: pelado, cortado o troceado y que conservan las características similares a un producto entero. Requieren de cadena de frío para su conservación.	De 5 a 10 días
V	Son alimentos que previamente ya han sido cocinados y se comercializan envasados y refrigerados. Se requiere de previo calentamiento en horno o microondas antes de ser consumido.	De 2 a 3 meses

(De Ancos, 2008, p. 11; García González et al., 2014, pp. 11–12).

**Figura 1.4.** Gráfico de la I a la V gama de alimentos, de izquierda a derecha

Los productos de IV gama o también conocidos como productos mínimamente procesados (PMP) se definen como cualquier fruta o verdura fresca que haya sido físicamente modificada de su forma original a través de un mínimo procesamiento (lavado, pelado, eliminación de partes no comestibles y corte o troceado) para obtener un producto 100 % comestible que posteriormente se empaqueta y se conserva con cadena de frío (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 1; Monteiro et al., 2015, p. 4).

En toda la cadena productiva de los PMP, desde el procesamiento hasta el almacenamiento, se requiere de una cadena frío con temperaturas de 1 a 5 °C, con esto se asegura que se prolonga el tiempo de vida útil, que para estos productos va desde 5 a 14 días (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 15; Wallace y Walton, 2011, p. 288).

Los productos de IV gama ofrecen al consumidor diferentes ventajas como se describen a continuación (Rotondo, Ferratto y Firpo, 2008, p. 21).

- Proporcionan al consumidor un producto parecido al fresco, con un mayor tiempo de vida útil y que garantiza la inocuidad del mismo.
- Mantienen la calidad nutricional y sensorial.
- Al ser de menor tamaño reducen el espacio durante el transporte y almacenamiento.
- Menor tiempo en la preparación de comidas.
- Se genera menor desperdicio a nivel doméstico comparado con las hortalizas enteras.
- El consumidor tiene la posibilidad de inspeccionar la calidad del producto antes del uso.
- Es una opción de dar valor agregado a las frutas y vegetales frescos.

1.1.2.1. Operaciones unitarias de los productos IV gama

Para el procesamiento se recomienda que la planta y todas sus estructuras (como paredes, techos, suelos, ventanas, puertas, respiraderos y drenajes) estén diseñadas de tal manera que faciliten la limpieza y protejan al producto de contaminaciones cruzadas, Así también las superficies de contacto con los alimentos deben ser lisas y de materiales inocuos de fácil limpieza y que eviten la acumulación de suciedad y de microorganismos (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 342).

Los PMP requieren ser elaborados bajo refrigeración con temperaturas de entre 2 y 5 °C, y con la aplicación de las buenas prácticas de manufactura. En la Unión Europea se ponen en práctica los principios de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) para garantizar la calidad e inocuidad de los PMP, además recomienda aplicar las normas ISO 9000 (Artés-Hernandez, Conesa y Artés, 2007, pp. 131-132).

- **Recepción de la materia prima**

En la recepción de la materia prima se realiza una inspección visual de los pimientos y se evalúan características organolépticas, estado de madurez y también la temperatura con la que llegan los frutos del campo. Tener una materia prima óptima facilita no tener problemas en los posteriores procesos (Parzanese, 2011, p. 37). Para la aceptación o rechazo de un lote se debe regir a los requisitos establecidos en la normativa de cada país; en el caso de Ecuador está establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, para el pimiento es la NTE INEN 1996:2012. En esta norma de acuerdo a la calidad se clasifica a los pimientos en Grado I y Grado II con un diámetro mayor a 50 mm (Chakraverty et al., 2003, p. 487).

- **Pre-enfriamiento**

El pre-enfriamiento puede prolongar significativamente la vida útil de las frutas y hortalizas frescas, especialmente cuando se trata de grandes cantidades de productos cosechados a temperaturas cálidas. El pre-enfriamiento puede hacerse de diferentes maneras como: hydrocooling (por inmersión o aspersión), contacto directo con hielo, enfriamiento por vacío (vacuum cooling) y aire forzado (Chakraverty et al., 2003, pp. 508–517).

Es necesario pre-enfriar los productos antes del procesamiento, para ayudar a frenar la actividad fisiológica del producto después de la recolección y así

disminuir el marchitamiento y la deshidratación, además que en el procesamiento ayuda a reducir los daños generados por el corte. Para el pimiento se aconseja pre-enfriar a 5 °C con aire forzado (Artés-Hernandez, Conesa y Artés, 2007, p.132; Conesa, 2008, p. 173).

- **Lavado y desinfección**

El lavado de los productos frescos es un paso importante para eliminar la suciedad y tierra del campo, además ayuda a mejorar la apariencia del producto, reducir la temperatura y reducir los cambios fisiológicos. El lavado también reduce la carga microbiana de la superficie de los productos que afecta directamente a la calidad, la vida útil y la inocuidad (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 354).

Varios factores influyen en la eficiencia del lavado: tipo de superficie del producto (lisa o rugosa), flora microbiana presente (células vegetativas o esporas), y la calidad de agua de lavado a usar (carga biológica, pH, dureza del agua). Los agentes de lavado que comúnmente se usan son: hipoclorito de sodio, cloruro de sodio acidificado, ozono y ácido peroxiacético. Sin embargo para la desinfección de la superficie de las frutas y vegetales es común usar hipoclorito de sodio en concentraciones de 50 a 200 ppm, por su efectividad contra virus, bacterias, hongos, levaduras y protozoos (Sinha, Sidhu, Barta, Wu, y Cano, 2012, p. 154).

Para mantener el producto frío se recomienda que la temperatura del agua de lavado sea de 4 o 5 °C, aproximadamente (Parzanese, 2011, p. 37).

- **Pelado y cortado**

En el pelado se eliminan manualmente todas las partes no comestibles y no deseadas del producto a procesar; en el caso del pimiento se elimina el pedúnculo, los extremos, la placenta y las semillas, que representan entre el 20 y el 30 % del peso fresco inicial (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 132).

La operación de corte causa lesiones en los tejidos y la destrucción de las microestructuras celulares, provocando la pérdida de textura, la pérdida de agua y el pardeamiento. Uno de los ejemplos más concluyentes del efecto del corte fue observado en el kiwi. Las rodajas perdieron alrededor del 50 % de su firmeza inicial en dos días a 10 °C de almacenamiento. Al parecer, este fenómeno se debió a la liberación de enzimas con actividades pectinolíticas y proteolíticas presentes en el tejido lesionado. Los efectos por corte podrían ser minimizados con el uso de cuchillos muy afilados y de refrigeración en el proceso. Es importante desinfectar frecuentemente las mesas y los cuchillos (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 41; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 353) .

Para la reducción de tamaño de los vegetales se tienen diferentes cortes como: tiras, rodajas, cubos, aros entre otros. Esta operación por lo general se realiza con equipos que cuentan con cuchillas giratorias. Estos equipos requieren una limpieza y desinfección meticulosa de forma diaria. Aquí también se aconseja tener las cuchillas siempre afiladas y lavar inmediatamente el producto después del corte (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 132; Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 42).

El lugar donde se efectúan las operaciones de pelado y cortado se considera un área sucia (alto riesgo de contaminación) por la generación de residuos orgánicos. Estos residuos deben ser evacuados inmediatamente hacia zonas destinadas para ello, para evitar la acumulación y contaminación. Estos subproductos son destinados para la alimentación animal o fertilización orgánica (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, pp. 353–354).

- **Inmersión y Secado**

La inmersión es la operación inmediata al corte, donde se sumerge al vegetal cortado con el objetivo de eliminar carga microbiana y los fluidos intracelulares generados por el corte; además, es un punto crítico del procesamiento debido a que determina la calidad, inocuidad y la vida útil de los PMP (Artés-Hernandez et al., 2009, p. 53).

Por lo general, esta operación consta de tres pasos específicos, prelavado, desinfección y enjuague. El agua utilizada en las tres etapas debe ser de excelente calidad y su temperatura deberá estar entre 1 y 5 °C (Conesa, 2008, p. 55). Para la etapa de desinfección, el cloro es el agente químico que ampliamente se usa por su costo y efectividad en concentraciones de 50 y 150 ppm, pero recientemente se han buscado otras alternativas al uso de cloro, pues se lo ha relacionado con la posible formación de compuestos clorados carcinógenos en el agua de inmersión del procesamiento de alimentos (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 133; Barat, Barry-Ryan, Rico y Martin-Diana, 2007, p. 373).

Para el enjuague se usa agua desprovista de cloro con las mismas condiciones de temperatura que la desinfección para eliminar principalmente residuos de cloro. El tiempo para completar las tres etapas no deberá ser mayor a 5 min (Conesa, 2008, p. 55). En esta etapa también se aplican tratamientos de inmersión con agentes químicos que son beneficiosos para inactivar las enzimas liberadas de los tejidos lesionados durante las operaciones de corte, además de ser antimicrobianos y conferir a los PMP estabilidad y durabilidad (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 43–44; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 143).

El exceso de humedad es una condición óptima para el ataque microbiano, de ahí la necesidad de secar el producto. Al finalizar este proceso el producto cortado debe contener apenas 1 % de humedad residual en comparación con el producto sin procesar o ligeramente húmedo en la epidermis (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 55–56). Para el secado se pueden ocupar diversas tecnologías como tamices vibratorios de acero inoxidable, ventilación con aire forzado a temperaturas de 1 °C, o la más común, por centrifugación semiautomática (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 135; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 355).

- **Empacado**

Los materiales de envasado y los métodos utilizados durante todo el proceso deben ser los adecuados para su finalidad. También debe asegurarse de que el

material de envasado sea de grado alimenticio y que no exista la posible migración del material de empaque al producto. En la actualidad existen un sin número de formas y opciones de embalajes, desde una bolsa de plástico estándar de polietileno hasta bandejas, empaques al vacío, cajas, etc. En todos los casos, el tipo de envase debe ser adecuado para su uso y aplicación (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 356).

Los PMP son productos que se consideran vivos y respiran; la tasa de respiración es determinante en la selección de un empaque, así productos que tienen altas tasas de respiración (ejemplo: champiñones, brócoli), requieren materiales de empaque con mayor permeabilidad. La permeabilidad es la velocidad a la que varios materiales de envasado permiten que el dióxido de carbono y el oxígeno pasen a través de sus paredes. La selección de material de embalaje con permeabilidad adecuada es crítica para un buen procesamiento de productos IV gama (Chakraverty et al., 2003, p. 550; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 356). Las permeabilidades de diferentes materiales de empaque se describen en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Permeabilidades al dióxido de carbono y oxígeno de diferentes materiales de empaque usados en los PMP

Tipo de film	Permeabilidad al*	
	Dióxido de carbono (CO ₂)	Oxígeno (O ₂)
Polietileno de baja densidad (LDPE)	7 700 - 77 000	3 900 -13 000
Cloruro de polivinilo (PVC)	4 263 - 8 138	620 - 2 248
Polipropileno (PP)	7 700 - 21 000	1 300 - 6 400
Poliestireno (PS)	10 000 - 26 000	2 600 - 7 700
Polietileno tereftálato (PET)	180-390	52-130

*Permeabilidad expresada como centímetros cúbicos por metro cuadrado por mil por día por atmósfera (cm³/m²/mil/día/atm) (Chakraverty et al., 2003, p. 553).

Para el envasado de los PMP también se cuenta con los efectos beneficiosos del uso de atmósferas modificada (MAP). Los niveles bajos de O₂ y/o enriquecidos de

CO₂, reducen la respiración y disminuyen la producción de etileno, inhiben o retrasan las reacciones enzimáticas, alivian los trastornos fisiológicos y mantienen las características del producto. Es importante conocer los niveles O₂ y CO₂ de exposición de cada producto, la exposición a los niveles fuera de los límites de tolerancia puede conducir a la respiración anaeróbica con la producción de metabolitos indeseables y otros trastornos fisiológicos (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 343).

Se pueden usar varios métodos para modificar la atmósfera en los productos envasados. Éstos son atmósfera modificada pasiva o atmósfera modificada activa. En la pasiva, la atmósfera se modifica como resultado de la propia respiración del producto envasado, es decir, el consumo de O₂ y la generación de CO₂. En la activa, el espacio de cabeza del envase se llena con una concentración conocida de O₂, CO₂ y N₂ (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 48-51; Chakraverty et al., 2003, p. 549).

Para el pimiento mínimamente procesado se recomiendan atmósferas de 3 - 5 kPa de O₂ y 5 - 15 kPa de CO₂; sin embargo bajo ciertas condiciones niveles superiores a 10 kPa de CO₂ causan oscurecimiento y ablandamiento, así también con niveles menores de 1 kPa de O₂ promueven la respiración anaerobia. El pimiento, al tener una baja actividad respiratoria, no debe empacarse en polímeros microperforados ya que aumenta la difusión del vapor de agua del interior al exterior del empaque (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 134; Conesa, 2008, pp. 57-58).

- **Almacenamiento**

Para asegurar la vida útil de los PMP es fundamental mantener una temperatura de refrigeración menor a 5 °C, ya que mantendrá estable la fisiología del producto. Es indispensable que el lugar de almacenamiento de los PMP posea óptimas condiciones de limpieza e higiene y que cuente con los registros de control de

temperatura y humedad (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 135; Parzanese, 2011, p. 39).

1.1.2.2. Fisiología de los productos mínimamente procesados

La fisiología de un producto de IV gama tiene mucho que ver con el procesamiento, debido a que al herir el tejido se desencadena una serie de reacciones metabólicas que aceleran los procesos de maduración y senescencia y resultan en cambios en las propiedades organolépticas del producto (Pérez Pérez y López Malo, 2011, p. 16).

Después de lastimar los tejidos, la respuesta más común del producto cortado es el aumento de la tasa de respiración y la producción de etileno (Hodges y Toivonen, 2008, p. 157).

- **Producción de etileno**

El etileno es una hormona vegetal gaseosa, que se produce en mínimas cantidades en los tejidos vegetales y es biológicamente activa a bajas concentraciones. Es necesaria para el crecimiento, inhibe el crecimiento longitudinal y promueve la germinación de las semillas, el envejecimiento, la formación de raíces adventicias, la abscisión, interviene en la maduración y la senescencia. Para productos cortados, el etileno promueve la decoloración, el sabor desagradable, el reblandecimiento, la maduración y la senescencia. El etileno generalmente acorta la vida útil de productos enteros o recién cortados (Corbo, Speranza, Campaniello, Amato, y Sinigaglia, 2010, p.1146; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, pp. 91–92).

Para productos cortados, el etileno promueve la decoloración, el sabor desagradable, el reblandecimiento, la maduración y la senescencia. El etileno generalmente acorta la vida útil de productos enteros o recién cortados (Corbo,

Speranza, Campaniello, Amato, y Sinigaglia, 2010, p. 1 146; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, pp. 91–92).

El comportamiento en la generación de etileno es propio de cada producto cortado y depende mucho del tipo de corte y estado de madurez. Es así que diversos estudios han demostrado un gran aumento en la producción de etileno tras el corte en kiwi, tomate, papaya y fresa, mientras que otros productos no muestran tal comportamiento como la pera que no mostro aumento alguno en la producción de etileno o su producción fue mínima en comparación con el producto entero (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 101–102).

- **Aumento de la tasa de respiración**

Los PMP después de todo el procesamiento siguen teniendo tejidos vivos que respiran. Sin embargo los tejidos dañados de dichos productos muestran un aumento en la frecuencia respiratoria, y por ende un acortamiento en la vida útil del producto (Barat et al., 2007, p. 375).

Los aumentos en la respiración son respuesta al corte pueden ser bastante sustanciales en algunos casos, por ejemplo, en rebanadas de tomate se tuvo un aumento de la respiración de hasta 40 % cuando se almacena a 8 °C, en comparación con el producto intacto. Cuando se almacenan a temperaturas altas, las frutas y verduras muestran grandes aumentos en la respiración, el manejo de temperaturas (menor a 5 °C) en todo el proceso y almacenamiento es importante (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 102–104).

Las MAP ayudan a disminuir la tasa de respiración, ya que los niveles de O₂ y CO₂ en el espacio de cabeza del empaque están relacionados con el comportamiento metabólico de los PMP, puesto que niveles bajos de O₂ ayudan a disminuir o a inactivar reacciones enzimáticas: como PPO que requiere oxígeno para decolora la superficie de corte (Barat et al., 2007, p. 375). Pero dentro de la MAP hay que evitar las respiraciones anaerobias que conducen a

comportamientos fermentativos causadas por niveles muy bajos de O_2 , por ejemplo zanahoria rallada es susceptible a tener una respiración anaerobia. Para evitar tales comportamientos es necesario estudiar la MAP más adecuada para cada producto (Beaulieu y Baldwin, 2002, pp. 105–106).

- **Pardeamiento enzimático**

Iniciada la operación de corte en el producto fresco, también se inicia el proceso de deterioro de las paredes celulares y es entonces cuando la compartimentación de la célula comienza a fallar. La consecuencia de esto es la mezcla de los sustratos de polifenoles con las enzimas polifenoloxidasas (PPO) y/o fenolperoxidasas (POD) y se generan las reacciones causantes del pardeamiento (Toivonen y Brummell, 2008, p. 2).

Las enzimas polifenoloxidasas (PPO) catalizan dos reacciones. La primera es la hidroxilación de monofenoles (moléculas de fenol en las que el anillo bencénico contiene un solo sustituyente hidroxilo) a difenoles (moléculas de fenol que contienen dos sustituyentes hidroxilo), esta reacción es relativamente lenta y sus productos son incoloros. La segunda reacción es la oxidación de difenoles para producir quinonas, la reacción de oxidación es relativamente rápida y las quinonas resultantes son coloreadas. Las reacciones de polimerización de las quinonas conducen a la acumulación de melanina, que es el pigmento marrón o negro asociado con el "pardeamiento" en los tejidos de las plantas (Toivonen y Brummell, 2008, p. 4; Wallace y Walton, 2011, p. 391).

Para la inhibición o disminución del pardeamiento enzimático en los PMP existen los siguientes tratamientos: inmersión en soluciones antipardeamiento (ácido ascórbico y cítrico), envasado en atmosferas modificadas, choque térmico y almacenamiento refrigerado a temperaturas menores a 5 °C (Wallace y Walton, 2011, p. 391) .

- **Pérdida de agua**

En productos frescos por el proceso de pelado y corte se reduce o elimina la resistencia a la transpiración. La pérdida de agua se da principalmente por reducción del volumen del tejido, es decir hay un aumento en el área superficial y por la eliminación de tejidos protectores como la epidermis (corteza). La pérdida de agua está directamente relacionada con la pérdida de peso en los PMP y es la causal del marchitamiento y encogimiento de producto (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 108).

1.1.2.3. Parámetros de calidad de los productos mínimamente procesados

- **Apariencia**

La apariencia es un parámetro de carácter visual y es decisivo a la hora de comprar o no un producto. El consumidor aprecia la forma, el color, el brillo, así como la presencia de defectos en el producto. Una de las preocupaciones en el procesamiento de PMP es controlar la decoloración de los tejidos producido por el pardeamiento enzimático. El grado de pardeamiento varía notablemente según el producto, el cultivar e incluso las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Kader, 2002, p. 21; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 117).

La decoloración de los productos de color verde y cortados es una consecuencia del metabolismo incompleto de la molécula de la clorofila que da lugar al amarillamiento o también pardeamiento (Toivonen y Brummell, 2008, p. 5). Otros defectos visibles en los PMP son: el ataque de microorganismos y el marchitamiento por pérdida de agua (Wallace y Walton, 2011, p. 392).

La evaluación visual de la apariencia es simple y objetiva. Por ello es necesario tener un personal capacitado, quienes pueden realizar de manera uniforme evaluaciones de la calidad de los PMP, con el uso de escalas hedónicas

categorizadas preestablecidas. También se dispone de atlas con el detalle de las escalas de calidad del color tanto para los productos enteros como para los recién cortados (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 118).

- **Textura**

Los cambios de textura en los PMP están relacionados con ciertos procesos enzimáticos y no enzimáticos. Principalmente se da la degradación enzimática de las pectinas que son las responsables de la firmeza y elasticidad en los tejidos. La pectina es parcialmente desmetilada por la enzima pectina metil esterasa (PME) y posteriormente es despolimerizada por la poligalacturonasa (PG) a ácido poligalacturónico lo que produce la pérdida de firmeza (Barat et al., 2007, p. 375).

Otro de los efectos del corte es la lignificación y el desarrollo del endurecimiento en las heridas, esta es una respuesta de defensa de las plantas después de una lesión, sin embargo, pueden ser un efecto indeseable en los PMP (Toivonen y Brummell, 2008, p. 9). El ablandamiento de tejidos y la pérdida integral de los mismos están asociados con la pérdida de agua en los PMP. Uno de los tratamientos para disminuir el ablandamiento es la inmersión en soluciones de calcio (Kader, 2002, p. 23).

La evaluación de la textura se realiza comúnmente mediante la aplicación de una fuerza destructiva mediante punción o compresión, aunque algunos estudios han mostrado cierta sensibilidad y repetibilidad utilizando la celda de Kramer que utiliza la carga máxima para romper la muestra y así evaluar la textura (Barat et al., 2007, p. 375; Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, pp. 118–119).

- **Aroma: Olor y Sabor**

Aquí están incluidos el dulzor, la acidez, la astringencia, el amargo, el aroma y sabores y olores extraños o no deseados. La determinación objetiva de

componentes críticos debe ser evaluada por parte de un panel de degustación entrenado para proporcionar información útil y significativa sobre la calidad de los PMP. (Francis et al., 2012, p. 597; Kader, 2002, p. 24).

Uno de los comportamientos de los PMP después del corte es la pérdida de compuestos volátiles aromáticos (Wallace y Walton, 2011, p. 393). En el almacenamiento también se produce pérdida del sabor debido a los procesos fisiológicos propios del producto cortado. Varios estudios han mostrado como el aroma (sabor y olor) puede disminuir antes de que disminuya la firmeza o textura, por ejemplo las rodajas de naranja tuvieron una apariencia aceptable después de 14 días de almacenamiento, pero la calidad con respecto al sabor fue inaceptable. En la actualidad se investiga el envasado en MAP como un medio para prolongar las cualidades de sabor y aroma en los productos frescos cortados (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 119).

- **Calidad microbiológica**

Uno de los factores limitantes para la vida útil de los PMP es la descomposición microbiana. Mantener la calidad y el control de las poblaciones microbianas son los desafíos a los que se enfrentan los productores. A menudo es necesaria una combinación de tratamientos para mantener la calidad fisiológica y limitar el crecimiento microbiano (Novak, Sapers, y Juneja, 2003, p. 39) .

Durante las operaciones como el pelado y el corte, las superficies del producto están expuestas al aire y a la posible contaminación por parte de instrumentos utilizados en el procesamiento. Además, los vegetales y frutas son considerados productos de baja acidez, con alta humedad y con buen contenido de azúcares, estas condiciones son ideales para el crecimiento de microorganismos (bacterias ácido lácticas, hongos, levaduras). El daño por microorganismos se caracteriza por la generación de metabolitos y enzimas que conducen a defectos visuales, pérdidas de textura y el desarrollo de olores desagradables. Por otra parte los microorganismos patógenos también están asociados con los PMP y pueden

causar brotes de enfermedades (Parish et al., 2003, p. 161; Pérez Pérez y López Malo, 2011, p. 16).

El Laboratorio de Microbiología y Preservación de Alimentos (LFMPFP por sus siglas en inglés) de la Universidad Ghent en Bélgica, especifica los límites microbiológicos de ciertos microorganismos que causan deterioro y que se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Límites microbiológicos permitidos en productos de IV gama (UFC/g)

Parámetro	Objetivo ^a		Tolerancia ^b		Consumase preferentemente antes de ^c	
	Hortalizas	Frutas	Hortalizas	Frutas	Hortalizas	Frutas
Recuento total de aerobios psicótrofos	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁸	10 ⁷
Bacterias ácido lácticas	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁷
Levaduras	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵
Hongos	10 ³	10 ²	10 ⁴	10 ³	10 ⁴	10 ³

^a Objetivo: es la población óptima para el día de producción con las mejores condiciones de operación.

^b Tolerancia es el valor de la población máxima permitida para el día de producción.

^c Consumase preferente antes de: es el valor que marca el final de la vida útil, por encima de este valor el deterioro es notorio.

Esta Tabla es una modificación de: (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 60)

1.1.2.4. Calidad Nutricional

Las frutas y vegetales tienen compuestos biológicamente activos, estos compuestos resultan beneficiosos para la salud más allá de cumplir solo con la función básica de nutrir. Estos compuestos activos se denominan también "funcionales", puesto que ayudan en la prevención de enfermedades como el cáncer, los problemas cardiovasculares, neutralizan los radicales libres y reducen el colesterol y la hipertensión (Barrett, Beaulieu, y Shewfelt, 2010, p. 377). Como son de origen vegetal, también se denominan fitoquímicos y podemos encontrar: terpenos (carotenoides en verduras amarillas, anaranjadas y rojas como tomates y zanahorias), compuestos fenólicos (colores rojo y morado como en berenjena y remolacha), lignanos (brócoli), y otros (Siddiqui, 2002, p. 142).

- **Vitamina C**

La vitamina C pertenece al grupo de las vitaminas hidrosolubles y es uno de los micronutrientes de mayor importancia en la dieta diaria. El ácido ascórbico (AA) en presencia de oxígeno se oxida a ácido deshidroascórbico (DHA), este último tiene la misma actividad vitamínica pero es más inestable (De Ancos, Sánchez-Moreno, Plaza y Cano, 2011, p.148). La vitamina C tiene propiedades antioxidantes, puesto que ayuda a neutralizar radicales libres, actúa como un antibiótico natural, previene enfermedades vasculares e interviene en la absorción de hierro no hémico (Padayatty et al., 2003, pp. 20–22). Las pérdidas de vitamina C en productos vegetales se debe al almacenamiento prolongado, exposición a temperaturas altas, baja humedad relativa, daño físico y daños por frío (Lee y Kader, 2000, p. 208).

En general, el contenido de ácido ascórbico de los PMP disminuye como consecuencia de las operaciones de pelado y corte. El corte favorece la pérdida de vitamina C, ya que aumenta la superficie de contacto con agentes oxidantes como el oxígeno, que favorecen la acción de la enzima ascorbato peroxidasa (APX), que es responsable de la degradación de la vitamina C. También las pérdidas de esta vitamina podrían atribuirse al efecto del etileno generado como consecuencia del corte (De Ancos et al., 2011, pp.155-162).

- **Carotenoides**

Los carotenoides son pigmentos vegetales liposolubles responsables de los colores amarillo, naranja o rojo de numerosos productos vegetales. Los carotenoides son compuestos isoprenoides (tetraterpenos) que generalmente tienen 40 átomos de carbono (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 149; Meléndez-Martínez et al., 2004, p. 149). Todo el conjunto de carotenoides tienen actividad antioxidante como la prevención contra el envejecimiento celular, la aparición de cáncer, es un apoyo para el sistema inmunológico y reduce la posibilidad de ataques cardíacos (Meléndez-Martínez et al., 2004, pp. 150–152).

Por lo general el mínimo procesamiento de frutas y vegetales no produce cambios significativos en el contenido de carotenoides. Y los cambios que se producen se asocian a mecanismos de oxidación catalizados por las enzimas polifenol oxidasa y lipoxigenasa y la exposición a la luz, el oxígeno y bajo pH (De Ancos et al., 2011, pp.170-172).

- **Compuestos fenólicos**

Son metabolitos secundarios producidos por las plantas. Los compuestos fenólicos presentan una gran variedad de estructuras que van desde moléculas simples (monómeros y dímeros) hasta polímeros (taninos, pesos moleculares superiores a 500 Daltons) (Martin-Belloso y Soliva-Fortuny, 2011, p. 151).

Los investigadores han puesto toda su atención a los compuestos fenólicos especialmente a los ácidos fenólicos y flavonoides, ya que muchos estudios epidemiológicos sugieren que el consumo de alimentos y bebidas ricas en estos componentes está asociado con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y ciertas formas de cáncer (Ghasemnezhad, Sherafati, y Payvast, 2011, p. 45).

El daño mecánico causado en los tejidos por el pelado y corte aumenta la síntesis de compuestos fenólicos, asociado con el aumento en la actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL) y es una respuesta fisiológica del tejido vegetal a los daños con el fin de reducir la pérdida de agua y el ataque por microorganismos patógenos. El aumento de la actividad de la PAL es un indicativo para la activación de mecanismos de síntesis de fenoles en respuesta a la presencia de especies oxidativas reactivas causadas por el estrés (Cantos, Espín, y Tomás-Barberán, 2001, pp. 322-323).

La cantidad que aumenta en la concentración de fenoles totales depende del tipo de vegetal, por ejemplo, en productos como lechuga, zanahoria y apio, hubo un aumento significativo (81, 191 y 30 % respectivamente), mientras que en otros,

como calabacín, rábano o col roja, hubo una disminución en los fenoles totales (26, 15 y 9 %, respectivamente). Sin embargo, la acumulación de compuestos fenólicos y el aumento de la actividad PAL se inhiben cuando el vegetal cortado se almacena en una atmósfera modificada (De Ancos et al., 2011, pp.162-163).

1.2. USO DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN PRODUCTOS DE IV GAMA

“El incremento en el consumo de este tipo de alimentos, obliga a desarrollar nuevos métodos que garanticen la calidad de los mismos” (Artés-Hernandez, Aguayo, Gómez, y Artés, 2009, p. 52).

El uso único de tratamientos físicos o químicos no permite alargar la vida útil de los PMP de la forma deseada. La combinación de estos tratamientos con otras alternativas tecnológicas con frecuencia suele ser necesaria para mantener la calidad de los mismos. Por ello es imprescindible la necesidad de investigar nuevas tecnologías que garanticen la calidad e inocuidad de los productos mínimamente procesado (Escobar Hernández, Márquez Cardozo, Restrepo Florez, y Pérez Cordoba, 2014, p. 7238). A continuación se describen algunas tecnologías emergentes usadas en productos IV gama.

La radiación ultravioleta-C (UV-C) de longitud de onda corta (de 280 – 100 nm), actúa directamente sobre los microorganismos debido a que daña su ADN e indirectamente estimula mecanismos de defensa de los productos vegetales cortados contra patógenos. El tratamiento con energía UV ofrece varias ventajas a los procesadores de alimentos, ya que no deja residuos, es letal para la mayoría de microorganismos y no tiene restricciones legales. También se puede usar para desinfectar el agua, el aire, las superficies de preparación de alimentos y envases (Artés y Allende, 2005, pp. 695–697; González-Aguilar et al., 2010, pp. 65–66).

El procesamiento con altas presiones hidrostáticas (HPP por sus siglas en inglés), ofrece la ventaja de actuar uniformemente sobre el producto sin importar el

tamaño, la forma o la geometría. Esta tecnología satisface la necesidad de los consumidores de tener a su alcance PMP sin conservantes químicos. Se ha demostrado que las altas presiones inactivan con eficacia a bacterias patógenas y esporas, además que tienen efectos mínimos sobre el sabor, textura, apariencia y valor nutricional del producto (Lou, Neetoo, Chen, y Li, 2011, pp. 1862–1863).

Los pulsos de luz se han utilizado con éxito como una nueva técnica para la inactivación de bacterias y hongos en la superficie de los productos alimenticios. Aunque aún se dispone de muy poca información sobre la eficacia de los pulsos de luz para inhibir el crecimiento microbiano y prolongar la vida útil de las frutas y verduras recién cortadas (Allende, Tomás-Barberán, y Gil, 2006, p. 516).

Un recubrimiento comestible es una fina capa de material aplicada sobre la superficie de un producto alimenticio con el propósito de generar una barrera semi-permeable a los gases, vapor de agua y compuestos volátiles. En los PMP, los revestimientos comestibles disminuyen la respiración y la senescencia mientras protegen el aroma, la textura y el color de los productos durante el almacenamiento. La capacidad de los recubrimientos para conservar la calidad de los PMP puede variar dependiendo de la composición y espesor del revestimiento, tipo de producto, variedad y madurez, y condiciones de almacenamiento (González-Aguilar et al., 2010, pp. 66–67).

1.2.1. IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

De acuerdo a la FDA “La irradiación de alimentos es una tecnología que mejora la seguridad y la vida útil de los alimentos en el anaquel, mediante la disminución o la eliminación de los microorganismos e insectos” (2014, p. 1).

La continua investigación en el campo de la irradiación de alimentos, han hecho necesario el desarrollo de normas nacionales e internacionales. En la actualidad más de 60 países cuentan con reglamentos que permiten el uso de la irradiación en al menos un producto. En el 2003, una comisión conformada por la FAO y el

Codex Alimentarius de la Organización Mundial de la Salud publicaron la Norma General del Codex para Alimentos Irradiados y el Código Internacional Recomendado de Prácticas para el Procesamiento de Radiación de Alimentos (IAEA, 2017).

En Ecuador la norma técnica NTE INEN 1334-1 hace referencia a los alimentos irradiados y dice que un alimento que haya sido irradiado debe llevar una declaración escrita indicativa del tratamiento, cerca del nombre del alimento. El uso del símbolo internacional indicativo de que el alimento ha sido irradiado, según se muestra en la Figura 1.5 es facultativo, pero cuando se utilice deberá colocarse cerca del nombre del producto (Inen, 2014, p. 8).



Figura 1.5. “Radura” Símbolo internacional de radiación de alimentos (FDA, 2016, p. 2)

El término irradiación hace referencia al uso de radiación electromagnética. Existen dos tipos de radiación: la radiación no ionizante (radiofrecuencia, luz visible, infrarrojos, microondas y radiación UV) y la radiación ionizante (rayos gamma, los rayos X y los haces de electrones). La radiación ionizante es capaz de producir iones (átomos o moléculas electrónicamente cargadas) al chocar los electrones fuera de las órbitas normales de los átomos o moléculas (Gómez-López, 2012, p. 379). Existen tres tipos de radiación ionizante utilizados para aplicaciones alimentarias y se describen en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Descripción de los tres tipos de radiación ionizante

Factores	Haces de electrones	Rayos X	Rayos Gamma
Fuente	Los electrones son producidos por un acelerador de partículas tal como un acelerador lineal o acelerador de Van de Graaff. (5 a 10 MeV)	Los rayos X se producen bombardeando un blanco metálico con un haz de electrones de alta potencia. Eficiencia: 5 al 10 %	Desintegración radiactiva de Cobalto 60 (1,25 MeV) o de Cesio 137 (0,66 MeV)
Mecanismo	Los electrones de alta energía dividen las moléculas de agua, creando radicales de oxígeno e hidroxilo que dañan el ADN, las membranas. También se produce la escisión directa del ADN.	Los fotones de alta energía estimulan los átomos dentro del producto para liberar electrones de alta energía, que dividen las moléculas de agua en radicales. También se produce la escisión directa del ADN.	Los fotones de alta energía estimulan los átomos dentro del producto para liberar electrones de alta energía, que dividen las moléculas de agua en radicales. También se produce la escisión directa del ADN.
Necesidad de Blindaje	Durante el funcionamiento, > 2 m de hormigón o <1 m de acero / hierro / plomo. Cuando se apaga la fuente, no se emite radiación.	Durante el funcionamiento, > 2 m de hormigón o <1 m de acero / hierro / plomo. Cuando se apaga la fuente, no se emite radiación.	> 5 m de agua o > 2 m de hormigón o <1 m de acero / hierro / plomo. El origen no se puede apagar, el blindaje de la fuente debe estar en posición predeterminada.
Velocidad^a	Segundos	Segundos	Minutos (dependiendo de la intensidad de la fuente)
Penetrabilidad	6 a 8 cm, adecuado para productos relativamente delgados o de baja densidad	30 a 40 cm, apto para todos los productos	30 a 40 cm, apto para todos los productos

^a Velocidad de la administración de la dosis. La dosis deseada variará, dependiendo del producto y de la materia irradiada.

(Novak et al., 2003, p. 283)

1.2.1.1. Irradiación gamma y objetivos de la irradiación de alimentos

Los rayos gamma son fotones de alta energía, que viajan casi a la velocidad de la luz en un patrón ondulatorio. Los rayos gamma producidos a partir de cobalto-60 tienen mayores poderes de penetración que los del cesio-137. Sin embargo, el cesio-137 tiene una vida media más larga, en comparación con los de cobalto-60 (Arvanitoyannis, 2010, p. 26).

La unidad internacional para la dosis adsorbida de irradiación es el Gray (Gy) y se define como un joule de energía absorbida por kilogramo (Xuetong Fan & Sommers, 2012, p. 10). De acuerdo al Codex Alimentarius, para un alimento la dosis de irradiación mínima es la necesaria para llegar a una respuesta tecnológica y la dosis máxima es con la cual se garantice la seguridad del consumidor o la integridad física y química del alimento (2003, p. 1).

Los objetivos principales que cumple la irradiación en los alimentos son: inhibir la generación de brotes es tubérculos, retardar procesos de maduración en frutas y vegetales, control y eliminación de microorganismos patógenos que causan deterioro post-cosecha y de microorganismos causantes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) y controlar plagas de insectos (FDA, 2016, p. 1; Sinha et al., 2012, p. 162). Las dosis requeridas para cumplir dichos objetivos se describen en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Descripción de las aplicaciones y las dosis requeridas en la irradiación de alimentos

Aplicación	Intervalo de dosis (kGy)	
Inhibición de brotes en papas y cebollas, ajos, jengibre, etc.	Dosis Bajas (hasta 1 kGy)	0,03-0,12
Desinfestación de insectos de semillas, harina, frutas frescas y secas.		0,2-0,8
Retrasa procesos fisiológicos en frutas y vegetales frescos		0,5-1
Desinfestación de parásitos patógenos en carne y otros alimentos	Dosis Media (1-10 kGy)	0,1-3,0
Radurización.- reducción sustancial de microorganismo que causan deterioro en alimentos, ayudando a prolongar la vida útil. Frutas, vegetales, carne, aves y pescado		5-10
Radiciación.-reducción del número de microorganismos patógenos específicos que no forman esporas y parásitos, lo que mejora la calidad higiénica de los alimentos. Carne congelada, aves, huevos y otros alimentos		3-10
Reducción o eliminación de poblaciones microbianas en ingredientes alimenticios secos (especias, almidones, preparados enzimáticos, etc.).		3-10
Radapertización.- inhibe la actividad de microorganismos viables hasta un grado tal que es una esterilización. Alimentos precocidos y envasados herméticamente	Dosis Altas (por encima de 10 kGy)	20-60

(Farkas, 2007, pp. 701–702; Morehouse y Komoprasert, 2004, p. 19)

1.2.1.2. Ventajas y Desventajas

Entre las principales ventajas de la radiación de alimentos se pueden destacar (Roberts, 2014, p. 79):

- Es versátil ya que se puede exponer al alimento de forma directa o indirecta (con empaque). No hay problemas si el alimento está crudo y/o congelado.
- Altamente eficaz y eficiente. Tiene amplio espectro contra microorganismos patógenos o que causan pudrición e insectos.
- Es un proceso en frío. Durante el proceso no se eleva la temperatura conservando la frescura del producto.
- Tiene una alta penetración.
- El tratamiento no implica adición de aditivos químicos y no deja residuos y tampoco se vuelve radioactivo.
- El proceso es relativamente fácil de controlar
- Los alimentos se pueden distribuir comercialmente, inmediatamente después del tratamiento.

Entre las desventajas está que no es recomendable aplicar esta tecnología en alimentos ricos en grasa ya que se producen sabores rancios y los costos de instalación son altos (ICGFI, 1999, p. 31).

1.2.1.3. Radiación gamma en productos IV gama

El proceso de irradiación fue aprobado por la FDA para su uso en frutas y verduras a un nivel máximo de 1 kGy. En algunos casos, la calidad del producto se extiende, mientras que en otros se produce una pérdida de atributos de calidad. Por ejemplo la irradiación de zanahorias mínimamente procesadas mejoró su color y sabor, aunque se deterioró su textura. En la lechuga procesada mínimamente, se ha comprobado que dosis de hasta 0,5 kGy no afectan la calidad, pero dosis de 0,81 o 1,1 kGy afectaron considerablemente la calidad.

Estudios en melón, mostraron que las muestras irradiadas tenían una tasa de respiración más baja y más estable que las muestras no irradiadas durante aproximadamente 20 días de almacenamiento (Barat et al., 2007, p. 381; Corbo et al., 2010, p. 1150).

En otros casos las dosis de irradiación requeridas para eliminar algunos microorganismos pueden causar pérdidas de vitamina C, cambios texturales negativos y pardeamiento enzimático en algunos tejidos vegetales y frutales. Por ejemplo dosis de irradiación de 1,5 - 20 kGy son necesarios para destruir levaduras y mohos, que pueden existir como esporas, pero estos niveles son dañinos para los tejidos vegetales (Brecht et al., 2004, p. 227). Al parecer la irradiación causa deterioro en la calidad de los PMP, como el ablandamiento, pérdida de ácido ascórbico y cambios en los sabores. Las pérdidas de calidad se pueden minimizar usando dosis más bajas de irradiación en combinación con otras técnicas tales como empaquetado en MAP, tratamiento térmico, recubrimientos comestibles, y uso de agentes contra el pardeamiento (Gómez-López, 2012, p. 392).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA VARIEDAD MÁS RADIOSENSIBLE DE PIMIENTO CORTADO.

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PIMIENTO

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron tres variedades de pimiento "Italian sweet" (40 kg), "Lamuyo" (40 kg) y "California wonder" (90 kg) que corresponden a pimientos de color verde, rojo y amarillo respectivamente. Las tres variedades fueron adquiridas de un invernadero ubicado en Atuntaqui provincia de Imbabura. Los pimientos se cosecharon, seleccionaron y transportaron en kavetas plásticas a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 3 horas hasta el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en donde se lavaron manualmente con agua corriente para eliminar tierra, suciedad y otros elementos extraños, posteriormente se hizo una desinfección por inmersión con agua clorada a 200 ppm, se enjuagaron con agua potable y se secaron a temperatura ambiente. Finalmente se almacenaron en kavetas en una cámara de refrigeración a 5 ± 1 °C hasta su procesamiento.

2.1.1.1. Atributos físicos

Para cada una de las tres variedades se utilizaron 30 frutos y se midieron parámetros físicos como: peso con una balanza digital marca BOECO, modelo BBA51, capacidad de 4 100 g, y apreciación de 0,01g; diámetro, altura y espesor del pericarpio con un calibrador de precisión en milímetros con capacidad de 150 mm y apreciación de 0,01 mm y finalmente firmeza con un penetrómetro manual provisto de una punta de 8 mm de diámetro marca McCormick Fruit

Pressure Tester, modelo FT011, de Italia, con capacidad de 5 kgf y apreciación de 0,5 kgf

2.1.1.2. Atributos químicos

Para los análisis químicos se ocuparon 30 frutos de pimiento de cada variedad, de estos se formaron 6 grupos de 5 pimientos cada grupo. De cada grupo a los pimientos se les retiró el pedúnculo, la placenta y las semillas y se extrajo el zumo con un extractor de jugos y el zumo se tamizó en un filtro de tela cheescloth y se midió los siguientes parámetros pH, acidez titulable y el contenido de sólidos solubles.

- **pH:** Se tomó de forma directa con la ayuda de un pH-metro (Fisher Scientific AB150, USA) cuyo electrodo fue sumergido en 40 mL de zumo aproximadamente y se registró el valor de pH que permanecerá invariable por 30 segundos.
- **Acidez titulable:** Se midió de acuerdo al método descrito en AOAC 942.15 (AOAC 2005). Se tomaron 5 mL de zumo de pimiento y se disolvieron en un volumen de 50 mL de agua destilada. Con la ayuda de un pH-metro se hizo una titulación hasta un pH de 8,2 y se registró el consumo de NaOH en mL. La acidez titulable se mide en % del ácido predominante en el caso del pimiento es el ácido cítrico y se calcula a través de la Ecuación [2.1].

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times f_{\text{NaOH}} \times f_a}{V_{\text{Jugo}}} \quad [2.1]$$

Donde:

- V_{NaOH} : Volumen de gasto de hidróxido de sodio (NaOH) en mL
 C_{NaOH} : Concentración del hidróxido de sodio 0,1 N
 f_{NaOH} : Factor de corrección del hidróxido de sodio 1,0185
 f_a : Factor del ácido predominante en este caso es ácido cítrico (0,064)

$V_{\text{jugó}}$: Volumen de zumo de pimiento usado 5 mL.

- **Contenido de sólidos solubles (SST):** Se midió con un refractómetro digital (Atago, modelo PAL- α , 0-85 %, 0,1) y la lectura se registró de forma directa en ° Brix.

2.1.2. PROCESAMIENTO PARA ELABORAR PIMIENTO DE IV GAMA, IRRADIACIÓN GAMMA Y ALMACENAMIENTO

El procesamiento del pimiento se llevó a cabo en una cámara de refrigeración a una temperatura de 5 ± 1 ° C, en la planta piloto del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB). La cámara fue previamente desinfectada con agua clorada a 200 ppm, al igual que los utensilios y equipos necesarios para el procesamiento. Además para mantener condiciones de asepsia en todo el proceso se empleó indumentaria adecuada, usó de cofia, guantes, mascarilla, botas y mandil blanco. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques para el procesamiento del pimiento.

Para el procesamiento de los pimientos se eliminó con un cuchillo el pedúnculo, los extremos, la placenta y las semillas. Seguidamente se hizo un corte longitudinal con un espesor aproximado de 5 mm (corte en tiras o juliana) con la ayuda de un cortador de vegetales. El pimiento cortado fue depositado directamente en una bolsa de nylon, para luego ser sumergido en agua clorada a 150 ppm con una temperatura de 5 °C por un intervalo de 1 a 2 min. Después se debió enjuagar al pimiento con agua a la misma temperatura para eliminar los residuos de cloro y exudados generados por el corte.

A continuación las bolsas con las tiras de pimiento se centrifugaron a 850 rpm por 1 min en una lavadora de ropa marca Electrolux, modelo ELAV 8450. Finalmente se pesó en una balanza digital la cantidad de 100 g por empaque individual. El empaque que se utilizó para este ensayo fue una bandeja de poliestireno cubierta con un film de PVC (policloruro de vinilo).

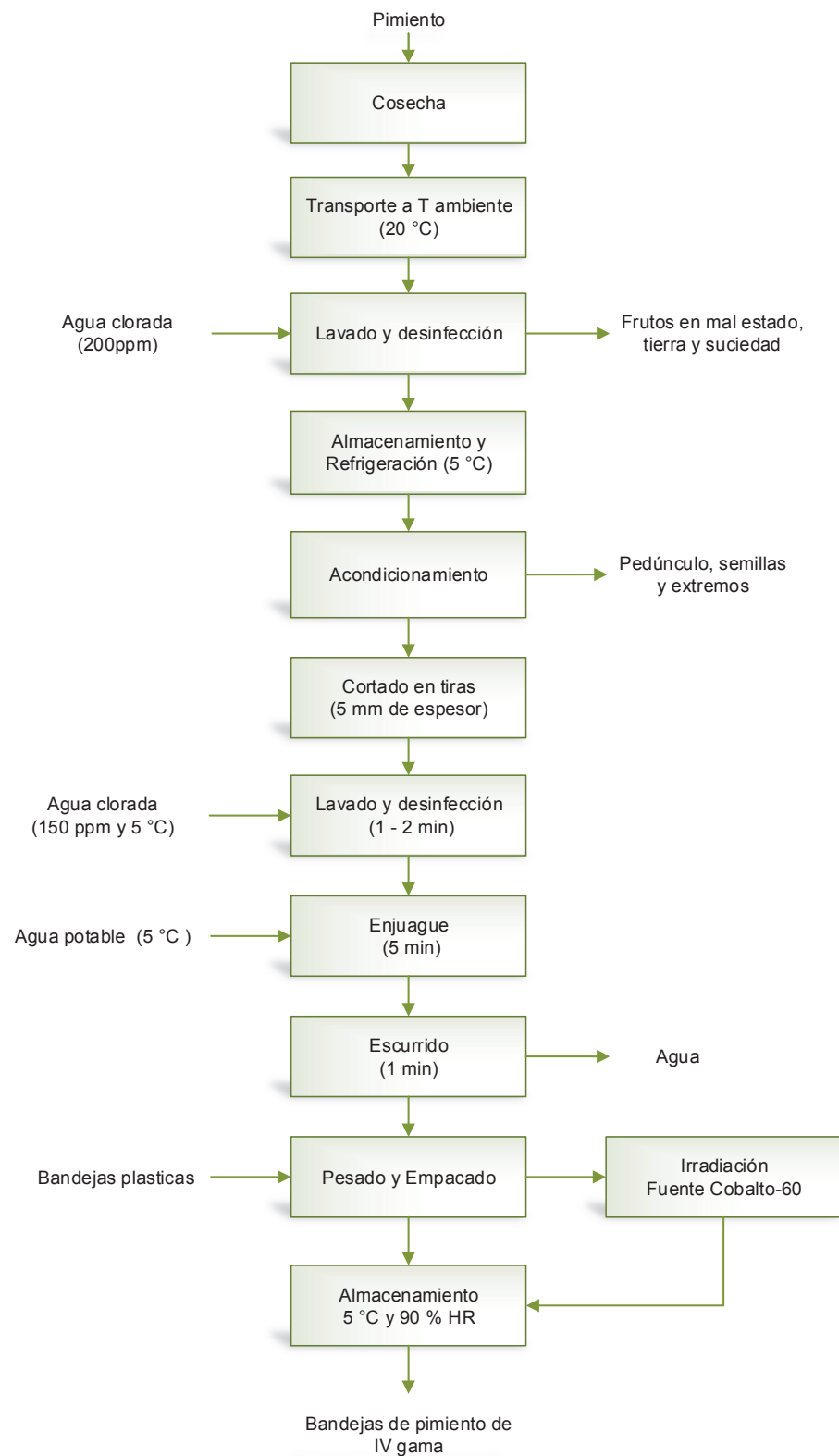


Figura 2.1. Diagrama de bloques del procesamiento del pimiento (*Capsicum annuum*) mínimamente procesado

Se prepararon un total de 96 bandejas, las cuales fueron enumeradas y divididas en 4 grupos de 24 bandejas cada uno. El primer grupo de bandejas no se irradió y se lo consideró como un tratamiento de control, mientras que los otros tres grupos de bandejas se trasladaron a la fuente de Cobalto-60 ubicada en el Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR), donde fueron irradiadas a dosis de 250, 500 y 750 Gy, respectivamente.

En el interior de la cámara de la fuente, las 24 bandejas de un grupo fueron dispuestas en forma circular alrededor de la fuente de Co-60 a una distancia de 40 cm del centro de la fuente como se muestra en la Figura 2.2. Las bandejas con pimienta cortado estuvieron expuestas a radiación gamma durante el tiempo determinado para la dosis requerida (250 Gy: 145,88 min, 500 Gy: 291,76 min y 750 Gy: 435,64 min).

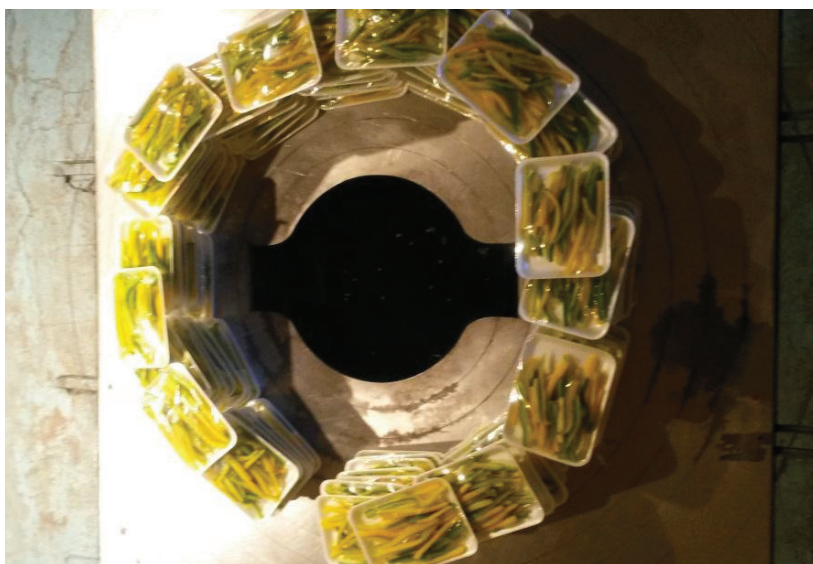


Figura 2.2. Disposición de bandejas de pimienta de IV gama en el interior de la cámara de la fuente de Co-60

Las bandejas de cada tratamiento fueron debidamente identificadas y almacenadas en una cámara de refrigeración a 5 °C y una humedad relativa del 90 % por 12 días.

2.1.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con base en una investigación anterior se determinó que la variedad de pimiento con mayor sensibilidad a la irradiación es la variedad de color amarillo “California wonder” (Granja 2016), por tanto para este ensayo se efectuó un diseño completamente al azar (DBCA) con un factor de bloqueo correspondiente al tiempo de almacenamiento. La variable de diseño fue la dosis a niveles de: 250, 500 y 750 Gy (Arvanitoyannis, 2010, p. 74). Adicionalmente se tuvo un tratamiento sin irradiar (0 Gy) como blanco de control. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso, firmeza, calidad visual y análisis sensorial. Los resultados se analizaron en el programa Statgraphics Centurion XVI y se empleó el análisis de varianza (ANOVA) y el método de rangos múltiples LSD (mínima diferencia significativa) con un nivel de confianza del 95 %.

2.1.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD GLOBAL

La evaluación de la calidad se realizó a los 0, 6 y 12 días de almacenamiento, en donde el día 0 se denominó entrada y los días 6 y 12 fueron las salidas 1 y 2 respectivamente. Se prepararon un total de 96 bandejas de pimiento de IV gama para todo el ensayo. De estas 32 bandejas fueron necesarias para los análisis de la entrada y de las dos respectivas salidas. Se evaluaron parámetros físicos, el índice de la calidad visual y un análisis sensorial.

2.1.4.1. Pérdida de peso

Se determinó en porcentaje. Para el efecto se pesaron seis bandejas tanto a la entrada como en las respectivas salidas 1 y 2 de cada uno de los tratamientos, con una balanza electrónica marca BOECO, modelo BBA51, capacidad de 4 100 g y apreciación de 0,01 g. El porcentaje de pérdida se determinó con la aplicación de la Ecuación [2.2].

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(P_f - P_o)}{P_o} \times 100 \quad [2.2]$$

Donde:

P_f: Peso final (g)

P_o: Peso inicial (g)

2.1.4.2. Firmeza

Se evaluaron seis bandejas de cada tratamiento y de cada bandeja se tomaron las medidas de seis tiras de pimiento tomadas al azar. Se midió con un penetrómetro digital (TR Fruit Firmness Tester, modelo TR53205SW, 20 kgf, 0,01) provisto de una punta de 3 mm de diámetro. Las medias se tomaron de forma directa y se expresaron en (N)

2.1.4.3. Evaluación de la calidad visual

Dentro de la evaluación de la calidad visual, se consideraron tres atributos turgencia, marchitez y % de patógenos. Donde se determinó a través de una escala de valoración de 1 a 5, tal como se describe en la Tabla 2.1. Los atributos citados se evaluaron en seis bandejas de pimiento cortado.

Tabla 2.1. Escala de valoración de los atributos de calidad visual utilizada en pimiento mínimamente procesado

Valoración	ATRIBUTOS		
	Turgencia	Marchitez	% de Patógenos
1	Muy secos	Extrema	70 -100
2	Secos	Severa	50 – 70
3	Medianamente frescos	Moderada	20 – 50
4	Ligeramente frescos	Discreta	0 – 20
5	Frescos	Ninguna	0

Para evaluar cuantitativamente cada uno de los atributos en las bandejas de pimiento cortado, se calculó el índice de calidad visual a través de la Ecuación [2.3] (Rodov et al., 2000, p. 262).

$$IC = \frac{n_1+2n_2+3n_3+4n_4+5n_5}{N} \quad [2.3]$$

Dónde:

IC: Índice de evaluación de calidad para cada atributo

n_1 - n_5 : Número de bandejas que presentan igual puntuación en la escala de 1 a 5.

N: Número total de bandejas evaluadas

En la Tabla 2.2 se indica la escala de la valoración para categorizar el índice global de calidad visual.

Tabla 2.2. Escala de valoración del índice global de calidad visual para pimiento mínimamente procesado

Valoración de la Calidad	Categoría
Entre 4-5	A: Mantiene las características iniciales
Entre 3-4	B; Presenta daño y deterioro , apta para el consumo
< 3	C: No comerciable

2.1.4.4. Evaluación sensorial

Se efectuó una prueba descriptiva de escalas no estructuradas con la ayuda de un panel semi-entrenado de 12 panelistas, en donde se evaluaron atributos como apariencia general, sabor, olor, dureza y presencia de sabores extraños. La evaluación sensorial se realizó en horas de mañana entre las 11 y 12 am en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la planta piloto del DECAB.

A cada panelista se le entregó cuatro platos desechables codificados con tres dígitos al azar que contenían tres tiras de pimiento por cada tratamiento cada uno, además recibieron el formato de evaluación sensorial como se puede evidenciar

en el Anexo I. Para cuantificar los valores otorgados por el panelista se midió con una regla el valor asignado dentro de la escala de 10 cm para cada tratamiento y cada atributo.

2.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO COMBINADO DE LA RADIACIÓN GAMMA Y EL USO DE EMPAQUES EN LA CALIDAD POSOSECHA DE 3 VARIEDADES DE PIMIENTO DE IV GAMA

Este ensayo se llevó a cabo en tres etapas, en donde cada una de las variedades de pimiento se procesó y evaluó por separado y de manera aleatoria.

2.2.1. PROCESAMIENTO DEL PIMIENTO DE IV GAMA, IRRADIACIÓN GAMMA Y ALMACENAMIENTO

El procesamiento de cada variedad de pimiento se llevó a cabo en una cámara de refrigeración a 5 ± 1 °C y se siguió el mismo procedimiento descrito en la sección 2.1.2 para obtener bandejas de pimiento mínimamente procesado. Con la diferencia que del total de bandejas, la mitad de las bandejas se empacaron en una bandeja de poliestireno cubierta con un film de PVC (policloruro de vinilo) y la otra mitad se empacó en una bandeja de PET (polietileno tereftalato).

En cada etapa se prepararon un total de 120 bandejas, las cuales fueron enumeradas y divididas en 2 grupos de 60 bandejas cada uno. El primer grupo de bandejas compuesto por bandejas de los dos tipos de empaque (30 PET y 30 PVC) no se irradió, mientras que el otro grupo de bandejas se trasladó a la fuente de Cobalto-60 y se irradió tal como se describe en la sección 2.1.2. Las bandejas de cada tratamiento fueron debidamente identificadas y almacenadas en una cámara de refrigeración a 5 °C y una humedad relativa del 90 % por 12 días.

2.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este ensayo, para cada una de las variedades se efectuó un diseño factorial 2^2 en donde las variables de diseño fueron: tipo de tratamiento (sin radiación y con irradiación) y tipo de empaque: bandeja PET y bandeja de poliestireno cubierta con film de PVC (policloruro de vinilo). Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso, firmeza, pH, acidez titulable, contenido de sólidos solubles, calidad visual, análisis sensorial, concentración de CO_2 en el interior del empaque y análisis microbiológicos. Los resultados se analizaron en el programa Statgraphics Centurion XVI, y se empleó el análisis de varianza (ANOVA) y el método de rangos múltiples LSD (mínima diferencia significativa) con un nivel de confianza del 95 %.

2.2.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD

La evaluación de la calidad se realizó a los 0, 6 y 12 días, en donde el día 0 se denominó entrada y los días 6 y 12 fueron las salidas 1 y 2, respectivamente. De las 120 bandejas de pimiento de IV gama preparadas, 36 bandejas fueron necesarias para los análisis de la entrada y de las dos respectivas salidas, mientras que las 12 bandejas restantes se ocuparon para la determinación de CO_2 en el interior del empaque.

2.2.3.1. Parámetros físicos-químicos y calidad sensorial global

Se midieron parámetros físicos como: porcentaje de pérdida y firmeza de acuerdo a las secciones 2.1.4.1 y 2.1.4.2, respectivamente. Para los parámetros químicos se evaluaron seis bandejas de cada tratamiento y de cada bandeja se extrajo el zumo de las tiras de pimiento y se midieron los siguientes atributos: pH, acidez titulable y contenido de sólidos solubles conforme lo descrito en la sección 2.1.1.2. Como calidad sensorial global se evaluó la calidad visual y análisis sensorial conforme a lo descrito en la sección 2.1.4.3 y 2.1.4.4, respectivamente.

2.2.3.2. Análisis microbiológicos

Se tomó una muestra por cada tratamiento tanto a la entrada como en las respectivas salidas 1 y 2 de cada una de las variedades. El análisis microbiológico se realizó por siembra en placas petrifilm para aerobios totales con el método AOAC 990.12 (Guía 3M, 2001), coliformes totales con el método AOAC 991.14 (Guía 3M, 1999) y hongos y levaduras con el método AOAC 997.02 (Guía 3M, 2004).

2.2.3.3. Determinación de la concentración de CO₂ en el interior del empaque

Para la determinación se ocuparon 3 bandejas de cada tratamiento equivalente a un total de 12 bandejas por variedad. Con la ayuda de jeringas de 1 mL, se tomaron las muestras de gas del interior de las bandejas en los días de almacenamiento 0, 6 y 12 respectivamente. Las muestras se inyectaron en un analizador rápido de gases CO₂/O₂ (Post Harvest Research, modelo CG-1000, USA) provisto de un detector infrarrojo (Salveit y Kader, 1997, p.32). Las condiciones de operación se presentan en el Anexo II.

2.3. ESTUDIO DEL EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE UNA MEZCLA DE PIMIENTOS CORTADOS

2.3.1. PROCESAMIENTO DEL PIMIENTO DE IV GAMA, IRRADIACIÓN GAMMA Y ALMACENAMIENTO

El procesamiento de cada variedad se llevó a cabo en una cámara de refrigeración a 5 ± 1 °C y se siguió el mismo procesamiento descrito en el acápite 2.1.2, con la diferencia que se empacaron las tres variedades en una misma bandeja y las titas se colocaron de manera proporcional dentro de la bandeja para

completar un peso de 120 g por empaque individual. El empaque que se utilizó fue el mejor empaque definido en el objetivo anterior. Para este ensayo se tuvieron dos tratamientos: la mezcla de pimientos irradiados y una muestra sin irradiar como control y de igual manera se almacenarán a una temperatura de 5 °C y una humedad relativa de 90 % por 12 días.

2.3.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD

Se prepararon un total de 60 bandejas de pimiento de IV gama para todo el ensayo, de estas 16 bandejas fueron necesarias para los análisis de la entrada y las dos respectivas salidas y el resto (12 bandejas) se utilizaron para la determinación de CO₂ en el interior del empaque. Para la evaluación de la calidad se midieron los mismos análisis descritos en la sección 2.1.4.

2.4. DETERMINACION DEL EFECTO DE LA RADIACION GAMMA SOBRE TRES COMPUESTOS BIOACTIVOS

2.4.1. MUESTREO

Para determinar el efecto del corte y la irradiación sobre tres compuestos bioactivos presentes en el pimiento de cuarta gama. Se tomaron seis muestras (aproximadamente 50 g cada una) de cada variedad de pimiento. Las muestras fueron tomadas de los cuatro tratamientos descritos en el objetivo 2.3 y los dos tratamientos mencionado en el objetivo 2.4 en los periodos de almacenamiento 0 y 12 días.

Se obtuvo una muestra compuesta de la mezcla de las seis muestras de cada tratamiento, necesaria para la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides.

2.4.2. DETERMINACIÓN DE VITAMINA C, CAROTENOIDES Y COMPUESTOS FENÓLICOS

Se cuantificó el contenido total de compuestos fenólicos, por medio de técnicas espectrofotométricas usando el reactivo de Folin-Ciocalteu (Ghasemnezhad, 2011, p.45). Para la extracción fue necesario aproximadamente 1 g de pimiento congelado y se efectuaron 5 réplicas de la muestra compuesta.

Para vitamina C se requirió 10 g de muestra de pimiento congelado para la extracción y las muestras fueron analizadas como se describe en Vasco (2009, IV-p.5). Para este análisis se efectuaron 3 réplicas de la muestra compuesta

Para la determinación de los carotenoides, 20 g por muestra se necesitaron para la extracción y se analizó conformé lo descrito por Vasco (2009, II-p. 5). De igual manera se realizaron 3 réplicas.

Los procedimientos para la extracción y cuantificación de los compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides se explican con mayor detalle en los Anexos III, IV y V, respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE IRRADIACIÓN PARA CONSERVAR LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA VARIEDAD MÁS RADIOSENSIBLE DE PIMIENTO CORTADO

3.1.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Previamente a determinar la dosis de irradiación se hizo una caracterización físico-química de la materia prima.

3.1.1.1. Parámetros físicos

En la Tabla 3.1 se muestra los resultados de los parámetros físicos de las tres variedades de pimiento.

Tabla 3.1. Parámetros físicos de las tres variedades de pimiento

Variable	Pimiento verde	Pimiento amarillo	Pimiento rojo
Peso (g)	186,75 ± 36,94 ^a	191,73 ± 47,75 ^a	194,35 ± 43,30 ^a
Altura (cm)	15,21 ± 1,43 ^a	11,45 ± 1,39 ^c	13,09 ± 1,39 ^b
Diámetro (cm)	6,64 ± 0,78 ^b	7,42 ± 0,94 ^a	7,73 ± 0,95 ^a
Espesor de la pared del pericarpio (mm)	6,58 ± 0,79 ^a	5,72 ± 0,96 ^b	5,95 ± 0,95 ^b
Firmeza (N)	28,57 ± 5,97 ^b	33,19 ± 4,09 ^a	26,95 ± 5,40 ^b

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 30)

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas dadas por LSD (p<0,05)

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1996:2012, los pimientos de las tres variedades se clasificarían como Grado I, ya que su diámetro es mayor a 50 mm (2012, p. 2). Con respecto a la altura, el pimiento verde es el más largo con una longitud promedio de 15,21 cm que es característico de la variedad Italian-sweet. Los pimientos rojos y amarillos poseen las dimensiones características de la variedad de acuerdo a la Tabla 1.1.

Los pimientos de las tres variedades presentaron un peso mayor a 150 g, por lo que según la norma técnica argentina se consideran pimientos de tamaño grande (SAA040, 2013, p. 7).

Con respecto al espesor del pericarpio, las tres variedades se consideran pimientos de carne gruesa, ya que tienen espesores promedio de 6,58, 5,72 y 5,95 mm para el pimiento verde, amarillo y rojo respectivamente que son valores mayores a los 5 mm tal cual como se describió en el capítulo 1.

Las tres variedades tienen una firmeza promedio de 28,57, 33,19 y 26,95 N para la variedad verde, amarillo y rojo respectivamente, estos valores son mayores a 20 N tal como se reporta en el perfil de firmeza de diferentes tipologías de pimiento presentado por García-García et al. (2014). Una firmeza promedio ≥ 20 N les confiere a los pimientos resistencia a la manipulación y transporte (García-García et al., 2014, p. 10).

3.1.1.2. Parámetros químicos

En la Tabla 3.2 se exponen los resultados obtenidos de la caracterización química de las tres variedades de pimiento.

De acuerdo al contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), se podría decir que las variedades de color amarillo y rojo se encuentran en un estado de madurez mayor que la variedad de color verde, debido principalmente al aumento de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) que se da durante la maduración del fruto, en el caso del pimiento este incremento es del 6 al 8 % de SST (do Nascimento Nunes, 2008, p. 265; Siddiqui, 2002, p. 22). Encalona, Aguayo y Artes (2004) reportaron valores de SST de 7 a 8 para las variedades California wonder (amarillo) y Lamuyo (rojo) (p. 93), y para el pimiento verde se reportó un contenido de SST de 5,1 (Hernández-Fuentes, Campos Montiel, y Pinedo-Espinoza, 2010, p. 87). Estos valores se encuentran en el mismo rango que los encontrados en esta investigación.

Tabla 3.2. Parámetros químicos de tres variedades de pimiento

Variable	Pimiento verde	Pimiento amarillo	Pimiento rojo
Sólidos solubles totales	5,22 ± 0,51 ^b	7,42 ± 0,35 ^a	7,00 ± 0,69 ^a
pH	5,18 ± 0,09 ^a	4,68 ± 0,03 ^c	4,82 ± 0,03 ^b
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0,18 ± 0,04 ^b	0,29 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,02 ^a

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 30)

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas dadas por LSD (p<0,05)

Por los valores de pH y acidez titulable de cada variedad se concluye que el pimiento es un alimento de baja acidez. El pimiento verde posee un mayor pH y una menor acidez titulable en comparación con las variedades de pimiento amarillo y rojo, que tienen un menor pH y una mayor acidez titulable. La variabilidad de estos parámetros entre las variedades se debe al estado de madurez. En un estado de menor madurez el contenido de ácidos orgánicos es menor por ende tienen menores valores de acidez titulable y un mayor pH, mientras que en un mayor estado de madurez hay una mayor producción de ácidos orgánicos y es mayor la acidez titulable y disminuye el pH (Valero y Serrano, 2010, pp. 18–19).

Una vez caracterizada la materia prima y gracias a una investigación previa se determinó que el pimiento amarillo (California wonder) es la variedad con mayor sensibilidad a la radiación (Granja, 2016). Para determinar la mejor dosis de irradiación que conserve la calidad poscosecha de pimiento mínimamente procesado. Se irradiaron 3 grupos de bandejas con pimiento cortado de la variedad amarillo a dosis de 250, 500 y 750 Gy, respectivamente, y como control se tuvo un cuarto grupo de bandejas sin irradiar.

3.1.2. PÉRDIDA DE PESO

Se evaluó la influencia de las diferentes dosis de irradiación (250, 500 y 700 Gy) sobre la pérdida de peso (%) en las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenadas durante 12 días a 5 °C y 90 % de HR. En la Figura 3.1,

se observa el comportamiento de la pérdida de peso (%) con respecto al factor dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

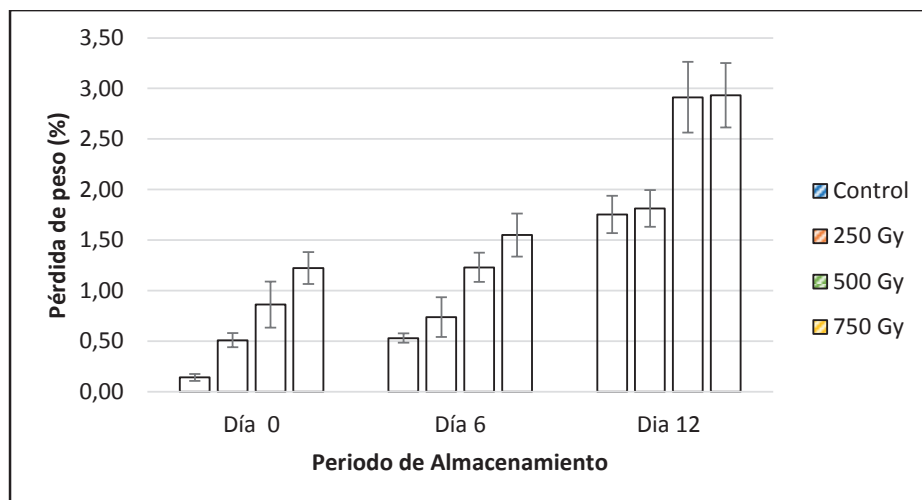


Figura 3.1. Comportamiento de la variable pérdida de peso (%) de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado, irradiadas a dosis de 250, 500 y 750 Gy y de un control (sin irradiar) y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)

Del análisis ANOVA de la Tabla AVI.1 del Anexo VI se deduce que los factores dosis de irradiación y el factor de bloqueo (tiempo de almacenamiento) tienen una influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre la pérdida de peso (%) del pimiento amarillo cortado.

Se observa que a una mayor dosis de irradiación se tiene una mayor pérdida de peso y de igual manera un mayor tiempo de almacenamiento contribuye a una mayor pérdida de peso. La pérdida de peso está estrechamente relacionada con la pérdida de agua causada principalmente por la operación de corte en el procesamiento, que aumenta el área superficial del tejido haciendo que el agua esté fácilmente disponible al ambiente y aumentando drásticamente la tasa de evaporación (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 108; Rivera-López, Vazques-Ortiz, Ayala-Zavala, Sotelo-Mundo, y Gonzalez-Aguilar, 2005, p. 485).

En la Figura 3.2 se observa los gráficos de medias e intervalos LSD de los factores dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento para la este parámetro.

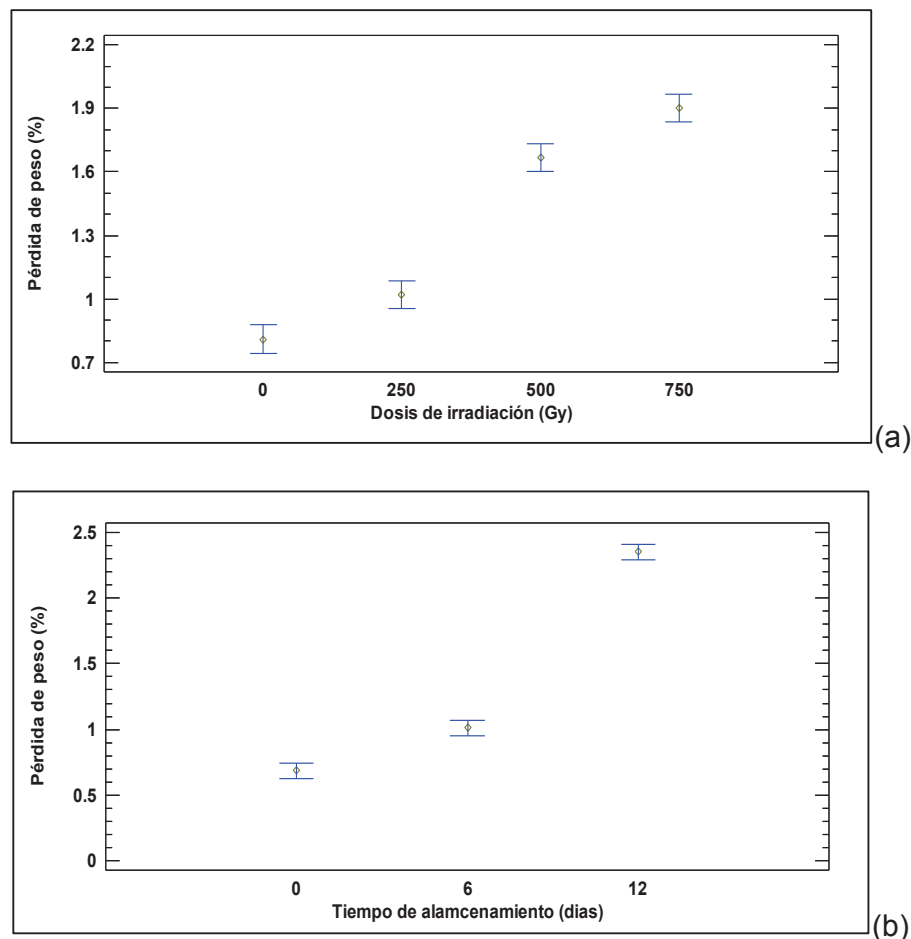


Figura 3.2. Gráficos de medias e intervalos LSD de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para la variable pérdida de peso de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR (n=6)

Adicionalmente, dosis de irradiación altas sobre los PMP pueden exceder el límite de tolerancia máxima de las materias vegetales a la irradiación, ocasionando la considerable pérdida de la calidad del producto. Por las altas dosis de irradiación también hay un aumento de la respiración, pérdida de la integridad celular y la pérdida de peso (Fan y Sommers, 2006, p. 169; Prakash y Foley, 2004, p. 97). Si se suman los efectos del procesamiento mínimo con los efectos provocados por la irradiación a dosis altas se tiene un efecto aditivo en contra de la calidad del producto.

Las tres dosis de irradiación mostraron ser diferentes significativamente y en comparación con el control tal como lo muestra la Figura 3.2a. Las dosis que

mostraron una mayor pérdida de peso fueron las dosis de 500 y 750 Gy con valores que llegaron casi al 2 %. Mientras la dosis de 250 Gy fue la que menores pérdidas de peso obtuvo en comparación a las otras dos dosis, aunque siguió siendo mayor que el tratamiento sin irradiar. En la Figura 3.2b, se ve que el tiempo de almacenamiento contribuyó a un aumento en la pérdida de peso debido principalmente al proceso de respiración que tiene el producto y que se da en todo el almacenamiento, del 10 % al 20 % de las pérdidas podrían deberse a la pérdida de carbono por la respiración (Rivera-Lopez et al., 2005, p. 485).

3.1.3. FIRMEZA

Se determinó la influencia de las diferentes dosis de irradiación (250, 500 y 700 Gy) sobre la Firmeza (N) en las tiras de pimiento amarillo almacenadas durante 12 días a 5 °C y 90 % de HR. En la Figura 3.3, se observan los resultados obtenidos para la firmeza (N) con respecto a los factores dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento.

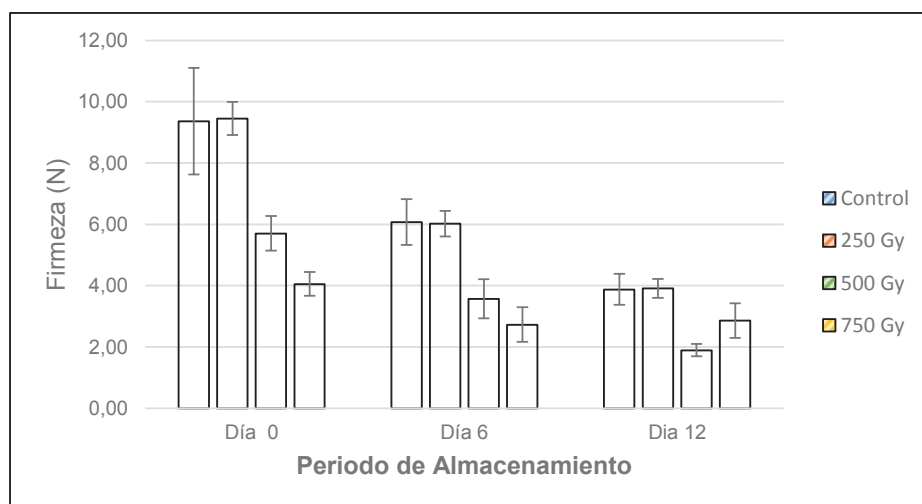


Figura 3.3. Evolución de la variable firmeza (N) de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado, irradiadas a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)

El ANOVA muestra que el factor dosis de irradiación y el factor tiempo de almacenamiento si tienen influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre

la firmeza del pimiento amarillo mínimamente procesado como se evidencia en la Tabla AVI.2 del Anexo VI.

En la Figura 3.4 se observa los gráficos de medias e intervalos LSD de los factores dosis de irradiación y tiempo de almacenamiento para la firmeza (N).

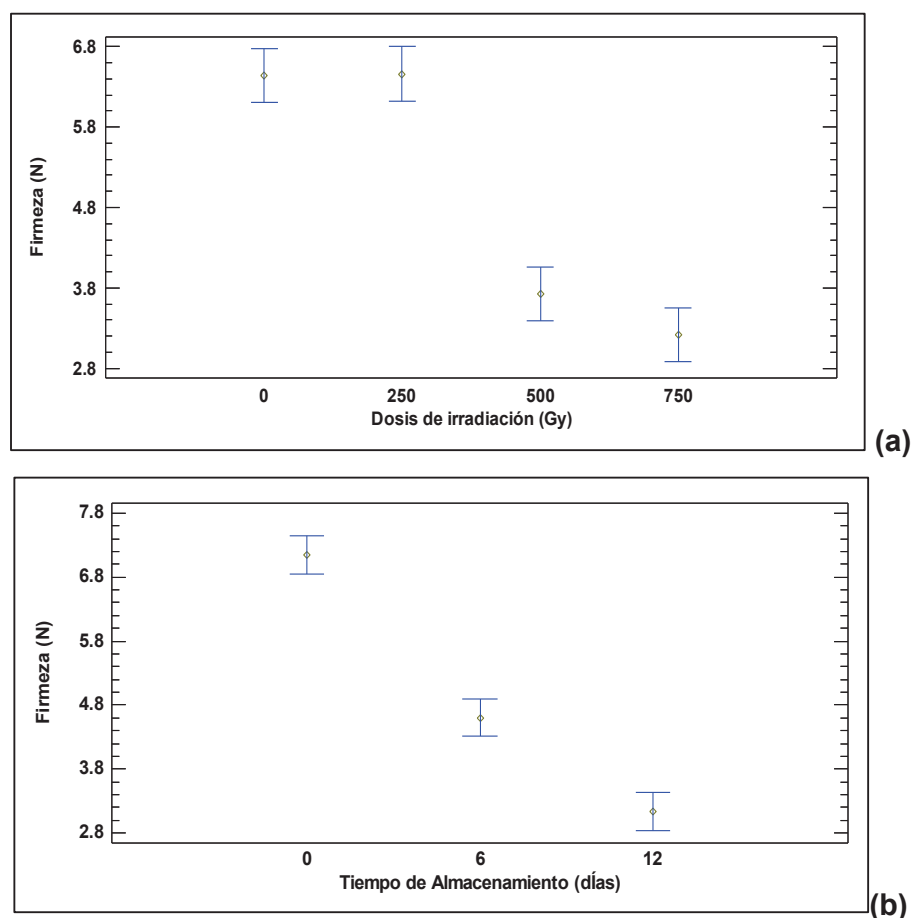


Figura 3.4. Gráficos de medias en intervalos LSD de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para la firmeza del pimiento amarillo mínimamente procesado y almacenados a 5 °C y 90 % de HR (n=6)

En la Figura 3.4a se observa que no existieron diferencias significativas entre la dosis de 250 Gy y el tratamiento sin irradiar. Por tanto la dosis de 250 Gy no afectó la firmeza del pimiento amarillo cortado pues se observa en la Figura 3.3 que esta dosis conserva los mismos valores de firmeza que el tratamiento control. En contraste las dosis de 500 y 750 Gy sí mostraron ser diferentes significativamente comparadas con el control y se observa que estos tratamientos

tuvieron una menor firmeza durante todo el almacenamiento en comparación con el control y la dosis de 250 Gy. Estos resultados demuestran que dosis a partir de 500 Gy tienen un efecto negativo sobre la firmeza del pimiento mínimamente procesado.

El factor de bloqueo tiempo de almacenamiento también tuvo un efecto significativo sobre la firmeza como se muestra en la Figura 3.4b. Debido principalmente a procesos de senescencia de los tejidos vegetales, pues se da la degradación enzimática de las pectinas que son las responsables de la firmeza y elasticidad en los tejidos (Barat et al., 2007, p. 375).

En un estudio en lechuga Romana mínimamente procesada y empacada en atmosfera modificada (1,5 % O₂ y 4 % CO₂) que fue irradiada a dosis de 0, 150 y 350 Gy y almacenada a 4 °C por 21 días, también se observó que a la mayor dosis irradiación de 350 Gy, las lechugas fueron significativamente menos firmes y además que hubo pérdida de firmeza en el tiempo de almacenamiento (Prakash, Guner, Caporaso, y Foley, 2000, p. 551).

La firmeza es uno de los factores de calidad más sensibles a la irradiación incluso a dosis bajas y el efecto sobre los PMP es variada. El ablandamiento estructural atribuido a la irradiación se ha relacionado con la despolimerización parcial de los polisacáridos de la pared celular y a cambios en las sustancias pécticas y de otros componentes celulares como: celulosa, hemicelulosa y enzimas pécticas. Además se suma la hidrólisis de los poligalacturonidos y celulosa en fracciones de menor peso molecular y la pérdida de turgencia debida al daño por corte de las membranas celulares que también contribuyen al ablandamiento (Prakash et al., 2000, p. 551; Prakash y Foley, 2004, p. 99).

Las pérdidas de calidad causadas por altas dosis de irradiación podrían ser minimizadas con el uso de bajas dosis de irradiación en combinación con otros tratamientos poscosecha (Gomez-Lopez, 2012, p. 392). Por ejemplo en cebollas verdes recién cortadas y sometidas a una inmersión en agua caliente (50 °C por 20 s) e irradiadas a dosis de 0, 0,5, 1,0 y 1,5 kGy, que fueron almacenadas a 4 °C

por 14 días, se observó que la combinación de la irradiación con inmersión en agua caliente fue favorable, ya que los tratamientos sin irradiar tuvieron los valores de firmeza más bajos (Kim, Feng, Toshkov, y Fan, 2006, p. 183).

3.1.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Se determinó la influencia de las diferentes dosis de irradiación (250, 500 y 700 Gy) sobre la calidad visual de las tiras de pimiento amarillo cortado almacenadas durante 12 días a 5 °C y 90 % de HR. La calidad visual fue evaluada a través de tres atributos: turgencia, marchitez y presencia de patógenos y estos atributos fueron valorados de acuerdo a la Tabla 2.1 en cada periodo de almacenamiento.

En la Tabla 3.3 se muestran los valores promedios obtenidos para cada uno de los atributos para la evaluación de la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Tabla 3.3. Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Atributo	Periodo de almacenamiento	Dosis de irradiación (Gy)			
		0	250	500	750
Turgencia	0 días*	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a	4,00±0,00 ^b
	6 días	4,83±0,41 ^a	4,50±0,55 ^a	3,17±0,41 ^b	3,00±0,00 ^b
	12 días	3,00±0,00 ^a	2,83±0,41 ^a	2,00±0,00 ^b	2,00±0,00 ^b
Marchitez	0 días	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a	4,17±0,41 ^a	4,00±0,00 ^a
	6 días	4,83±0,41 ^a	4,50±0,55 ^a	3,00±0,00 ^b	3,00±0,00 ^b
	12 días	2,67±0,82 ^a	2,50±0,55 ^a	2,00±0,00 ^b	2,00±0,00 ^b
Presencia de patógenos	0 días	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a
	6 días	4,33±0,52 ^a	4,50±0,55 ^b	5,00±0,00 ^a	5,00±0,00 ^a
	12 días	3,50±0,55 ^b	3,83±0,41 ^b	4,00±0,00 ^a	4,00±0,00 ^a

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

En la Figura 3.5a se observó que las dosis de 500 y 750 Gy fueron diferentes significativamente en comparación con el control ya que presentaron una considerable disminución de la turgencia. La dosis de 250 Gy también presentó una menor turgencia pero no fue significativamente diferente con relación al tratamiento sin irradiar.

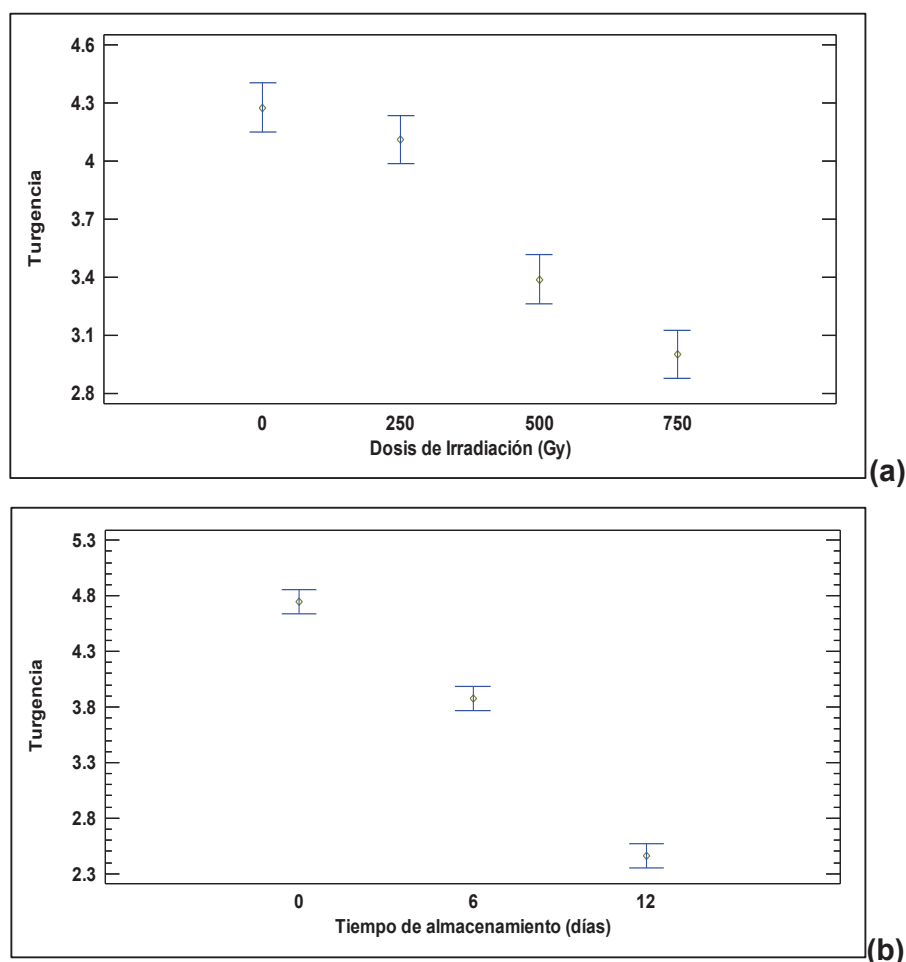


Figura 3.5. Gráficos de medias en intervalos LSD de los factores (a) dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo turgencia del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR (n=6)

Los tres atributos disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) con en tiempo de almacenamiento, así se observa para la turgencia en la Figura 3.5b y como se explicó anteriormente por causa del corte, los procesos fisiológicos propios de los vegetales se aceleran durante el tiempo de almacenamiento y causan el ablandamiento y la pérdida de los atributos visuales y sensoriales y por ende una

disminución en la calidad de los vegetales IV gama y un acortamiento en la vida útil del producto (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, pp. 341–342).

La turgencia del pimiento amarillo cortado se mantuvo con una valoración de 4 a 5 (frescos) tanto para el tratamiento control como para la dosis de 250 Gy, en cambio para las dosis de 500 y 750 Gy las tiras de pimiento se presentaron ligeramente secas en el primer periodo de almacenamiento. En el último periodo de almacenamiento se tuvo tiras de pimiento medianamente secas para los tratamientos control y 250 Gy y pimientos secos para las dosis de 500 y 750 Gy.

La disminución de la turgencia está directamente relacionada con la pérdida de peso, específicamente pérdida de agua superficial como se explicó en la sección 3.1.2, y para este caso con las dosis de 500 y 750 Gy se registró una mayor pérdida de peso y por ende una disminución de la turgencia.

Las dosis de 250, 500 y 750 Gy mostraron menores valores de marchitez, sin embargo solo las dosis de 500 y 750 fueron diferentes significativamente en comparación con el control, así lo evidencia la Figura 3.6.

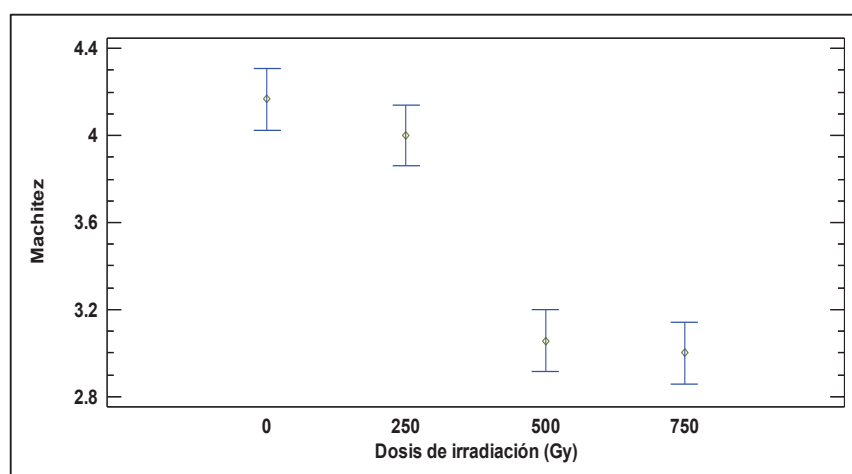


Figura 3.6. Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación: (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo marchitez del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=6)

Las tiras de pimiento amarillo mínimamente procesado presentaron una marchitez discreta (4-5) para las dosis de 500 y 750 Gy en el primer periodo de

almacenamiento (0 días), mientras que la dosis de 250 no presentó marchitez alguna al igual que el control. A los 6 días de almacenamiento la marchitez fue discreta para el control y la dosis de 250 Gy mientras que para las dosis de 500 y 750 Gy paso de discreta a moderada. Finalmente en el último periodo todos los tratamientos presentan una marchitez de moderada a severa como se observa en la Tabla 3.3. La marchitez en los pimientos cortados está relacionada con la pérdida de peso y la firmeza.

Con respecto a la presencia de patógenos se tuvo que el factor dosis de irradiación sí tuvo influencia estadísticamente significativamente sobre este atributo. Las dosis de 500 y 750 Gy presentaron una incidencia baja de patógenos por ello tienen las puntuaciones más altas y son estas dosis las que presentaron diferencias significativas con respecto al control como se observa en la Figura 3.7.

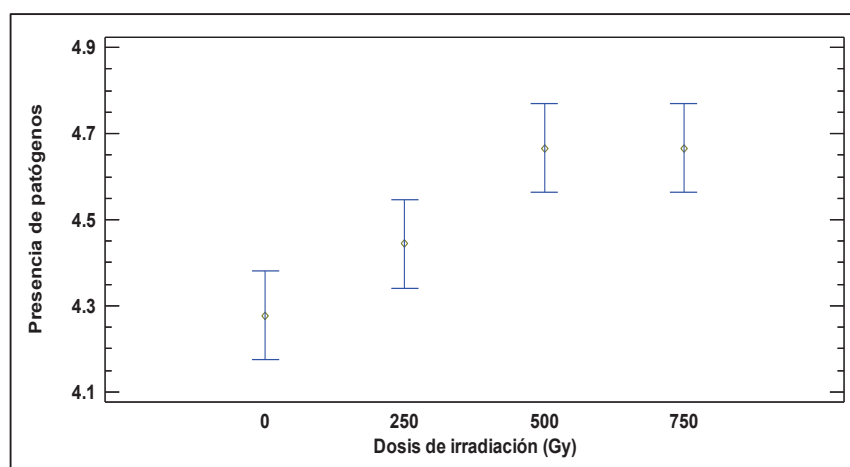


Figura 3.7. Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo presencia de patógenos en el pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=6)

Al final del almacenamiento los pimientos irradiados a 500 y 750 Gy tuvieron una escasa presencia de patógenos y no se observó ninguna señal de pudrición, presencia de machas o puntos, lo que corrobora lo encontrado en bibliografía que altas dosis (>500 Gy) de irradiación tienen la finalidad de controlar e inactivar microorganismos (Fan y Sommers, 2006, p. 170). Sin embargo sobre la superficie de corte de algunas tiras de pimiento expuestas a 0 y 250 Gy y se observó la presencia de pudrición blanda a los 12 días de almacenamiento.

De las puntuaciones dadas a los atributos de turgencia, marchitez y presencia de patógenos se obtiene un índice de calidad visual por atributo, estos índices son promediados para obtener el índice global de calidad visual. El índice de calidad visual fue determinado para cada dosis y en cada periodo de almacenamiento así como para el control y los resultados se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Índices globales de calidad visual de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
	0	250	500	750
0 días*	A	A	A	A
6 días	A	A	B	B
12 días	B	B	C	C

* Tiempo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

A: 4-5 mantiene las características iniciales

B: 3-4 presenta deterioro, pero es apto para el consumo

C: <3 no apto para la comercialización

En general las dosis de 500 y 750 Gy tuvieron un efecto negativo sobre la calidad visual global del pimiento cortado, ya que únicamente llegaron a ser aptos para el consumo hasta los 6 días de almacenamiento. Por el contrario la dosis de 250 Gy y el control mostraron mantener las características iniciales a los 6 días de almacenamiento mientras que a los 12 días de almacenamiento, las tiras de pimiento a pesar de presentar deterioro todavía eran aptas para el consumo. Por tanto la dosis de 250 Gy demostró conservar de mejor manera la calidad visual global del pimiento amarillo mínimamente procesado.

3.1.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SENSORIAL

Se evaluó la influencia de las diferentes dosis de irradiación (250, 500 y 700 Gy) sobre la calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenado durante 12 días a 5 °C y 90 % de HR. En la evaluación de la calidad sensorial se consideraron los siguientes atributos: apariencia general, aroma,

dureza, color y presencia de sabores y olores extraños. Estos atributos fueron evaluados por 12 panelistas semi-entrenados y en cada periodo de almacenamiento. En la Tabla AVII.1 del Anexo VII se encuentran los resultados obtenidos para cada atributo sensorial.

La apariencia general de las tiras de pimiento amarillo disminuyó con el tiempo de almacenamiento, estadísticamente se verificó que este factor si tuvo influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre este atributo como se observa en la Tabla AVIII.1 del Anexo VIII. Este atributo tuvo una puntuación de entre 7-8 a los 0 días inmediatamente después del proceso de irradiación, que indica que el pimiento tuvo una buena apariencia general. Pero a los 12 días de almacenamiento la valoración de los panelista fue de 4-5 para las dosis de 500 y 750 Gy que indica que el producto mostró mayores signos de deterioro, mientras que la dosis de 250 Gy y el control se conservaron entre 6 y 7 que indica que el producto aún se conserva fresco.

De acuerdo con la Figura 3.8 la dosis de 250 Gy conservó de mejor manera el atributo de apariencia general al igual que el tratamiento control, mientras que las dosis de 500 y 750 Gy mostraron tener una menor puntuación que el control pero únicamente la dosis de 750 Gy fue significativamente diferente.

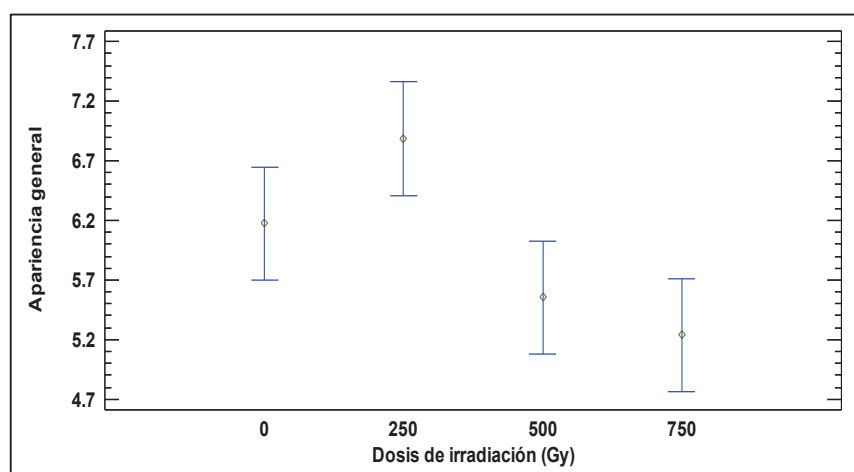


Figura 3.8. Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo apariencia general de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=12)

La apariencia general se evalúa de manera visual por tanto al comparar los resultados obtenidos con los observados en la evaluación de la calidad visual se tuvo que son concordantes, la dosis de 250 Gy conserva de mejor manera comparada con el control la calidad visual y apariencia del pimiento amarillo cortado en tiras. Este atributo es importante para el consumidor, pues este juzga la calidad de las frutas y verduras frescas en base a su apariencia y frescura en el momento de la compra (Gómez-López, 2012, p. 390).

Para el aroma, se observó que las dosis de irradiación sí tuvieron una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre este atributo, todas las dosis presentaron menor aroma en relación con el control, pero solo la dosis de 500 Gy mostró ser significativamente diferente en comparación con el control. Mientras la dosis de 250 Gy mostró ser la que menos pérdidas de aroma reportó. En general los panelistas calificaron el aroma de los pimientos con valores mayores a 7, lo que indica que los pimientos tuvieron un intenso sabor y olor característico tal como se muestra en la Tabla AVII.1.

En la Figura 3.9 se observa el gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación para el atributo dureza de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado.

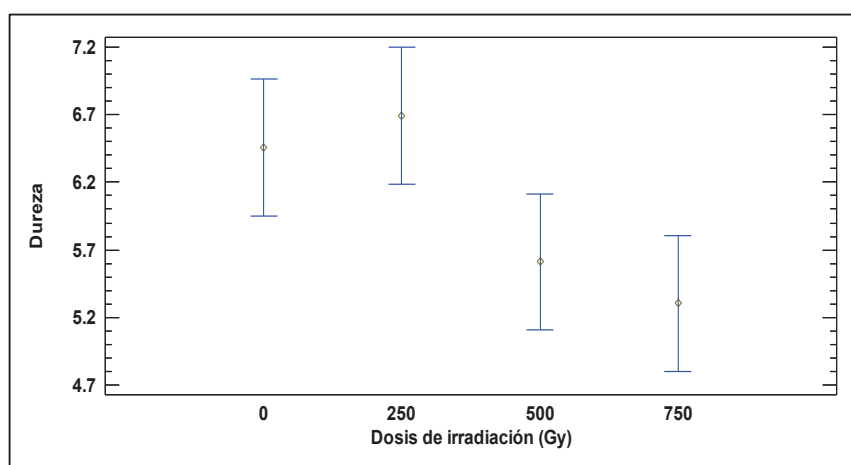


Figura 3.9. Gráfico de medias en intervalos LSD del factor dosis de irradiación (0, 250, 500 y 750 Gy) para el atributo dureza de las bandejas de pimiento amarillo mínimamente procesado almacenados a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días (n=12)

Las puntuaciones de la dureza fueron menores para las dosis de 500 y 750 Gy registrando valores menores a 5 a los 0, 6 y 12 días de almacenamiento. Estadísticamente la dosis de 750 Gy fue significativamente diferente al control como se presenta en la Figura 3.9. La dosis de 250 Gy mostró ser la dosis con mayor puntuación al igual que el control, esta dosis registró valores promedios de 8 y 6 a los 0 y 12 días de almacenamiento respectivamente. Este atributo tuvo un comportamiento similar al registrado en la firmeza lo cual resulta lógico ya que la dureza está directamente relacionada con la firmeza.

El color y la presencia de sabores y olores extraños no fueron influenciados significativamente ($p > 0,05$) por el factor dosis de irradiación como se indica en las Tablas AVIII.4 y AVIII.5 del Anexo VIII. Para el color, se registraron puntuaciones mayores a 5 en todos los tratamientos que indica que se tuvo un color fuerte, mientras que para la presencia de olores extraños fue puntuada con valores menores a dos lo que indica que hubo una mínima presencia debida al almacenamiento lo que los panelistas calificaron como “sabor a guardado”.

Globalmente las dosis de 500 y 750 Gy mostraron tener un efecto negativo sobre los atributos sensoriales especialmente en apariencia general, aroma y dureza. Por el contrario la dosis de 250 mostró conservar la calidad sensorial. Un comportamiento similar se observó en tomate cortado en cubos y empacado en PET que fueron irradiados a dosis de 0, 0,5, 1,24 y 3,70 kGy y almacenados a 4 °C por 8 días, los tomates mostraron que altas dosis de irradiación afectan fuertemente las propiedades de aroma y textura del tomate especialmente a las dosis de 1,24 y 3,70 Gy (Prakash, Manley, DeCosta, Caporaso, y Foley, 2002, p. 390). En cambio en tallos de apio cortados e irradiados a dosis de 0, 0,5, 1,0 y 1,5 kGy almacenados por 9 días a 4 °C, la dosis que mejor conservó la calidad sensorial fue la de 1,0 kGy, que es considerada una dosis alta (Lu, Yu, Gao, Lu y Zhang, 2005, p. 351).

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos en este objetivo, se determinó que la pérdida de peso y firmeza fueron las variables más afectadas por la irradiación. Sin embargo la dosis de 250 Gy demostró conservar la firmeza y

tener una menor pérdida de peso en el pimiento amarillo mínimamente procesado. También esta dosis tuvo buenos resultados para los atributos de calidad visual y sensorial. Por tanto esta dosis es la seleccionada para trabajar en los siguientes objetivos.

3.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO COMBINADO DE LA IRRADIACIÓN GAMMA Y EL USO DE EMPAQUES EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE 3 VARIEDADES DE PIMIENTO DE IV GAMA

En el objetivo anterior se seleccionó la dosis de 250 Gy como dosis de trabajo. Por tanto para este estudio se utilizó un diseño factorial 2^2 para cada una de las variedades de pimientos, en donde las variables de diseño fueron tratamiento: sin irradiación (SI) y con irradiación (I); y tipo de material de empaque: bandeja PET (PET) y bandeja de poliestireno cubierta con film de PVC (PVC).

Para el efecto se elaboraron 120 bandejas de pimiento mínimamente procesado para cada una de las variedades. Del total de bandejas, 60 fueron empacadas en PET y las otras 60 en PVC, la mitad de las bandejas de cada tipo de empaque 30 de PET y 30 de PVC fueron irradiadas a la dosis de 250 Gy. Todas las bandejas fueron almacenadas en una cámara de refrigeración a 5 °C y 90 % de HR por un tiempo de almacenamiento de 12 días. A los 0, 6 y 12 días se evaluaron parámetros físicos, químicos, generación de CO₂ en el interior del empaque y calidad visual, sensorial y microbiológica.

3.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS

3.2.1.1. Pérdida de peso

Se estudió el efecto del tipo de tratamiento (sin irradiación y con irradiación) y tipo de empaque (PET y PVC) sobre el parámetro pérdida de peso (%) de las tres

variedades de pimiento mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos para cada una de las variedades se muestran en la Tabla 3.5.

Para las tres variedades de pimiento hubo un aumento en el porcentaje de pérdida de peso conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, como se observa en la Figura 3.10. En general las mayores pérdidas de peso se registraron para el tratamiento irradiado y empacado con film de PVC (I-PVC) en los tres periodos de almacenamiento (0, 6 y 12 días) y para las tres variedades, aunque la variedad de color verde registró el mayor porcentaje de pérdida de peso con 1,72 % en el 12vo día de almacenamiento.

Tabla 3.5. Resultados de la pérdida de peso (%) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días*	0,09±0,03 ^a	0,22±0,05 ^{bc}	0,18±0,04 ^b	0,47±0,09 ^c
	6 días	0,14±0,01 ^a	0,24±0,05 ^b	0,70±0,09 ^c	0,83±0,10 ^d
	12 días	0,26±0,04 ^a	0,37±0,07 ^b	0,95±0,06 ^c	1,72±0,10 ^d
Pimiento amarillo	0 días	0,04±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a	0,32±0,09 ^b	0,32±0,07 ^b
	6 días	0,07±0,01 ^a	0,11±0,04 ^a	0,53±0,10 ^b	0,76±0,08 ^c
	12 días	0,15±0,03 ^a	0,24±0,09 ^a	0,94±0,12 ^b	1,35±0,09 ^c
Pimiento rojo	0 días	0,18±0,04 ^a	0,19±0,06 ^a	0,21±0,08 ^a	0,41±0,07 ^b
	6 días	0,52±0,08 ^a	0,58±0,07 ^a	0,61±0,04 ^b	0,85±0,08 ^c
	12 días	0,73±0,04 ^a	1,29±0,05 ^{ab}	1,34±0,03 ^b	1,54±0,06 ^c

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Mediada tomada inmediatamente después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

Para este parámetro se evidenció nuevamente que a pesar que el tratamiento irradiado y empacado en bandeja PET (I-PET) tiene considerables mínimas pérdidas de peso, estas pérdidas aún siguen siendo mayores en comparación con el tratamiento sin irradiar y empacado en bandeja PET (SI-PET). Este

comportamiento es similar al encontrado en el primer objetivo donde se determinó que la dosis de 250 Gy a pesar de ser una dosis baja si afecta en la pérdida de peso. En este ensayo se mantiene el mismo comportamiento en las tres variedades. A pesar de esto cabe recalcar que la inclusión de un nuevo material de empaque (PET) disminuyó considerablemente las pérdidas de peso, ya que para la dosis de 250 Gy en el primer objetivo se tuvo pérdidas de peso de 0,51 y 1,81 % a los 0 y 12 días de almacenamiento, respectivamente, mientras que en este ensayo para el pimiento rojo, que es el que mayores pérdidas obtuvo para el tratamiento I-PET se tuvo 0,19 y 1,29 % de pérdida de peso para los mismos periodos de almacenamiento, respectivamente.

En la Figura 3.10c se tiene que el pimiento rojo presentó las mayores pérdidas de peso durante todo el almacenamiento en comparación con los pimientos de las otras dos variedades. Las mayores pérdidas de peso se pudieron deber que en un estado de mayor madurez el tejido del vegetal con la operación de corte tiende a tener un mayor deterioro por los procesos de senescencia que generaran un mayor ablandamiento y por ende una mayor pérdida de agua (Rodoni, 2014, pp. 57–58; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, pp. 99–100).

Como ya se mencionó el film de PVC registró las mayores pérdidas de peso, tanto para los tratamientos sin irradiar como irradiados, esto se debe a que el PVC no es una buena barrera al vapor de agua ya que tiene una mayor permeabilidad al mismo (Caleb, Mahajan, Al-Said, y Opara, 2013, pp. 308–311). Similares resultados se encontraron en cabezas de brócoli fresco empacadas en cuatro diferentes materiales de empaque: polipropileno orientado (OPP), dos fórmulas diferentes de polietileno de baja densidad (LDPE) y cloruro de polivinilo (PVC) y almacenadas durante 4 semanas a 4 y 10 °C con 85-90 % de HR, donde la mayor pérdida de peso se registró en las cabezas de brócoli empacadas en PVC, con una velocidad de transmisión de vapor de agua de 20-70 veces mayor que los otros materiales de empaque (Jacobsson, Nielsen, y Sjöholm, 2004, p. 159).

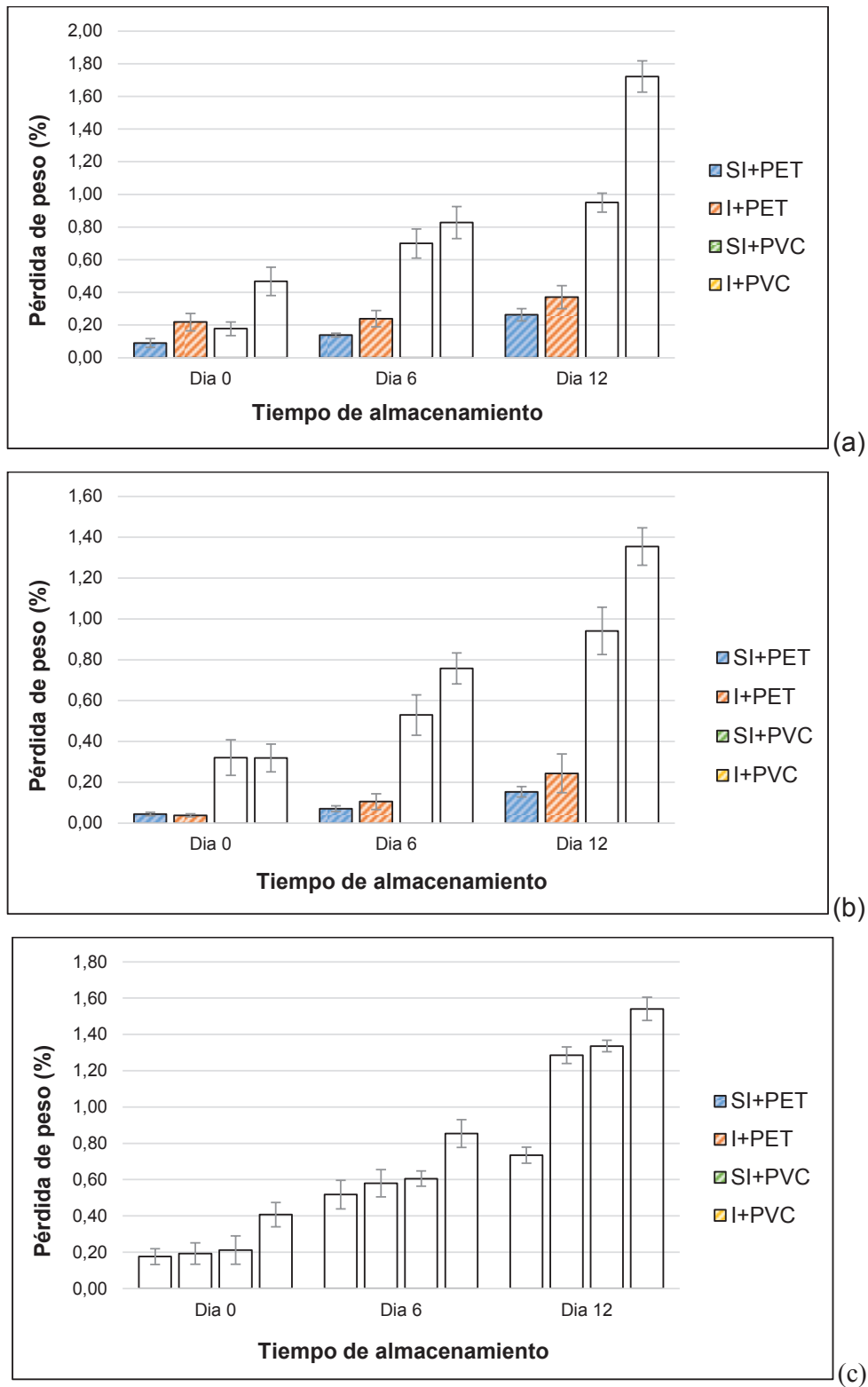


Figura 3.10. Evolución de la variable pérdida de peso (%) de las variedades de pimiento (a) verde, (b) amarillo y (c) rojo mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6).

En productos mínimamente procesados se observó un resultado similar en pitahaya mínimamente procesada, cuyas rodajas fueron empacadas en recipientes de polipropileno rígido y tapadas con diferentes films: polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo (PVC) y las bandejas se almacenaron a 4 y 8 °C y durante 28 días, la mayor pérdida de peso se registró en las bandejas cubiertas con film de PVC y se lo relaciono con la alta permeabilidad del material al vapor de agua (Vargas et al., 2010, p. 156).

3.2.1.2. Firmeza

Se evaluó la influencia de los factores tipo de tratamiento (sin irradiación y con irradiación) y tipo de empaque (PET y PVC) sobre el parámetro firmeza (N) de las bandejas de tres variedades de pimiento mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos para cada una de las variedades se muestran en la Tabla 3.6 y el comportamiento de la firmeza se muestra en la Figura 3.11.

Tabla 3.6. Resultados de la firmeza (N) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días*	11,21±0,49 ^a	11,55±0,50 ^a	11,09±0,95 ^a	11,12±0,36 ^a
	6 días	9,59±0,44 ^a	10,60±0,32 ^b	9,37±0,69 ^a	9,41±0,44 ^a
	12 días	7,47±0,38 ^a	8,46±0,48 ^c	7,31±0,25 ^a	7,80±0,43 ^b
Pimiento amarillo	0 días	9,15±0,73 ^a	9,61±0,83 ^a	9,33±0,71 ^a	9,29±0,53 ^a
	6 días	8,12±1,20 ^a	9,04±0,99 ^a	8,49±0,62 ^a	8,08±0,89 ^a
	12 días	5,02±0,27 ^a	7,01±0,40 ^c	5,08±0,27 ^a	5,70±0,39 ^b
Pimiento rojo	0 días	8,69±0,62 ^a	9,19±0,73 ^a	8,21±0,58 ^a	8,38±0,69 ^a
	6 días	7,65±0,44 ^a	8,86±0,45 ^b	7,80±0,69 ^a	7,95±0,65 ^a
	12 días	5,39±0,58 ^{ab}	6,02±0,72 ^b	2,96±0,71 ^a	5,03±0,63 ^{ab}

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

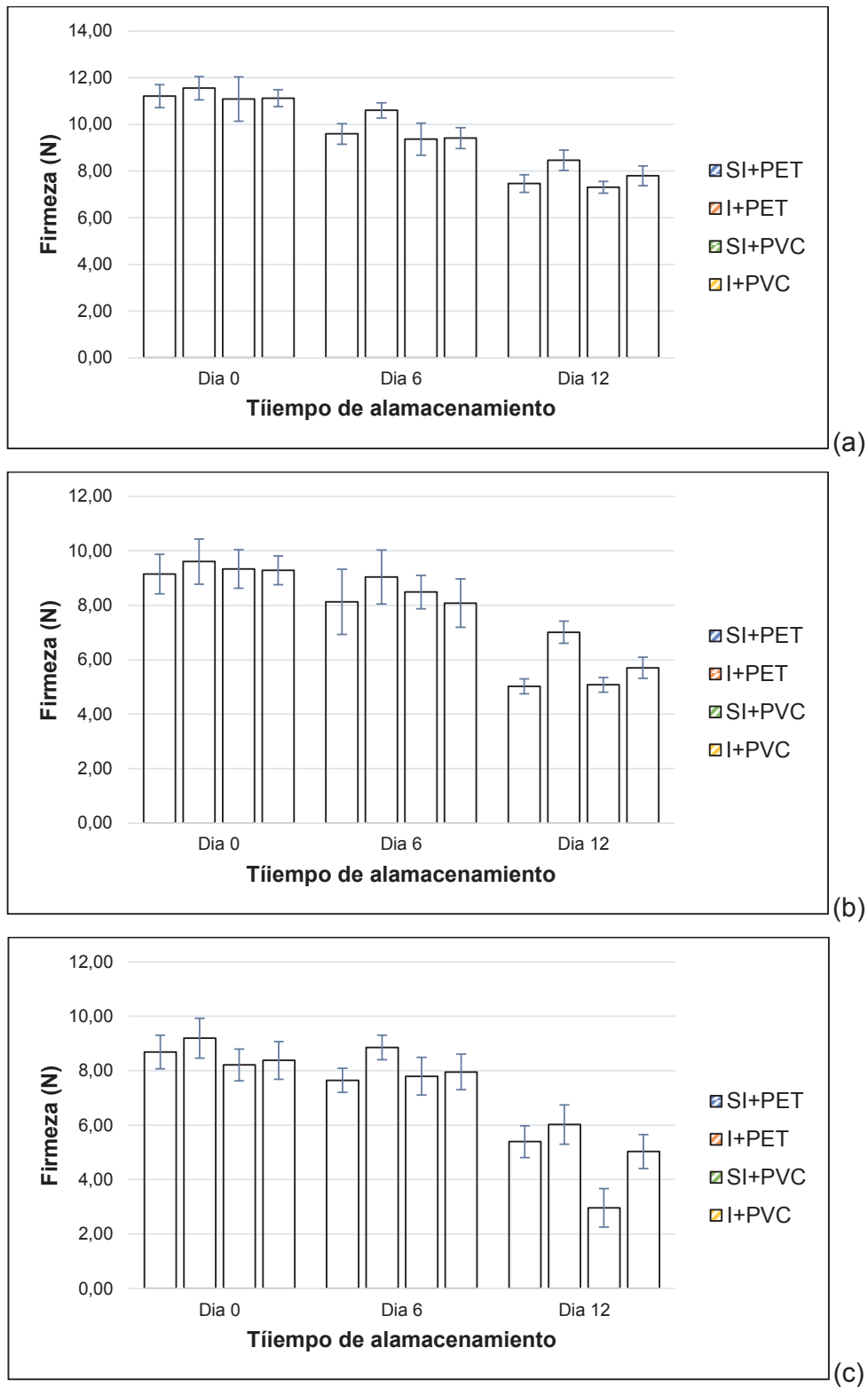


Figura 3.11. Evolución de la variable Firmeza (N) de las variedades de pimiento (a) verde, (b) amarillo y (c) rojo mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6).

Estadísticamente, para el segundo periodo de almacenamiento (6 días), la firmeza del pimiento verde se vio influenciada ($p < 0,05$) por los 2 factores (tipo de tratamiento y empaque) y para la variedad de color rojo solamente el factor tipo de tratamiento (sin irradiar o irradiado) influyó significativamente ($p < 0,05$) sobre la firmeza. Finalmente, a los 12 días de almacenamiento tanto el tipo de tratamiento como el tipo de empaque tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la firmeza de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado.

En general la firmeza de las tres variedades disminuyó durante el tiempo de almacenamiento. Las menores pérdidas de firmeza se registraron para la variedad de color verde en comparación con las otras dos variedades y se debe principalmente a su estado de madurez como lo indica Soliva-Fortuny, Alos-Saiz, Espachs-Barroso, y Martín-Belloso, en un estudio realizado sobre la influencia del estado de madurez en los atributos de calidad de pera mínimamente procesada, y con respecto a la firmeza hubo una mayor retención de la misma durante el tiempo de almacenamiento por parte de las peras que no estaban maduras en comparación a las peras parcial o completamente maduras (2004, pp. S292–S294).

El tratamiento que tuvo las menores pérdidas de firmeza durante el almacenamiento fue el irradiado y almacenado en empaque PET (I-PET) como se observa en la Tabla 3.6, esta conducta se denota más en el último periodo de almacenamiento (12 días), donde además se tiene que para las tres variedades este tratamiento es estadísticamente diferente ($p < 0,05$) en comparación con los otros tratamientos y también este tratamiento coincide con el que registró las menores pérdidas de peso. La pérdida de firmeza en PMP en parte se atribuye a la pérdida de agua durante el almacenamiento debido principalmente la corte (Siddiqui, 2002, p. 23), por tanto menores pérdidas de agua significa tener productos con mayor firmeza y turgencia.

En el objetivo anterior se determinó que la dosis de 250 Gy ayuda a conservar la firmeza del pimiento mínimamente procesado. En este objetivo se mantiene el mismo comportamiento, puesto que los pimientos sin irradiar se mantuvieron

menos firmes especialmente los empacados en PVC, pues este tratamiento (SI-PVC) fue el que registró la firmeza más baja de 2,96 N para el pimiento rojo a los 12 días de almacenamiento, en cambio el empaque PET ayudó a mantener la firmeza del pimiento mínimamente procesado de las tres variedades. El mismo resultado se reportó en carambola fresh-cut empacada en tres diferentes empaques: bolsas de poliolefina (PLO), bandejas de poliestireno envueltas con película de cloruro de polivinilo (PVC) y bandejas de polietileno tereftalato (PET) y almacenada a 6,8 °C por 12 días, se observó que las rebanadas almacenadas en PVC estaban marchitadas y blandas a partir del 8vo día de almacenamiento mientras que los otros dos empaques entre ellos el PET aún mantenían las características de firmeza de la carambola (Teixeira, Durigan, Alves, y O'Hare, 2010, p. 83).

3.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

3.2.2.1. Contenido de sólidos solubles totales (STT)

En la Tabla 3.7 se registran los resultados obtenidos para el contenido de sólidos solubles totales en cada uno de los periodos de almacenamiento y para las tres variedades de pimiento mínimamente procesado.

El comportamiento del contenido de SST fue variado para cada una de las variedades de pimiento.

El pimiento verde registró un menor contenido de SST en comparación con las otras dos variedades. El contenido de SST en este pimiento tuvo un incremento durante el almacenamiento y se dio en todos los tratamientos como se observa en la Tabla 3.7. Esto se debe principalmente al estado de madurez del pimiento, en un estado de menor madurez el contenido de SST es menor que las variedades de pimiento maduras. El aumento de SST está relacionado con la degradación de polisacáridos y la acumulación de azúcares debido a procesos metabólicos relacionados con la maduración (Ghasemnezhad et al., 2011, p. 46; Ramana Rao,

Gol, y Shah, 2011, p. 21). El pimiento amarillo también aumentó en el contenido de SST durante el almacenamiento en todos los tratamientos.

Tabla 3.7. Resultados del contenido de sólidos solubles totales (° Brix) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días*	4,32 ± 0,08 ^b	4,05 ± 0,29 ^a	4,52 ± 0,43 ^b	4,30 ± 0,20 ^a
	6 días	4,63 ± 0,15 ^a	4,30 ± 0,14 ^a	4,33 ± 0,20 ^a	4,52 ± 0,17 ^a
	12 días	4,80 ± 0,38 ^b	4,48 ± 0,15 ^a	4,83 ± 0,32 ^b	4,45 ± 0,40 ^a
Pimiento amarillo	0 días	7,23 ± 0,42 ^b	6,80 ± 0,42 ^a	6,65 ± 0,55 ^a	6,85 ± 0,32 ^a
	6 días	7,02 ± 0,54 ^a	6,52 ± 0,33 ^a	7,05 ± 0,38 ^a	6,97 ± 0,27 ^a
	12 días	7,33 ± 0,50 ^a	6,70 ± 0,15 ^a	7,08 ± 0,48 ^a	7,25 ± 0,37 ^a
Pimiento rojo	0 días	7,98 ± 0,78 ^b	7,93 ± 0,50 ^b	6,22 ± 0,68 ^a	6,90 ± 0,22 ^{ab}
	6 días	8,22 ± 0,73 ^b	7,32 ± 0,36 ^a	7,20 ± 1,00 ^a	7,45 ± 0,07 ^a
	12 días	8,12 ± 0,74 ^b	6,43 ± 0,81 ^a	5,75 ± 0,63 ^a	6,75 ± 0,58 ^a

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

Estadísticamente, solo el factor tratamiento (sin irradiar e irradiado) tuvo un efecto significativo (p<0,05) sobre el contenido de SST de la variedad de color verde a los 0 y 12 días de almacenamiento.

El contenido de SST en el pimiento rojo en la mayoría de tratamientos disminuyó durante el almacenamiento. La disminución en el contenido de SST se debe a una reducción en el contenido de azúcares y al aumento en el contenido de ácidos como el cítrico debidos a una disfuncionalidad en el ciclo de Krebs que se da en un estado de sobremadurez del fruto (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 101; Pesis, Dvir, Feygenberg, Arie, y Ackerman, 2002, p. 167).

3.2.2.2. pH y acidez titulable

Se determinó la influencia de los factores tipo de tratamiento (sin irradiación y con irradiación) y tipo de empaque (PET y PVC) sobre el pH y acidez titulable de las de tres variedades de pimiento mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días de almacenamiento. En las Tablas 3.8 y 3.9 se muestran los resultados obtenidos de pH y acidez titulable, respectivamente.

Tabla 3.8. Resultados de pH de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días*	5,26 ± 0,05 ^a	5,25 ± 0,05 ^a	5,19 ± 0,04 ^a	5,26 ± 0,05 ^a
	6 días	5,34 ± 0,07 ^a	5,33 ± 0,16 ^a	5,30 ± 0,05 ^a	5,28 ± 0,07 ^a
	12 días	5,43 ± 0,06 ^b	5,26 ± 0,09 ^a	5,36 ± 0,07 ^{ab}	5,31 ± 0,07 ^{ab}
Pimiento amarillo	0 días	4,72 ± 0,04 ^a	4,67 ± 0,07 ^a	4,66 ± 0,04 ^a	4,65 ± 0,04 ^a
	6 días	4,60 ± 0,15 ^a	4,70 ± 0,10 ^a	4,58 ± 0,04 ^a	4,54 ± 0,27 ^a
	12 días	4,70 ± 0,06 ^a	4,76 ± 0,04 ^a	4,74 ± 0,03 ^a	4,74 ± 0,05 ^a
Pimiento rojo	0 días	4,73 ± 0,07 ^a	4,72 ± 0,19 ^a	4,69 ± 0,04 ^a	4,73 ± 0,08 ^a
	6 días	4,57 ± 0,05 ^a	4,59 ± 0,03 ^a	4,59 ± 0,02 ^a	4,56 ± 0,07 ^a
	12 días	4,84 ± 0,15 ^{ab}	4,58 ± 0,12 ^a	5,13 ± 0,20 ^b	4,76 ± 0,07 ^{ab}

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

En las tres variedades de pimiento se observó un incremento en el pH. Para el pH del pimiento verde existió un efecto estadísticamente significativo (p<0,05) por parte del factor tratamiento (sin irradiar e irradiado) en el último periodo de almacenamiento, esta significancia se observó en los tratamientos irradiados independientemente del tipo de empaque, ya que tienen un menor aumento de pH en comparación a los no irradiados como se muestra en la Tabla 3.8, el mismo comportamiento presentó el pimiento verde entero irradiado a 1,0 kGy (Granja, 2016, p. 86). En el pimiento rojo, las dos variables de diseño tuvieron un efecto

significativo sobre el incremento del pH ($p < 0,05$) a los 12 días de almacenamiento. Se observa que el tratamiento irradiado y con empaque PET (I-PET) muestra un menor incremento de pH.

La influencia de la irradiación sobre este parámetro es variado entre las diferentes variedades de pimiento, con relación en otros estudios como en rodajas de manzana irradiadas a bajas dosis, la aplicación de irradiación no tuvo un efecto significativo sobre el pH, a pesar de que hubo un incremento en el mismo durante el almacenamiento (Fan, Niemera, Mattheis, Zhuang, y Olson, 2005, p. S146). Mientras que en col china mínimamente procesada empacada en atmósferas modificadas e irradiada (0, 0,5, 1,0 y 2,0 kGy), mostró que tanto la atmósfera modificada como la irradiación no tuvieron efecto sobre la disminución del pH en la col (Ahn et al., 2005, p. 593).

Tabla 3.9. Resultados de acidez titulable de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días	0,12 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^a
	6 días	0,14 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,02 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^a
	12 días	0,13 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^a
Pimiento amarillo	0 días	0,17 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,02 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	0,17 ± 0,01 ^a
	6 días	0,17 ± 0,02 ^{ab}	0,15 ± 0,02 ^a	0,19 ± 0,02 ^b	0,16 ± 0,02 ^{ab}
	12 días	0,30 ± 0,02 ^b	0,27 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,03 ^a	0,27 ± 0,02 ^a
Pimiento rojo	0 días	0,25 ± 0,01 ^b	0,25 ± 0,02 ^b	0,21 ± 0,03 ^a	0,22 ± 0,01 ^a
	6 días	0,25 ± 0,02 ^a	0,23 ± 0,02 ^a	0,23 ± 0,03 ^a	0,23 ± 0,02 ^a
	12 días	0,18 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,02 ^b	0,12 ± 0,01 ^a	0,21 ± 0,03 ^b

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD ($p < 0,05$)

Con respecto a la acidez titulable como se presenta en la Tabla 3.9, el pimiento verde y amarillo tuvieron un incremento, que se vio influenciado significativamente

($p < 0,05$) por el tratamiento y por el tipo de empaque y solo se dio en el segundo periodo de almacenamiento; en cambio en el pimiento rojo se observó una disminución de la acidez titulable que estuvo influenciada estadísticamente a los 12 días de almacenamiento por el factor tratamiento y por el factor tipo de empaque. La disminución en la acidez se debe a procesos metabólicos que disminuyen los ácidos orgánicos y dan lugar a compuestos aromáticos volátiles (Siddiqui, 2002, p. 24).

3.2.3. CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL INTERIOR DEL EMPAQUE

Se determinó el efecto de los factores tipo de tratamiento (sin irradiación y con irradiación) y tipo de empaque (PET y PVC) sobre la concentración de CO₂ en el interior del empaque (%) de las bandejas de tres variedades de pimiento mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR durante 12 días de almacenamiento.

En la Tabla 3.10 se exponen los resultados de las concentraciones de CO₂ acumuladas en el interior de los empaques en cada uno de los periodos de almacenamiento y para las tres variedades de pimiento mínimamente procesado.

Los cuatro tratamientos de las tres variedades de pimiento sufrieron un incremento en la concentración de CO₂. El grado de incremento se vio influenciado significativamente ($p < 0,05$) por el tipo de tratamiento (sin irradiar e irradiado) y el tipo de empaque (PET y PVC) en cada uno de los tres periodos de almacenamiento (0, 6 y 12 días) y para las tres variedades; sin embargo en el último periodo de almacenamiento (12 días) para el pimiento rojo la concentración de CO₂ únicamente fue influenciada por el factor tipo de empaque.

La mayor acumulación de CO₂ se dio en los tratamientos empacados en bandejas PET para las tres variedades, estas bandejas llegaron a acumular en promedio 2,80 % de CO₂ a los 12 días de almacenamiento, mientras que el máximo promedio que se acumuló en los tratamientos en bandejas cubiertas con PVC fue

de 2 % de CO₂. A pesar de la acumulación generada en los empaques PET, esta concentración de CO₂ no llegó a la concentración de CO₂ recomendada para el pimiento, para el que se aconseja tener una atmosfera de 5 -10 % CO₂. (Artés-Hernandez et al., 2007, p. 134; Conesa, 2008, pp. 57–58). Además que difiere con lo encontrado por Manolopoulou, Lambrinos y Xanthopoulos para anillos de pimiento verde empacados en bandejas PET con diferentes atmósferas (5 % O₂ - 10 % CO₂ y 5 % O₂ - 15 % CO₂) y almacenados a 5 °C por 10 días, donde se reportó un incremento de 5,8 y 4,6 % de CO₂ en el interior del empaque para cada atmósfera, respectivamente (2012, pp. 151–152). Esta diferencia se podría atribuir al tipo de corte, ya que las tiras sufren un menor daño debido al menor grado de procesamiento en comparación a los anillos y esto se manifiesta en una menor tasa de respiración por parte de las tiras (Conesa, 2008, pp. 177–178).

Tabla 3.10. Resultados de la concentración de CO₂ en el interior del empaque (%) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento verde	0 días*	1,48±0,03 ^c	1,54±0,04 ^c	0,55±0,03 ^a	0,70±0,02 ^b
	6 días	1,49±0,02 ^b	2,17±0,05 ^c	0,96±0,07 ^a	0,93±0,05 ^a
	12 días	2,51±0,05 ^c	2,90±0,07 ^d	2,21±0,03 ^a	2,34±0,09 ^b
Pimiento amarillo	0 días	2,26±0,06 ^d	1,90±0,01 ^c	0,34±0,04 ^a	0,96±0,06 ^b
	6 días	2,29±0,05 ^d	2,19±0,08 ^c	0,52±0,03 ^a	1,11±0,06 ^b
	12 días	2,86±0,04 ^c	2,70±0,07 ^b	2,29±0,04 ^a	2,26±0,03 ^a
Pimiento rojo	0 días	1,18±0,07 ^c	1,12±0,07 ^c	0,27±0,01 ^a	0,52±0,03 ^b
	6 días	2,47±0,05 ^d	2,26±0,03 ^c	1,19±0,06 ^b	0,62±0,04 ^a
	12 días	2,91±0,05 ^b	2,86±0,09 ^b	1,52±0,03 ^a	1,60±0,05 ^a

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 3)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Letras diferentes en la misma fila, indican las diferencias significativas entre los tratamientos aplicados dadas por LSD (p<0,05)

La diferencia entre empaques se debe a la permeabilidad del material, ya que el PVC tiene una mayor permeabilidad al CO₂ en comparación al PET como lo

evidencia la Tabla 1.4. Un similar comportamiento se encontró en guayaba mínimamente procesada almacenada en PET y bandejas de poliestireno cubierta con PVC y almacenada a 5 °C por 25 días, donde se obtuvo una mayor acumulación de CO₂ en PET en comparación a las bandejas cubiertas con PVC (Pereira et al., 2004, p. FEP174).

Con respecto al tipo de tratamiento el efecto es diferente entre las variedades. En el pimiento de color verde se determinó que los tratamientos con irradiación a 250 Gy registraron mayores acumulaciones de CO₂ que aquellos sin irradiar, en este caso la irradiación aceleró los procesos de respiración del pimiento verde. Para las variedades de color rojo y amarillo, la irradiación provocó el efecto contrario, ya que en estos la acumulación fue menor independientemente del tipo de empaque, es decir en este caso ralentizó los procesos respiratorios. En lechuga romana mínimamente procesada e irradiada a 0, 0,15 y 0,35 kGy se observó el mismo efecto encontrado para el pimiento amarillo y rojo, pues la generación de CO₂ de las muestras irradiadas fue menor en comparación a las muestras sin irradiar (Prakash et al., 2000, p. 550).

3.2.4. CALIDAD MICROBIOLÓGICA

En este estudio se evaluó la calidad microbiológica de los cuatro tratamientos para las tres variedades de pimiento mínimamente procesado. Para lo cual se efectuó una siembra en placas Petri film y se hizo los contajes en UFC/g para coliformes, aerobios totales y mohos y levaduras. Los contajes microbiológicos obtenidos se resumen en la Tabla AIX.1 del Anexo IX.

Desde el primer periodo de almacenamiento existió presencia de colonias formadoras para aerobios totales y para mohos y levaduras en las tres variedades de pimiento, las cuales aumentaron durante el tiempo de almacenamiento. Para el contaje de coliformes totales se reportó ausencia a los 0 y 6 días de almacenamiento y un crecimiento a los 12 días pero solo en los tratamientos sin irradiar como se observa en la Tabla AIX.1 del Anexo IX.

Los contajes de coliformes totales promedio que se reportaron fueron de: $4,60E+01$ y $1,45E+02$ UFC/g para los empaques PET y PVC respectivamente, estos contajes fueron menores al límite máximo permitido por el Reglamento (CE) N° 1441/2007 del Diario Oficial de la Unión Europea (2007, p. 28).

Con respecto a los contajes de aerobios totales y de mohos y levaduras, se reportó que el tratamiento que presentó el mayor contaje en UFC/g para las tres variedades a los 12 días de almacenamiento fue el tratamiento sin irradiar y cubierto con film PVC (SI-PVC), con contajes promedio de: $2,28E+05$ y $8,37E+04$ UFC/g para aerobios totales y mohos y levaduras, respectivamente. a pesar de ser los máximos contajes del ensayo estos son inferiores a los límites máximos permitidos por el Laboratorio de Microbiología y Preservación de Alimentos (LFMPFP por sus siglas en inglés) de la Universidad Ghent en Bélgica, que especifica los límites microbiológicos de tolerancia de aerobios totales y de mohos y levaduras son de $1,00E+06$ y $1,00E+05$ UFC/g, respectivamente (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 60).

En general, los tratamientos expuestos a la dosis de irradiación de 250 Gy mostraron menores contajes tanto de aerobios totales como de mohos y levaduras, a pesar de ser una dosis baja si se obtuvieron reducciones en el crecimiento microbiano, en lechuga romana de cuarta gama irradiada a 0, 0,15 y 0,35 kGy y almacenada por 22 días a 4 °C, también se obtuvieron reducciones en los contajes de aerobios totales y de hongos y levaduras a pesar de ser dosis bajas, y la dosis de 0.35 kGy fue la dosis que mostró mayores reducciones que la de 0,15 Gy (Prakash et al., 2000, p. 550). Por tanto la radiación a dosis bajas por sí sola no es condición suficiente para disminuir el contaje de microorganismos, se necesita la combinación con otro tipo de tratamientos, como tratamientos físicos o químicos por ejemplo el efecto combinado de radiación gamma con inmersiones en agua caliente (50 °C por 20 s) en cebolla verde mínimamente procesada logró reducciones significativas ($p < 0,05$) de 3 a 3,5 log UFC/g de aerobios totales (Kim et al., 2006, p. M182).

El tipo de empaque también mostró diferencias en los contajes, pues las tiras empacadas en bandejas PET mostraron tener menores contajes que aquellas empacadas en bandeja de poliestireno y cubiertas con film de PVC, esta conducta se podría atribuir a la concentración de CO₂ en el interior del empaque, como ya se discutió en el anterior ítem, el empaque PET mostró acumular una mayor concentración de este gas en su interior que aquellas bandejas cubiertas con film de PVC y en bibliografía se encontró que niveles altos de CO₂ ayudan a inhibir o disminuir el crecimiento microbiano (Caleb et al., 2013, p. 313). Por ello los menores contajes en aerobios totales y mohos y levaduras se obtuvieron en el tratamiento irradiado y con envase PET (I-PET).

3.2.5. CALIDAD VISUAL GLOBAL

Se determinó la influencia de los factores tratamiento (sin irradiar e irradiado) y tipo de empaque (PET y PVC) sobre la calidad visual de tres variedades de pimienta mínimamente procesada almacenadas durante 12 días a 5 °C y 90 % de HR. La calidad visual fue evaluada a través de tres atributos: turgencia, marchitez y presencia de patógenos y estos atributos fueron valorados de acuerdo a la Tabla 2.1 en cada periodo de almacenamiento.

En las Tabla AIX.2, AIX.3 y AIX.4 del Anexo IX se muestran los valores promedios obtenidos para cada uno de los atributos para la evaluación de la calidad visual de las tres variedades de pimienta mínimamente procesada.

La turgencia en las tres variedades de pimienta se observó una disminución en la puntuación de este parámetro, teniendo en un inicio del almacenamiento un valor de 5 (frescos) para todos los tratamientos y en el último periodo de almacenamiento (12 días) este valor fluctuó entre 4 a 3, que describe a las tiras de pimienta entre ligeramente secas a medianamente secas de acuerdo a la Tabla 2.1. Los tratamientos que presentaron una mayor puntuación a pesar de la disminución fueron los empacados en envase PET, lo que corrobora lo encontrado en el porcentaje de pérdida de peso en donde este tipo de empaque registró las

menores pérdidas debido a su buena permeabilidad al vapor de agua en comparación al PVC. A los 12 días de almacenamiento para el pimiento verde y amarillo se observó que la disminución de la turgencia estuvo influenciada significativamente ($p < 0,05$) por los dos factores de diseños.

Para la marchitez en las tres variedades, se tuvo de igual manera una disminución en la calificación de este parámetro al finalizar el almacenamiento. En un inicio se califica a las bandejas de todos los tratamientos con 5 que indica que no se percibió signo alguno de marchitez, al finalizar el ensayo la calificación varió de 4 a 3 que describió a las tiras de pimiento con marchitez de discreta a moderada. Las tiras que presentaron una menor disminución en este atributo fueron las tiras envasadas en PET. Esta disminución en la marchitez de las tres variedades en el tercer periodo de almacenamiento se vio influenciada estadísticamente ($p < 0,05$) por los dos factores de diseño: tratamiento y empaque.

En la presencia de patógenos, se observó al día 0 de almacenamiento ausencia de patógenos en todos los tratamientos. En el día 12 la calificación fluctuó entre los valores de 5 a 4 es decir se detectó la presencia de patógenos, la cual se manifestó como pudrición blanda sobre la superficie de corte del pimiento. La presencia de patógenos se detectó especialmente en las bandejas cubiertas con PVC, por tanto el tipo de empaque tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre este atributo a los 12 días de almacenamiento y para las tres variedades de pimiento. El tratamiento que no presentó patógenos fue el tratamiento con irradiación (I-PET), debida a una mayor acumulación de CO_2 generada en interior del empaque y también se podría atribuir los efectos positivos de la irradiación.

De las puntuaciones dadas a cada atributo se obtiene un índice de calidad visual por atributo, estos índices son promediados y se obtiene el índice global de calidad visual. El índice de calidad visual fue determinado para cada tratamiento en cada periodo de almacenamiento y los resultados se muestran en la Tabla 3.11.

Se evidencia que el tratamiento que mejor conserva la calidad visual global de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado, es el tratamiento con irradiación a 250 Gy y con empaque de PET (I-PET), ya que a los 12 días de almacenamiento aún sigue conservando las características iniciales del producto y es apto para ser comercializado por ello está dentro de la categoría A. Los otros tratamientos a los 12 días de almacenamiento presentaron cierto grado de deterioro pero aún son aptos para el consumo como se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Índices globales de calidad visual de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado sin irradiar y empacadas en PET (SI-PET), irradiadas a 250 Gy y empacadas en PET (I-PET), sin irradiar y empacadas en PVC (SI-PVC) e irradiadas a 250 Gy y empacadas en PVC (I-PVC), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variedad	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Pimiento Verde	0 días*	A	A	A	A
	6 días	A	A	A	A
	12 días	B	A	B	B
Pimiento Amarillo	0 días	A	A	A	A
	6 días	A	A	A	A
	12 días	B	A	B	B
Pimiento Rojo	0 días	A	A	A	A
	6 días	A	A	A	A
	12 días	B	A	B	B

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

A: 4-5 mantiene las características iniciales

B: 3-4 presenta deterioro, pero es apto para el consumo

C: <3 no apto para la comercialización

3.2.6. CALIDAD SENSORIAL

La evaluación de la calidad sensorial se realizó a través del análisis de los atributos: apariencia general, aroma (olor + sabor), dureza, color y presencia de olores y sabores extraños. El análisis se realizó para las tres variedades de pimiento y en cada periodo de almacenamiento, los resultados obtenidos se encuentran resumidos en el Anexo X.

La apariencia general de los pimientos cortados se vio afectada por el tiempo de almacenamiento, pues en un inicio los panelistas puntuaron la apariencia general entre los valores de 8 y 7 para los cuatro tratamientos, por lo que se categorizó al pimiento cortado como un producto fresco. Al final del almacenamiento la puntuación promedio de todos los tratamientos estuvo entre los valores de 6 y 5 que se considera un producto moderadamente seco. El tratamiento que menor puntuación registró es el irradiado + PVC y este resultado concuerda con lo obtenido en el análisis de la pérdida de peso donde este tratamiento registró las mayores pérdidas de peso por causa de una mayor permeabilidad al vapor de agua.

Los tratamientos envasados en PET de las tres variedades de pimiento tuvieron un aroma fuerte y sabor característico del pimiento de acuerdo a la percepción de los panelistas, mientras que los envasados en PVC presentaron un aroma débil.

El tipo de tratamiento aplicado influyó significativamente ($p < 0,05$) sobre la dureza de las tres variedades de pimiento mínimamente procesado únicamente en el primer periodo de almacenamiento, los panelistas percibieron que los pimientos irradiados presentaron una menor dureza que aquellos sin irradiar en este periodo de almacenamiento. En los siguientes periodos de almacenamiento los panelistas notaron una disminución en la dureza, pero no notaron diferencias entre tratamientos.

El color del pimiento disminuyó con el tiempo de almacenamiento y se observó que en los tratamientos empacados en PET la disminución en el puntaje fue menor en comparación con los pimientos cortados empacados en PVC, pero estadísticamente no se encontraron diferencias significativas.

El tipo de empaque influyó significativamente sobre la presencia de olores y sabores extraños. Los panelistas percibieron que los pimientos cubiertos con film de PVC, presentaron sabores extraños en los tres periodos de almacenamiento. Este resultado está relacionado con lo encontrado en el atributo del aroma donde los pimientos cubiertos con película de PVC presentaron un olor y sabor

característico débil. Las posibles causas de la generación de sabores y olores extraños se debieron: por la baja permeabilidad del empaque se tuvo una difusión de los olores propios de la cámara de refrigeración hacia el producto y la otra posible causa es el desprendimiento de olores extraños de la película de PVC debido a la sensibilidad de la película a la radiación gamma (Arvanitoyannis, 2010, p. 55).

Al finalizar este ensayo y con base al análisis de resultados de todas las variables de respuesta, se determinó que el mejor tratamiento es la combinación de irradiación a dosis de 250 Gy y el uso del empaque PET. Esta combinación mostró tener mínimas pérdidas de peso, ayudó a mantener la firmeza del producto, mantuvo una menor variación en los parámetros químicos como respuesta a la disminución de las reacciones relacionadas con la madurez y la respiración y mantuvo la calidad microbiológica, visual y sensorial.

3.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE UNA MEZCLA DE PIMIENTOS CORTADOS

De los resultados obtenidos en la sección 3,2 se seleccionó al empaque PET, como el empaque que conserva mejor la calidad poscosecha del pimiento mínimamente procesado. Para este ensayo se tuvieron la mezcla de pimientos irradiados a 250 Gy y una mezcla de pimientos sin irradiar como control y se aplicó un diseño de bloques completamente al azar DBCA, donde el tiempo de almacenamiento se consideró como factor de bloqueo.

Para el efecto se siguió el mismo procedimiento descrito en la sección 2.3, con la diferencia que se empacaron las tres variedades en una misma bandeja de una manera proporcional hasta completar un peso de 120 g por empaque individual. Se elaboraron un total de 60 bandejas de pimiento mínimamente procesado, de estas la mitad fueron irradiadas a la dosis de 250 Gy. Todas las bandejas fueron

almacenadas en una cámara de refrigeración a 5 °C y 90 % de HR por un tiempo de almacenamiento de 12 días. A los 0, 6 y 12 días se evaluaron parámetros físicos, químicos, generación de CO₂ en el interior del empaque y calidad visual, sensorial y microbiológica.

3.3.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Se determinó el efecto de la irradiación gamma sobre los parámetros pérdida de peso (%) y firmeza (N) de una mezcla de pimientos cortados, durante 12 días de almacenamiento a 5 °C y 90 % de HR. Los resultados obtenidos de la pérdida de peso y firmeza se muestran en las Figuras 3.12 y 3.13, respectivamente.

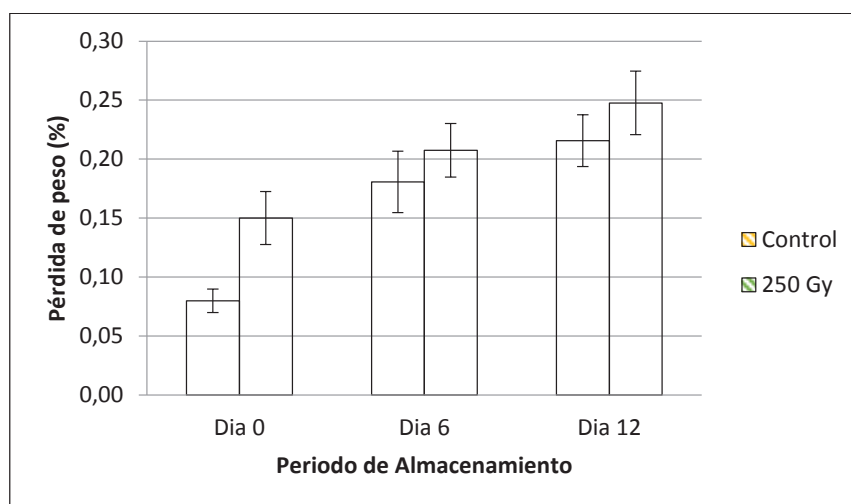


Figura 3.12. Evolución de la variable pérdida de peso (%) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)

Para la pérdida de peso (%) se observó un incremento durante el tiempo de almacenamiento el cual fue significativo estadísticamente ($p < 0,05$) como se observa en la Figura AXI.1b del Anexo XI. Así también la radiación a 250 Gy también tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en el aumento de la pérdida de peso (%) así lo presenta la Figura AXI.1a del Anexo XI. Aquí también se observa el mismo comportamiento obtenido en los anteriores objetivos, donde el tratamiento con irradiación causa mayores pérdidas de peso que el tratamiento sin irradiar. Al

final del almacenamiento las pérdidas de peso fueron de 0,22 y 0,24 % para la mezcla de pimientos cortados sin irradiación y con irradiación, respectivamente.

Los porcentajes de pérdida de peso obtenidos están dentro del límite máximo descrito por Manolopoulou, Xanthopoulos, Douros y Lambrinos, en donde se dice que pérdidas mayores al 2,4 % generan marchitez en el pimiento y que se manifiesta en el arrugamiento de la piel (2010, pp. 338–339). El pimiento cortado tiene una alta tasa de evaporación de agua debido a un aumento en el área superficial que hace que el agua superficial este mayormente disponible al ambiente, además se suma el efecto de la radiación que promueve el aumento de la tasa de respiración y la pérdida de peso (Beaulieu y Baldwin, 2002, p. 108; Rivera-Lopez et al., 2005, p. 285).

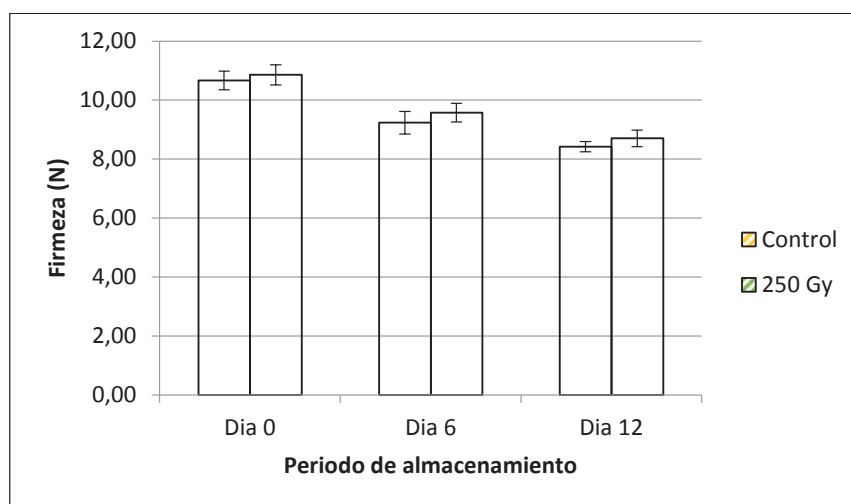


Figura 3.13. Evolución de la variable firmeza (N) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=6)

La firmeza de la mezcla de pimientos cortados disminuyó durante el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$) como se observa en la Figura AXI.2b. A pesar de la disminución, se tuvo que el tratamiento con irradiación logró mantener los pimientos más firmes en comparación con el control. Estadísticamente la irradiación tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la firmeza de la mezcla de pimientos cortados como lo muestra Figura AXI.2a del Anexo XI, similar al encontrado cuando se evaluó a las variedades por separado en la sección 3.2.1.2

en donde las muestras irradiadas mostraron ser más firmes que las muestras sin irradiar.

Estos resultados tienen similitud con los encontrados en rodajas de piña de 1,0 cm de espesor irradiadas a 2,0 kGy y almacenadas a 8 °C por doce días, donde los valores de firmeza de la piña irradiada fueron mayores a los del control, aunque la irradiación no tuvo un efecto significativo sobre la firmeza de las piñas (Hajare, Dhokane, Shashidhar, Saroj, et al., 2006a, p. 4). Las posibles causas de este comportamiento se pudieron deber a que las pérdidas de agua disminuyeron con el uso de empaque PET y en este caso la irradiación a dosis de 250 Gy ayudó a retardar las reacciones ligadas a los procesos de maduración.

3.3.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

En la Tabla 3.12 se resumen los resultados obtenidos para el contenido de sólidos solubles totales, el pH y la acidez titulable en cada uno de los periodos de almacenamiento de la mezcla de las tres variedades de pimiento cortado irradiada y control, almacenada a 5 °C y 90 % de HR.

Las posibles variaciones sufridas por los parámetros químicos se debieron únicamente a la influencia significativa ($p < 0,05$) del factor de bloqueo tiempo de almacenamiento como se muestran en la Figura AXI.3 del Anexo XI.

En el contenido de sólidos solubles totales SST se observó que existió un incremento en cada uno de los periodos de almacenamiento, esto está relacionado con la degradación o biosíntesis de polisacáridos y la acumulación de azúcares debido a procesos metabólicos relacionados con la maduración, como ya se explicó en el objetivo anterior (Ghasemnezhad et al., 2011, p. 46; Ramana Rao, Gol, y Shah, 2011, p. 21)

Con respecto al pH se notó una disminución a los 12 días de almacenamiento en comparación al primer día. En los dos tratamientos la disminución de pH está

relacionada con el metabolismo de compuestos orgánicos ácidos lo que provoca un aumento de la acidez titulable (Avalos, Sgroppo, y Chaves, 2012, p. 48). Esta aseveración es concordante con lo encontrado en la acidez titulable, ya que existió un aumento de la misma tanto en el control como en el tratamiento con irradiación como se observa en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Resultados del contenido solidos solubles (° Brix), pH y acidez titulable de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento		
	0 días*	6 días	12 días
Solidos Solubles Totales (° Brix)			
Control	6,10 ± 0,25	6,48 ± 0,32	6,72 ± 0,30
Irradiado	6,13 ± 0,10	6,28 ± 0,24	6,93 ± 0,32
pH			
Control	4,92 ± 0,04	4,75 ± 0,06	4,89 ± 0,10
Irradiado	4,94 ± 0,03	4,80 ± 0,04	4,85 ± 0,08
Acidez Titulable			
Control	0,21 ± 0,03	0,26 ± 0,03	0,22 ± 0,02
Irradiado	0,21 ± 0,02	0,26 ± 0,01	0,25 ± 0,02

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

3.3.3. CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL INTERIOR DEL EMPAQUE

El tiempo de almacenamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de CO₂ en el interior del empaque como lo muestra la Figura AXI.4b del Anexo XI, puesto que en el transcurso del tiempo de almacenamiento la concentración de CO₂ en el interior del empaque aumentó. El aumento de CO₂ se debe a que los tejidos vegetales respiran continuamente hasta que se consuman las reservas orgánicas y la frecuencia respiratoria de estos tejidos aumenta drásticamente por causa del corte (Barat et al., 2007, p. 375).

La acumulación de CO₂ en el interior del empaque alcanzó una concentración de 4 % de CO₂ para la mezcla de pimiento cortado sin irradiar, esta acumulación fue

diferente significativamente ($p < 0,05$) en comparación con la mezcla de pimientos irradiada como se observa en la Figura AXI.4a del Anexo XI, puesto que como se observa en la Figura 3.14 la acumulación de este gas en el interior del empaque de la mezcla irradiada es menor. Un comportamiento similar se obtuvo en el análisis de la concentración de CO_2 en el interior del empaque en el objetivo anterior donde se determinó que la radiación posiblemente ralentizaba los procesos de respiración haciendo que la generación de CO_2 sea menor en los pimientos cortados irradiados a dosis de 250 Gy.

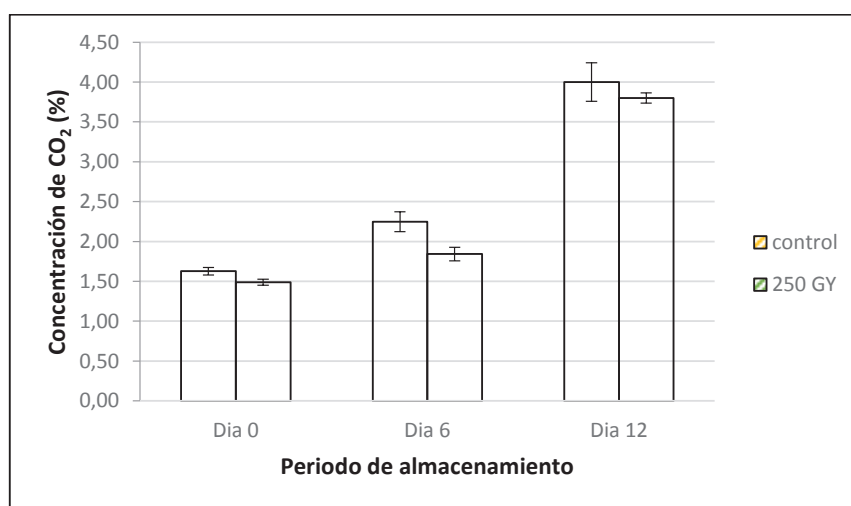


Figura 3.14. Evolución de la concentración de CO_2 en el interior del empaque (%) de una mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y del tratamiento control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días ($n=3$)

En este ensayo se encontró que la mezcla de las tres variedades en una bandeja logró acumular un 1 % más de CO_2 que cuando las variedades estuvieron empacadas individualmente.

3.3.4. CALIDAD MICROBIOLÓGICA

Se evaluó la calidad microbiológica de la mezcla de pimientos control y de la mezcla de pimientos irradiados en cada uno de los periodos de almacenamiento (0, 6 y 12 días). Para lo cual se efectuó una siembra en placas Petri film y se hizo

los contajes en UFC/g para coliformes, aerobios totales y mohos y levaduras. Los contajes microbiológicos obtenidos se resumen en la Tabla 3.13.

Para aerobios totales y mohos y levaduras se presentaron contajes desde el primer periodo de almacenamiento los cuales incrementaron durante el almacenamiento. Para el contaje de coliformes totales se reportó ausencia a los 0 y 6 días de almacenamiento y un crecimiento a los 12 días tanto en el control como en el tratamiento sin irradiar tal como se muestra en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y de mohos y levaduras (UFC/g) de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Tratamiento	Microorganismo de referencia	Tiempo de almacenamiento		
		0 días*	6 días	12 días
Control	Coliformes totales	<1.00E+01	<1.00E+01	2.00E+02
	Aerobios Totales	4.00E+02	1.40E+04	1.60E+05
	Mohos y Levaduras	2.00E+02	8.00E+04	1.00E+05
Irradiado	Coliformes totales	<1.00E+01	<1.00E+01	1.50E+01
	Aerobios Totales	<1.00E+01	5.00E+03	8.80E+04
	Mohos y Levaduras	1.30E+02	2.10E+03	4.40E+04

(n = 1)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Los contajes de coliformes totales que se reportaron a los 12 días de almacenamiento fueron de 2,0E+02 y 1.5E+01 UFC/g para el tratamiento control e irradiado, respectivamente. Estos contajes fueron inferiores al límite máximo permitido por el Reglamento (CE) N° 1441/2007 del Diario Oficial de la Unión Europea (2007, p. 28).

Con respecto al contaje de aerobios totales y de mohos, los del tratamiento con irradiación presentaron un menor número de unidades formadoras de colonias que el tratamiento control. Los recuentos de colonias para aerobios totales de ambos tratamientos a los 12 días de almacenamiento fueron inferiores al límite máximo permitido por el Laboratorio de Microbiología y Preservación de Alimentos (LFMPFP por sus siglas en inglés) de la Universidad Ghent en Bélgica, que

especifica los límites microbiológicos de tolerancia de aerobios totales en 1,00E+06 UFC/g. Mientras que para el conteo de mohos y levaduras se registró que el tratamiento con irradiación cumple con el requisito estipulado por el Laboratorio de Microbiología de 1,00E+05 UFC/g, sin embargo el tratamiento control se encuentra en el límite de máximo de cumplimiento (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 60).

3.3.5. CALIDAD VISUAL GLOBAL

La calidad visual fue evaluada a través de tres atributos: turgencia, marchitez y presencia de patógenos y estos atributos fueron valorados de acuerdo a la Tabla 2.1 en cada periodo de almacenamiento. En la Tabla 3.14 se muestra los valores promedios obtenidos para cada uno de los atributos para la evaluación de la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Tabla 3.14. Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual de la mezcla de pimientos cortados irradiada a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar) almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Atributo	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento		
		0 días	6 días	12 días
Turgencia	Control	5,00 ± 0,00	4,33 ± 0,52	3,16 ± 0,41
	Irradiado	5,00 ± 0,00	4,50 ± 0,54	3,50 ± 0,55
Marchitez	Control	5,00 ± 0,00	4,33 ± 0,52	4,00 ± 0,00
	Irradiado	5,00 ± 0,00	4,67 ± 0,52	4,00 ± 0,00
Presencia de Patógenos	Control	5,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	4,67 ± 0,52
	Irradiado	5,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

En este caso, la disminución en la puntuación de los atributos estuvo únicamente afectada significativamente por el factor de bloqueo (tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$)) como lo muestra la Figura AXI.5 del Anexo XI. Así se tiene que la turgencia en el último periodo de almacenamiento (12 días) tiene una calificación

que fluctúa entre 4 y 3 que categoriza a la mezcla de pimientos de ligeramente a moderadamente seca.

En el último periodo de almacenamiento los dos tratamientos presentaron una marchitez discreta que es concordante con los resultados obtenidos en la pérdida de firmeza y peso, que también se vieron afectados por el tiempo de almacenamiento; mientras que en la presencia de patógenos se tuvo que el tratamiento con irradiación no presentó patógenos en comparación al control, en donde se evidenció pudrición blanda en la superficie de corte de ciertas tiras del pimiento.

De las puntuaciones dadas a cada atributo se obtiene un índice de calidad visual por atributo, estos índices son promediados y se obtiene el índice global de calidad visual. El índice de calidad visual fue determinado para cada tratamiento en cada periodo de almacenamiento y los resultados se muestran en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Índices globales de calidad visual de la mezcla de pimientos cortados irradiados a 250 Gy y de la mezcla control (sin irradiar), almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento		
	0 días*	6 días	12 días
Control	A	A	B
Irradiado	A	A	A

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

A: 4-5 mantiene las características iniciales

B: 3-4 presenta deterioro, pero es apto para el consumo

C: <3 no apto para la comercialización

Los índices de calidad visual global para el tratamiento control fueron calidad A y B a los 0 y 12 días de almacenamiento respectivamente, lo que indica que la calidad visual del tratamiento control se vio afectada aunque es apta para el consumo. Para el tratamiento irradiado se obtuvo calidad A en los tres periodos de almacenamiento lo que indica que el producto mantiene las características iniciales y se puede comercializar como se observa en la Figura 3.15.

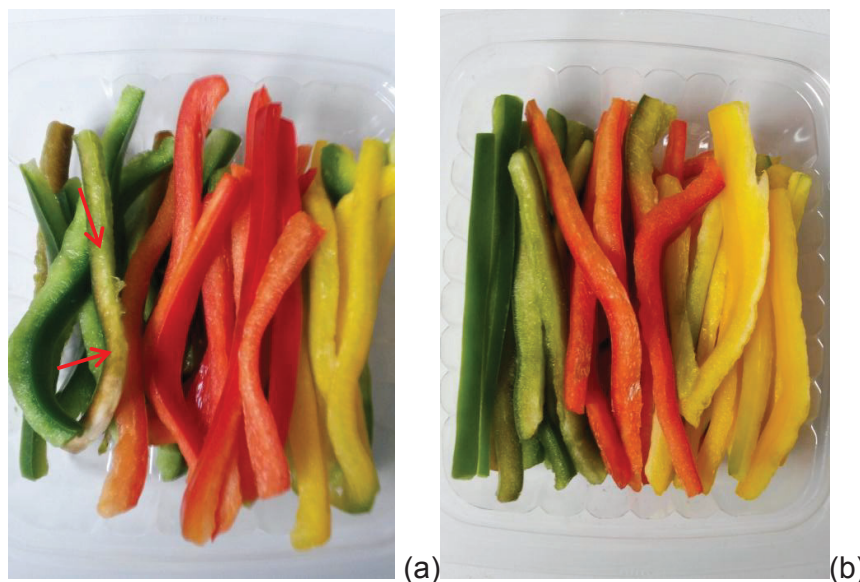


Figura 3.15. Bandejas con mezcla de pimientos cortados (a) Control y (b) Irradiado a 250 Gy y almacenados a 5 °C y 90 % de HR después de 12 días. Flechas en rojo indican zonas de ablandamiento.

3.3.6. CALIDAD SENSORIAL

Se realizó la evaluación sensorial de la mezcla de pimientos cortados así como de la mezcla sin irradiar. Los resultados obtenidos de los atributos evaluados por los panelistas se encuentran en el Tabla AXII.1 del Anexo XII.

En la apariencia general los panelistas calificaron a la mezcla de pimientos entre una puntuación de 7 a 8 en el primer periodo de almacenamiento (0 días), que indica que el panelista percibió fresca en la mezcla. Mientras que al final del almacenamiento la puntuación disminuyó entre 6 y 7, es decir que el panelista noto un grado de sequedad en el pimiento. Las puntuaciones de la mezcla control como la irradiada tuvieron puntuaciones similares durante los tres periodos de almacenamiento y la fresca del pimiento cortado disminuyó debido a la pérdida de agua que sufrieron las tiras de pimiento durante el almacenamiento.

Con respecto a la evaluación del aroma los panelistas calificaron a este atributo entre 6 y 7 en los 3 periodos de almacenamiento, es decir este atributo se mantuvo invariable durante el almacenamiento.

La dureza de la mezcla de pimientos disminuyó durante el tiempo de almacenamiento y esto fue percibido por los panelistas. A los 0 días los panelistas calificaron este atributo con 7,52 y 6,93 para la mezcla de pimientos irradiada y para la mezcla control, respectivamente y a los 12 días de almacenamiento fue de 6,31 y 5,42. A pesar que la mezcla control tuvo una menor dureza que la tratada, la irradiación no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre este atributo ($p>0,05$). Este atributo se correlaciona con la pérdida de firmeza que sufrieron las tiras de pimiento en este ensayo y que se describió en el acápite 3.3.1.

Con respecto a la intensidad de color, los panelistas percibieron una fuerte intensidad de coloración tanto en el control como el tratamiento con irradiación. Las puntuaciones fluctuaron entre 7 y 6 durante el tiempo de almacenamiento para los dos tratamientos.

Para el atributo presencia de olores y sabores extraños, al día 0 de almacenamiento, los panelistas calificaron este atributo con puntuaciones bajas de 0,42 y 0,64 para el tratamiento con irradiación y el control, respectivamente; que indican una ausencia de los mismos. En el transcurso del almacenamiento estos valores aumentaron a 0,92 y 1,26 para la mezcla de pimientos irradiada y control, respectivamente, estos valores se siguen manteniendo bajos aunque el aumento se debe a los procesos de senescencia propios del vegetal.

Hajare et al. (2006b), también determinaron que no hubieron diferencias significativas ($p>0,05$) en apariencia, color, textura y olores extraños del tratamiento irradiado comparado con el control de zanahoria y apio mínimamente procesados e irradiados a 2,0 KGy (p. S200).

3.4. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE TRES COMPUESTOS BIOACTIVOS

Se determinó el efecto del corte y la aplicación de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos: compuestos fenólicos, vitamina C y β -carotenos presentes

en el pimiento mínimamente procesado. La cuantificación se efectuó en las muestras de pimiento en los periodos de almacenamiento 0 y 12 días para los cuatro tratamientos descritos en el objetivo 2: Sin irradiar + empaque PET (SI-PET), Irradiado + empaque PET (I-PET), sin irradiar + empaque PVC (SI-PVC) e irradiado + empaque PVC. También se hizo una evaluación de los compuestos bioactivos en la mezcla de pimientos cortados.

3.4.1. COMPUESTOS FENÓLICOS

El contenido de compuestos fenólicos de las tres variedades y de los diferentes tratamientos se evidencia en la Figura 3.16.

Para el primer periodo de almacenamiento se determinó en promedio un contenido de compuestos fenólicos de 78,53, 165,03 y 130,44 mg/100 g de peso fresco para el pimiento mínimamente procesado verde, amarillo y rojo, respectivamente. Se observa que el pimiento amarillo tiene un mayor contenido de compuestos fenólicos y el pimiento verde es el que menos contenido de fenoles presenta, un similar comportamiento se registró en los pimientos enteros de las tres variedades reportado por Granja (2016, p.102).

Para los 12 días del almacenamiento en el pimiento verde se observó un incremento en el contenido de compuestos fenólicos. El aumento de los compuestos fenólicos está relacionado con el daño generado por el corte. El tejido en respuesta al corte aumenta la actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL) y por ende la síntesis de compuestos fenólicos, este es un mecanismo de defensa del tejido para evitar las pérdidas de agua y el ataque de microorganismos (Cantos, Espín, y Tomás-Barberán, 2001, pp. 322-323).

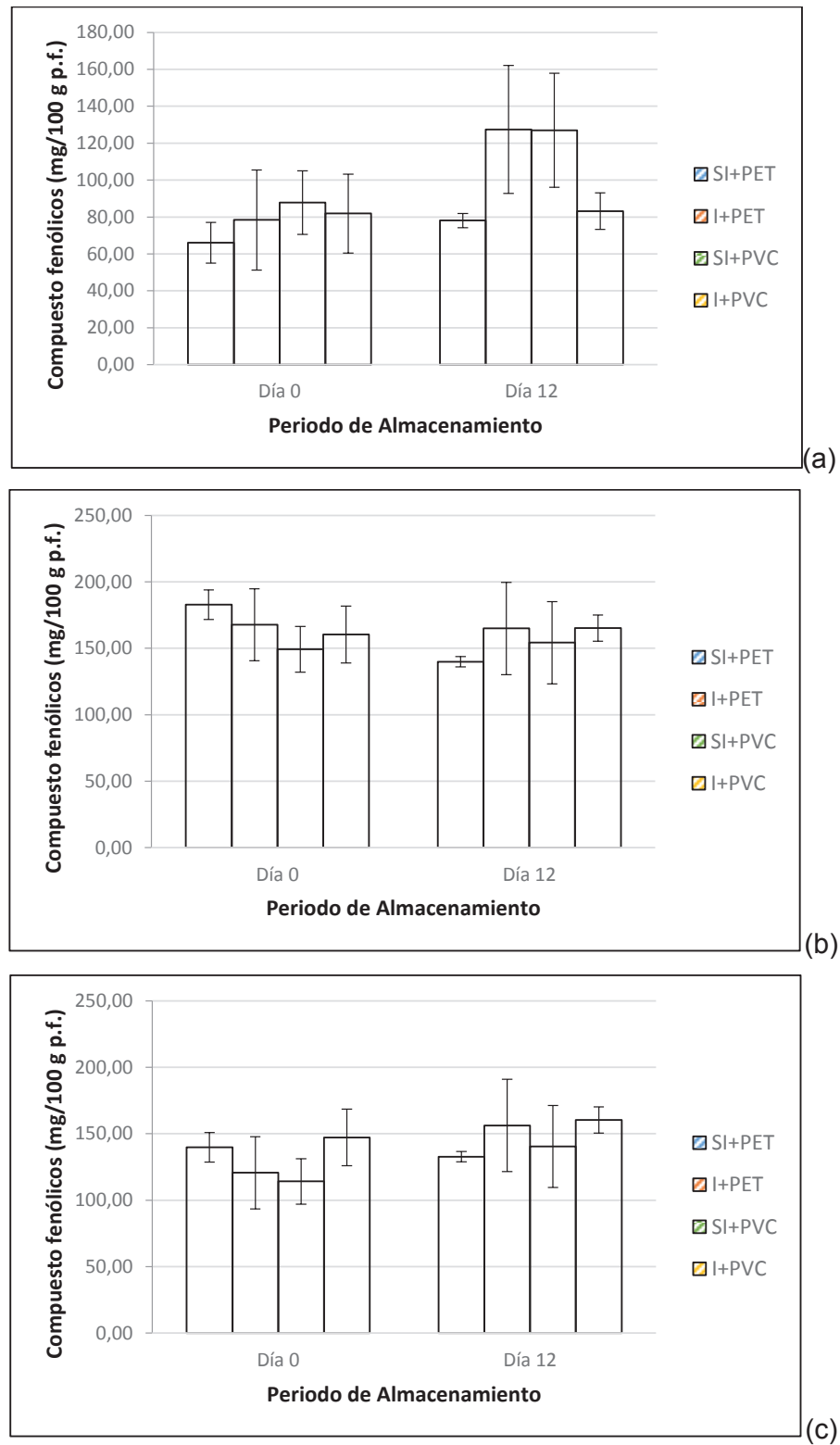


Figura 3.16. Contenido de compuestos fenólicos de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=5)

En la variedad de color amarillo se evidenció una disminución en el contenido de compuestos fenólicos por parte del tratamiento sin irradiar y envasado en PET (SI-PET), los tratamientos cubiertos con film de PVC tuvieron un incremento en el contenido en comparación con el inicio del almacenamiento. La disminución de compuestos fenólicos en pimiento entero está relacionada con los procesos de maduración del pimiento así como el tipo de cultivar (Ghasemnezhad et al., 2011, p. 47).

En el pimiento rojo se tuvo un aumento en el contenido de compuestos fenólicos, especialmente en los tratamientos con irradiación, por ello en esta variedad el efecto del factor tratamiento (sin irradiar e irradiado) tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el aumento en el contenido de fenoles ($p < 0,05$). En un estudio realizado a tres variedades de lechuga mínimamente procesada se determinó que la aplicación de radiación gamma tuvo una influencia significativa sobre el aumento en el contenido de compuestos fenólicos, mientras mayor la dosis de irradiación mayor fue la generación de compuestos fenólicos. El aumento por efecto de la irradiación se da porque la irradiación incrementa la actividad enzimática de la PAL lo que resulta en la acumulación de compuestos fenólicos y también de la capacidad antioxidante (Fan, 2005, pp. 995–999).

En el último periodo de almacenamiento se tuvo un contenido de compuestos fenólicos promedio de 103,92, 153,02 y 152,41 mg /100 g de peso fresco para las variedades de pimiento verde, amarillo y rojo mínimamente procesado, respectivamente.

3.4.2. VITAMINA C

En la Figura 3.17 se muestran los resultados obtenidos para el contenido de vitamina C de cada uno de los tratamientos los días 0 y 12 días de almacenamiento de las variedades de pimiento mínimamente procesado.

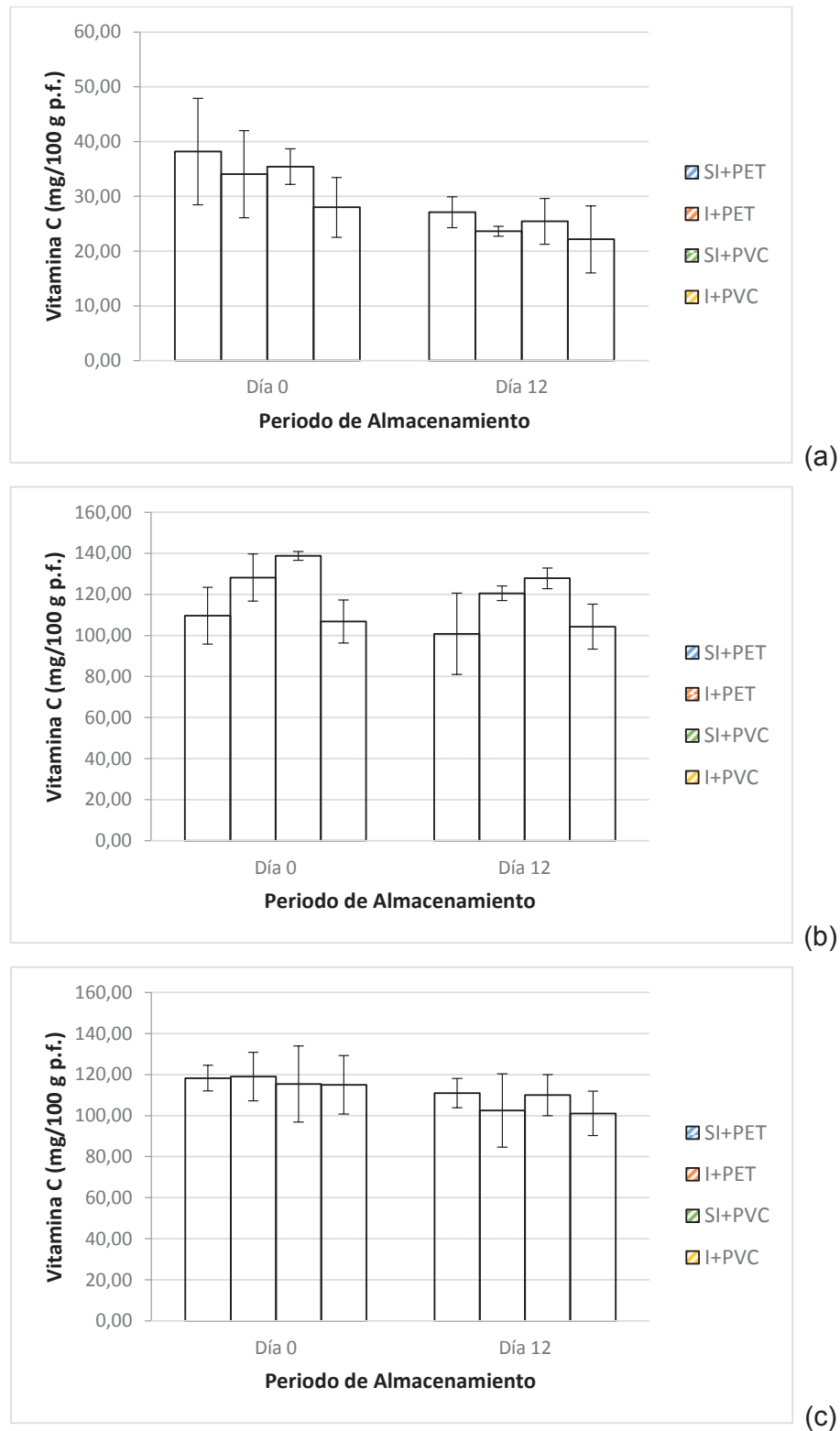


Figura 3.17. Contenido de vitamina C de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=3)

El contenido promedio de las diferentes variedades en el primer periodo de almacenamiento fue de: 33,91, 120,82 y 116,90 mg/100 g de peso fresco para las variedades de pimiento verde, amarillo y rojo mínimamente procesado, respectivamente. Si se hace una comparación con el contenido de vitamina C en pimiento entero se tiene considerables pérdidas después del corte, de acuerdo a al USDA (2016) el contenido de vitamina C para el pimiento entero verde, amarillo y rojo es de 80,4, 183,5 y de 127,7 mg/100 g de peso fresco.

Las pérdidas detectadas en el primer periodo de almacenamiento en comparación al pimiento entero, son una consecuencia directa de la operación de corte, pues este aumenta la superficie de contacto del tejido vegetal con agentes oxidantes como el oxígeno favoreciendo la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa (APX) que es la enzima responsable de la pérdida de vitamina C (De Ancos et al., 2011, pp.155-162).

A los 12 días de almacenamiento, en general se tuvo una disminución en el contenido de vitamina C en todos los tratamientos y en las tres variedades de pimiento mínimamente procesado como se observa en la Figura 3.17, pero en los tratamientos con irradiación de alguna manera mostraron tener una mayor disminución en el contenido de vitamina C, aunque el efecto de la irradiación no fue significativo ($p > 0,05$) sobre el contenido de este compuesto bioactivo. Hajare y otros (2006a) determinaron que el efecto de la irradiación no fue significativo ($p > 0,05$) sobre el contenido de vitamina C en rodajas de piña irradiadas a 2,0 kGy y almacenadas por 12 días a 8 °C, a pesar de que la piña irradiada tuvo una mayor disminución en el contenido de la vitamina C en comparación con la control (p. 3).

La magnitud de la pérdida de vitamina C debida a la irradiación depende del tipo de tejido y de la dosis de irradiación aplicada. La pérdida de ácido ascórbico probablemente se debió a un mayor estrés oxidativo causado por la propia irradiación (Gómez-López, 2012, p. 398). Así por ejemplo en un estudio efectuado a 13 vegetales cortados e irradiados a dosis de 0 y 1,0 kGy, se obtuvo diferentes comportamientos respecto a la variación en el contenido de esta vitamina, pues

solo en algunos vegetales se tuvo una disminución significativa de vitamina C por causa de la irradiación, especialmente en lechuga de hoja verde y roja, mientras que en brócoli el contenido de vitamina C se mantuvo invariable y no fue afectado por la irradiación (Fan y Sokorai, 2008, p. 371).

Al finalizar el almacenamiento se tuvieron contenidos de vitamina C promedios de 24,59, 113,36 y 106,10 mg/100 g de peso fresco para la variedad verde, amarilla y roja de pimiento mínimamente procesado que representan el 72,52, 93,82 y 90,76 % del contenido inicial a los 0 días de almacenamiento de las variedades verde, amarilla y roja, respectivamente.

3.4.3. CAROTENOIDES

El contenido de carotenoides de los diferentes tratamientos y de las tres variedades se muestra en la Figura 3.18.

Los contenidos iniciales promedio de carotenoides fueron de: 23,91, 6,52 y 32,96 mg/100 g de peso fresco para las variedades de color verde, amarillo y rojo de pimiento mínimamente procesado respectivamente. Los valores reportados en esta investigación son similares a los encontrados por Granja (2016, p.101) para pimiento entero, donde se observa que no existió variabilidad en el contenido de carotenos a causa de la aplicación del mínimo procesamiento a las variedades del pimiento a los 0 días de almacenamiento. Soliva-Fortuny y Martín-Belloso (2003) aseveran que el contenido de carotenoides no sufre cambios significativos a causa del mínimo procesamiento, sino más bien las pérdidas se relacionan con mecanismos de oxidación catalizados por las enzimas polifenol-oxidasa y lipoxigenasa y la exposición a la luz, oxígeno y bajos pH, además del almacenamiento prolongado (p. 171).

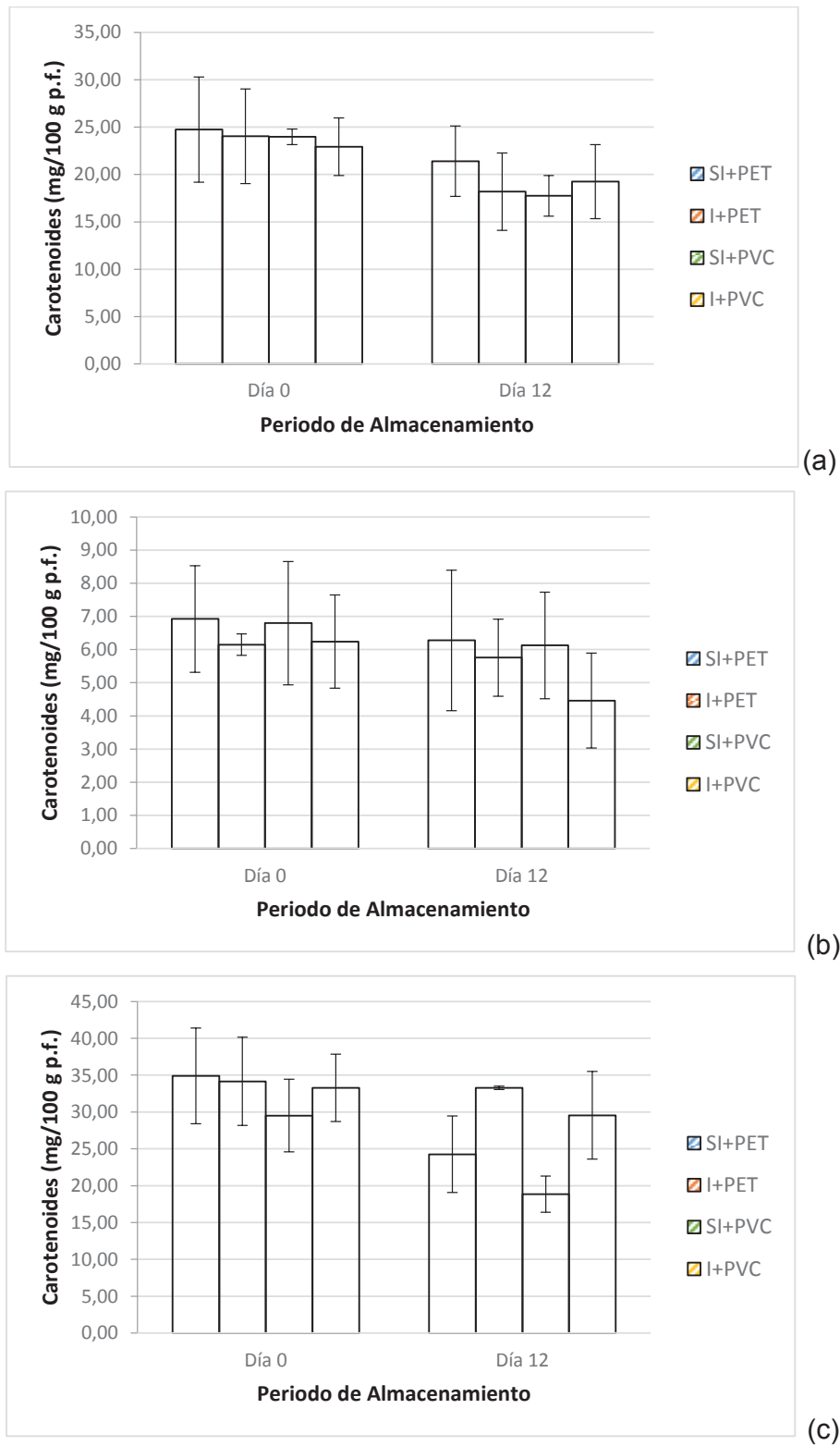


Figura 3.18. Contenido de carotenoides de las variedades de pimiento verde (a), amarillo (b) y rojo (c) mínimamente procesado almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (n=3)

A los 12 días de almacenamiento se tuvieron disminuciones en el contenido de carotenoides, y este comportamiento se dio en todos los tratamientos y en las tres variedades. Aunque en el pimiento rojo a los 12 días de almacenamiento, fue el único que se vio afectado significativamente por el factor tratamiento (sin irradiar e irradiado), pues se evidencia que los tratamientos con irradiación tuvieron una menor pérdida en el contenido de carotenoides que aquellos sin irradiar.

Con respecto al contenido de carotenoides en productos IV gama e irradiados se tiene que en rodajas de piña irradiadas a 2,0 kGy y almacenadas por 12 días a 8 °C se tuvo que el contenido de carotenoides totales en las muestras control oscilaron entre 658,8 - 778,9 a la μg , mientras que en las muestras irradiadas estuvo en el intervalo de 620,9 a 717,6 μg , esta ligera variación entre los tratamientos fue insignificante ($p > 0,05$) en el contenido de carotenoides totales de las piñas irradiadas (Hajare, Dhokane, Shashidhar, Saroj, et al., 2006a, p. 3). Mientras que el en zanahoria mínimamente procesada e irradiada a 2,0 kGy y almacenada por 16 días a 8 °C el contenido de carotenoides se mantuvo invariable durante todo el periodo de almacenamiento y no se registraron pérdidas en el contenido total de carotenoides tanto en la zanahoria tratada como en la control (Hajare, Dhokane, Shashidhar, Sharma, y Bandekar, 2006b, p. S200).

Al finalizar el ensayo se obtuvo una conservación en el contenido de carotenoides del 80,04, 85,35 y 84,37 % para la variedad verde, amarillo y roja respectivamente en comparación con el contenido a los 0 días de almacenamiento,

3.4.4. COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA MEZCLA DE PIMIENTOS

Se evaluó el efecto de la radiación sobre el contenido de compuestos bioactivos en la mezcla de pimientos irradiada y control.

En el contenido de compuestos fenólicos se observa un aumento en el contenido de los mismos, especialmente por parte del tratamiento con irradiación el cual fue significativamente diferente al control ($p < 0,05$). Al final del almacenamiento se

tuvo un aumento del 10 % en el contenido de compuestos fenólicos en la mezcla de pimientos tratada en relación al contenido en el día 0 de almacenamiento como se puede observar en la Figura 3.19a. El incremento de compuestos fenólicos relacionada con la irradiación se debe a una estimulación de la actividad enzimática de la fenilalanina amonio-liasa (PAL) que aumenta el contenido de fenoles tal como se explica en la sección 3.4.1.

Para el contenido de Vitamina C se observó una disminución que únicamente estuvo influenciada significativamente por el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$), a pesar que en la Figura 3.19b se observa que el contenido de vitamina C es mayor en la mezcla de pimientos irradiada. El comportamiento en el contenido de vitamina C fue similar al registrado en el acápite 3.4.2 para las variedades empacadas individualmente, donde también se explica la acción de la enzima ascobato peroxidasa (APX) en la disminución del contenido de vitamina C. Al finalizar el ensayo se conservó el 75 % de la vitamina C en relación al primer periodo de almacenamiento.

En relación al contenido de carotenoides, al inicio la mezcla de pimientos cortados tiene un contenido parecido al del pimiento rojo. Este contenido al final del almacenamiento disminuyó un 30 %. El tiempo de almacenamiento fue el único factor que tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la disminución en el contenido de carotenoides ($p < 0,05$). En este caso, a los 12 días de almacenamiento se tuvo que el tratamiento irradiado tuvo menos pérdidas que el tratamiento control (Figura 3.19c). El efecto de pelado y corte sobre la variación en el contenido de carotenoides dependerá del tipo y variedad del vegetal. Así se tuvo en trozos de piña y mango una reducción del contenido de carotenoides del 25 % a los 3 y 6 días de almacenamiento, respectivamente (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003, p. 170).

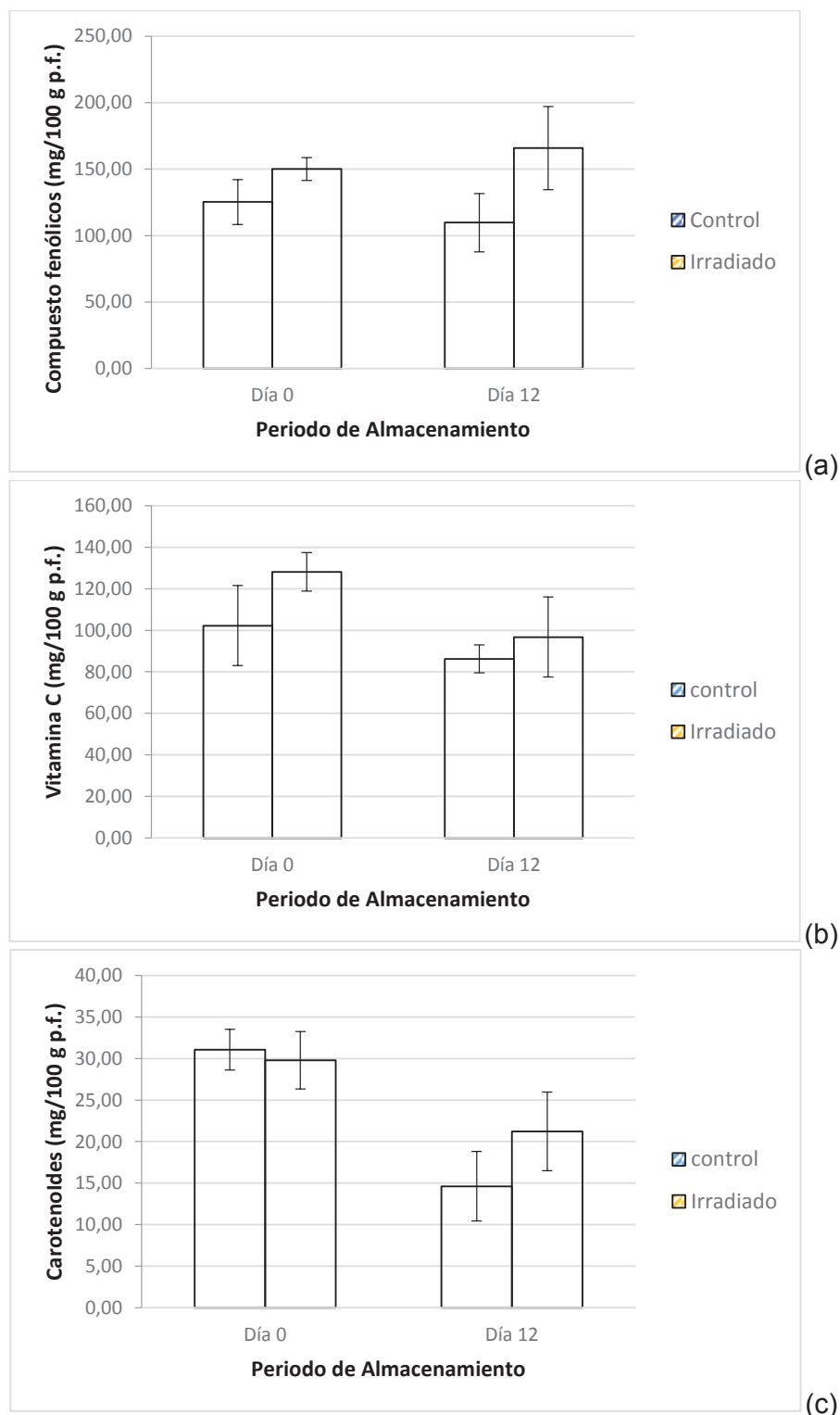


Figura 3.19. Contenido de compuestos fenólicos (a), vitamina C (b) y carotenoides (c) de la mezcla de pimiento cortados irradiados a 250 Gy y la mezcla control almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

1. La dosis de 250 Gy conservó de mejor manera las características de calidad del pimiento amarillo mínimamente procesado, debido a que las tiras de pimiento presentaron una menor pérdida de peso (%), mantuvieron la firmeza y conservaron de mejor manera los atributos de calidad visual y sensorial.
2. Se determinó que el mejor tratamiento es la combinación de irradiación y el uso del empaque PET. Las tres variedades de pimiento IV gama con esta combinación mostraron tener mínimas pérdidas de peso, mantuvieron la firmeza, mantuvieron una menor variación en los parámetros químicos y mantuvieron de mejor manera la calidad microbiológica, visual y sensorial.
3. La aplicación de radiación gamma en la mezcla de pimientos cortados fue favorable. La mezcla de pimientos irradiada tuvo menores pérdidas de peso, mantuvo la firmeza, los parámetros químicos de la mezcla no fueron afectados por la irradiación y mantuvo de mejor manera la calidad microbiológica, visual y sensorial.
4. La aplicación de radiación gamma tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el aumento de compuestos fenólicos y disminución de carotenoides únicamente de la variedad de pimiento rojo. Mientras que el contenido de vitamina C disminuyó en las tres variedades de pimiento durante el almacenamiento.
5. En la mezcla de pimientos cortados durante el almacenamiento disminuyó el contenido de vitamina C y carotenoides y aumentó en el contenido de compuestos fenólicos, el cual estuvo influenciado estadísticamente por la irradiación.

4.2. RECOMENDACIONES

1. Estudiar el efecto de la aplicación de la radiación gamma en combinación con otras tecnologías poscosecha sobre productos IV gama para minimizar los efectos causados por la irradiación.
2. Realizar una evaluación de la tasa de respiración de las tres variedades de pimiento cortado e irradiado de forma individual y de la mezcla de las tres variedades.
3. Desarrollar una norma técnica para productos cuarta gama, donde se establezca los límites máximos aceptables en cuanto al crecimiento de microorganismos de referencia como coliformes totales, aerobios totales y mohos y levaduras.
4. Realizar el estudio de mercado y de factibilidad económica para la elaboración de pimiento mínimamente procesados

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Ahn, H., Kim, J.-H., Kim, J.-K., Kim, D., Yook, H., y Byun, M. (2005). Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Food Chemistry*, 89(4), 589–597. doi:10.1016/j.foodchem.2004.03.029
2. Allende, A., Tomás-Barberán, F. A., y Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17(9), 513–519. doi:10.1016/j.tifs.2006.04.005
3. AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, Arlington, USA
4. Artés-Hernandez, F., Conesa, A., Artés, F., (2007). Elaboración de pimiento mínimamente procesado en fresco. *Horticultura y Poscosecha*. Recuperado de: <https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/pimientosminimprocesado>. (Febrero 2016).
5. Artés-Hernandez, F., Aguayo, E., Gómez, P., y Artés, F. (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la cuarta gama. *Horticultura Internacional*, 69, 52–57. Recuperado de: <http://www.horticom.com/pd/print.php?sid=73132>. (Noviembre 2016)
6. Artés, F., y Allende, A. (2005). Minimal Fresh Processing of Vegetables , Fruits and Juices. In *Emerging Technologies for Food Processing: An Overview* (pp. 677–716). doi:10.1016/B978-0-12-676757-5.50028-1

7. Arvanitoyannis, I. S. (2010). *Irradiation of food commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion. Trends in Food Science & Technology* (First edit). Academic Press y El Servier. Recuperado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224410002682>. (Enero 2017)
8. Avalos, K., Sgroppo, S., y Chaves, A. (2012). Efecto del tratamiento térmico sobre la calidad de pimientos cherry cortados refrigerados. *Agrociencia Uruguay*, 16(1), 45–50. Recuperado de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v16n1/v16n1a06.pdf>. (Enero 2017)
9. Barat, J. M., Barry-Ryan, C., Rico, D., y Martin-Diana, A. B. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 373–386. doi:10.1016/j.tifs.2007.03.011
10. Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., y Shewfelt, R. (2010). Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-cut Fruits and Vegetables - Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389. doi:10.1080/10408391003626322
11. Beaulieu, J. C., y Baldwin, E. A. (2002). *Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology and Market*. (O. Lamikanra, Ed.). CRC Press. doi:10.1201/9781420031874.
12. Berrios, M., Arredondo, C., y Tjalling, H.-. (2007). Pimiento. *Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad: Cropkit*, 1–104. Recuperado de: http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Pepper_L-ES.pdf. (Noviembre 2016)

13. Bosland, P. W., y Votava, E. J. (2012). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums* (2nd ed). Cambridge: CABI.
14. Brecht, J. K., Saltveit, M. E., Talcott, S. T., Schneider, K. R., Felkey, K., y Bartz, J. A. (2004). *Fresh-cut vegetables and fruits. Horticultural Reviews* (1ra ed., Vol. 30). John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
15. Brummell, D. a, y Pathirana, R. (2007). Sweet and hot peppers. *Transgenic Crops IV*, 59, 393–414. doi:10.1007/978-3-540-36752-9_21
16. Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Said, F. A. J., y Opara, U. L. (2013). Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 303–329. doi:10.1007/s11947-012-0932-4
17. Cantos, E., Espín, J. C., y Tomás-Barberán, F. A. (2001). Effect of wounding on phenolic enzymes in six minimally processed lettuce cultivars upon storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 322–330. doi:10.1021/jf000644q
18. Chakraverty, A., Mujumdar, A. S., Raghavan, G. S. V., y Ramaswamy, H. S. (2003). *Handbook of postharvest technology: Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices*. doi:10.1201/9780203911310
19. Codex Alimentarius. (2003). Norma General para los alimentos Irradiados CODEX STAN 106-1983. Recuperado de http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BSTAN%2B106-1983%252FCXS_106s.pdf. (Febrero 2017)

20. Conesa, A. (2008). *Innovaciones en la Postrecolección y en el Procesado Mínimo del Pimiento de Carne Gruesa de Invernadero*. Universidad Politécnica de Cartagena.
21. Corbo, M. R., Speranza, B., Campaniello, D., Amato, D. D., y Sinigaglia, M. (2010). *Fresh-cut fruits preservation: current status and emerging technologies*. Recuperado de: <http://www.formatex.info/microbiology2/1143-1154.pdf>. (Diciembre 2016)
22. Crosby, K. M. (2008). Pepper. *Handbook of Plant Breeding*, 2, 221–247. doi:10.1007/978-0-387-74110-9_6
23. De Ancos, B. (2008). Presente y futuro de la V gama en España (p. 61). Madrid: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (INTAC). Recuperado de: <http://www.hortyfresco.cl/docs/press/24.pdf>. (Enero 2017)
24. De Ancos, B., Sánchez-Moreno, c., Plaza, L., y Cano, M., (2011). Nutritional and Health Aspects of Fresh-Cut Vegetables. *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. 145-184. Recuperado de: http://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/advances_in_fresh-cut_fruits_and_vegetables_processing.pdf. (Diciembre 2016).
25. Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., y Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 121–129. doi:10.1016/j.lwt.2005.09.016
26. Diario Oficial de la Unión Europea. (2007). REGLAMENTO (CE) N° 1441/2007 DE LA COMISIÓN de 5 de diciembre de 2007 que modifica el Reglamento (CE) n° 2073/2005 relativo a los criterios

microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. *Diario Oficial de Unión Europea*, 322(3), 12–29.

27. do Nascimento Nunes, M. C. (2008). *Quality of Fruits and Vegetables (Color Atlas of Postharvest)*.
28. El-Ramady, H., Domokos-Szabolesy, E., Abdalla, N. A., Taha, H. S., y Fari, M. (2015). Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews*, 15, 315–355. doi:10.1007/978-94-007-5449-2
29. Escalona, V. H., Aguayo, E., y Artes, F. (2004). Envasado en atmósfera modificada de pimiento de carne gruesa. *Alimentaria*, 89–95. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Artes/publication/36720600_Envasado_en_atmosfera_modificada_de_pimiento_de_carne_gruesa/links/0fcfd5110fddbaacb0000000/Envasado-en-atmosfera-modificada-de-pimiento-de-carne-gruesa.pdf. (Enero 2017)
30. Escobar Hernández, A., Márquez Cardozo, C. J., Restrepo Florez, C. E., y Pérez Cordoba, L. J. (2014). Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Universidad Nacional de Colombia*, 67(1280), 7237–7245. doi:10.15446/rfnam.v67n1.42652
31. Fan, X. (2005). Antioxidant capacity of fresh-cut vegetables exposed to ionizing radiation †‡. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1000(May 2004), 995–1000. doi:10.1002/jsfa.2057
32. Fan, X., Niemera, B. A., Mattheis, J. P., Zhuang, H., y Olson, D. W. (2005). Quality of Fresh-cut Apple Slices as Affected by Low-dose

Ionizing Radiation and Calcium Ascorbate Treatment. *Journal of Food Science -Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 70(2), S143–S148.

33. Fan, X., y Sokorai, K. J. B. (2008). Retention of quality and nutritional value of 13 fresh-cut vegetables treated with low-dose radiation. *Journal of Food Science*, 73(7), 367–372. doi:10.1111/j.1750-3841.2008.00871.x
34. Fan, X., y Sommers, C. H. (2006). *Food irradiation research and technology* (First edit). Wiley-Blackwel.
35. Fan, X., y Sommers, C. H. (2012). *Food Irradiation Research and Technology. Food Irradiation Research and Technology: Second Edition* (second). doi:10.1002/9781118422557
36. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2010). *Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A TECHNICAL GUIDE*. (R. S. Rolle, Ed.). Bangkok. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/014/i1909e/i1909e00.htm>. (Diciembre 2016)
37. Farkas, J. (2007). Physical Methods of Food Preservation. In *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers, Third Edition* (pp. 685–712). doi:10.1128/9781555815912.ch32
38. FDA (Food And Drug Administration). (2014). La irradiación de alimentos. In *Administración de medicamentos y alimentos de los EE.UU* (pp. 1–2). Recuperado de: <http://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/UCM262298.pdf>. (Enero 2017)

39. FDA (Food And Drug Administration). (2016). Food Irradiation. *Food Facts*, 1–2. Recuperado de: <https://www.fda.gov/downloads/Food/IngredientsPackagingLabeling/UCM262295.pdf>. (Enero 2017)
40. Francis, G., Gallone, a, Nychas, G. J., Sofos, J. N., Colelli, G., Amodio, M. L., y Spano, G. (2012). Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7), 595–610. doi:10.1080/10408398.2010.503685
41. García-García, M. del C., Toledo-Martin, E. M., González, A., Moya, M., Font, R., Gomez, P., ... Del Río-Celestino, M. (2014). Perfil físico-químico y nutricional de distintas tipologías de pimiento, 28. Recuperado de <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/contenidoAlf?id=57b1c121-7888-473e-a445-d47a398870d2>. (Noviembre 2017)
42. García González, Á., Varela Moreiras, G., Alonso Aperte, E., y AchónTuñón, M. (2014). *Alimentos Precocinados- Fundacion Española de la Nutricion*. (D. G. de S. P. y Alimentación, Ed.). Madrid. Recuperado de: <http://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/3152007612.pdf>. (Enero 2017)
43. Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., y Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds , ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44–49. doi:10.1016/j.jff.2011.02.002

44. Gómez-López, V. M. (2012). *Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce. Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce*. doi:10.1002/9781118229187
45. González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., de la Rosa, L. A., y Álvarez-Parrilla, E. (2010). Preserving quality of fresh-cut products using safe technologies. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 5(1), 65–72. doi:10.1007/s00003-009-0315-6
46. Granja, E., (2016), *Estudio de la aplicación de una tecnología no contaminante radiación gamma para extender la vida útil de pimiento (Capsicum annum) entero*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
47. Gratte, H., Graham, M. y Burt, J. (2016). Government of Western Australia: Department of Agriculture and Food: *Growing capsicums and chillies*. Recuperado de: <https://www.agric.wa.gov.au/capsicums-and-chillies/growing-capsicums-and-chillies?page=0%2C4>. (Diciembre 2016)
48. Guía 3M (2001). *Interpretation Guide. 3M. 3M Petrifilm Aerobic Count Plate*. Recuperado de: www.3m.com/intl/kr/.../p_aerobic/use3.pdf (Mayo 2015)
49. Guía 3M (1999). *Interpretation Guide. 3M. 3M Petrifilm Coliform Count Plate*. Recuperado de: www.3m.com/intl/kr/.../p_coliform/use3.pdf (Mayo 2015)
50. Guía 3M (2004). *Interpretation Guide. 3M. 3M Petrifilm Yeast and Mold Count Plate*. Recuperado de: www.3m.com/intl/kr/.../p_yeast/use3.pdf (Mayo 2015)

51. Hajare, S. N., Dhokane, V. S., Shashidhar, R., Saroj, S., Sharma, A., y Bandekar, J. R. (2006). Radiation processing of minimally processed pineapple (*Ananas comosus* Merr.): Effect on nutritional and sensory quality. *Journal of Food Science*, 71(6), 1–5. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00116.x
52. Hajare, S. N., Dhokane, V. S., Shashidhar, R., Sharma, A., y Bandekar, J. R. (2006). Processing of Minimally Processed Carrot (*Daucus carota*) and Cucumber (*Cucumis sativus*) to Ensure Safety: Effect on Nutritional and Sensory Quality. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 71(3), S198–S203.
53. Hernández-Fuentes, A. D., Campos Montiel, R., y Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). COMPORTAMIENTO POSCOSECHA DE PIMIENTO MORRON (*Capsicum annum* L.) VAR. CALIFORNIA POR EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y APLICACIÓN DE LOMBRIHUMUS. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11, 82–91. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093011>. (Febrero 2017)
54. Higón, N. (2002). El pimiento. *Horticultura Internacional*, 78–83. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_hortint/hortint_2002_36_78_83.pdf. (Enero 2017)
55. Hodges, D. M., y Toivonen, P. M. A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 155–162. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.10.016
56. IAEA (International Agency of Energy Atomic). (2017). Food Irradiation. *Join FAO/AEIA Programme Nuclear Techniques in Food and*

- Agriculture*. Recuperado de: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/fep/topic-food-irradiation.html>. (Enero 2017)
57. ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). (1999). Facts about Food Irradiation. Recuperado de: http://moreira.tamu.edu/BAEN625/TOC_files/foodirradiation.pdf. (Enero 2017)
58. Inen (Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2012). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1996: 2012. *Hortalizas frescas. pimiento o pimentón. Requisitos*. Recuperado de: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte_inen_1996.pdf. (Agosto 2016)
59. Inen (Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2014). NTE INEN 1334-1: Rotulado De Productos Alimenticios Para Consumo Humano. Parte 1. Requisitos, 18. Recuperado de: <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/1334-1-4.pdf> (Enero 2017)
60. Jacobsson, A., Nielsen, T., y Sjöholm, I. (2004). Effects of type of packaging material on shelf-life of fresh broccoli by means of changes in weight, colour and texture. *European Food Research and Technology*, 218(2), 157–163. doi:10.1007/s00217-003-0820-2
61. Kader, A. A. (2002). Quality Parameters of Fresh-cut Fruit and Vegetable Products. In *Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market* (pp. 21–30). Recuperado de: <http://foodtech.org.in/admin/pdf/foodtech/fvp6.pdf>. (Enero 2017)
62. Kim, H. J., Feng, H., Toshkov, S. A., y Fan, X. (2006). Effect of Sequential Treatment of Warm Water Dip and Low-dose Gamma Irradiation on

the Quality of Fresh-cut Green Onions. *Journal of Food Science*, 70(3), M179–M185. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb07147.x

63. Lee, S. K., y Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207–220. doi:10.1016/S0925-5214(00)00133-2
64. Lin, W.-C., y Saltveit, M. (2012). *Greenhouse Production. Peppers: Botany, Production and Uses*. Recuperado de: <http://books.google.com/books?id=aR6LUhTL4X0C&pgis=1>. (Enero 2017)
65. Lou, F., Neetoo, H., Chen, H., y Li, J. (2011). Inactivation of a human norovirus surrogate by high-pressure processing: Effectiveness, mechanism, and potential application in the fresh produce industry. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1862–1871. doi:10.1128/AEM.01918-10
66. Lu, Z., Yu, Z., Gao, X., Lu, F., y Zhang, L. (2005). Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. *Journal of Food Engineering*, 67(3), 347–351. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.04.038
67. Manolopoulou, H., Lambrinos, G., y Xanthopoulos, G. (2012). Active Modified Atmosphere Packaging of Fresh-cut Bell Peppers: Effect on Quality Indices. *Journal of Food Research*, 1(3), 148–158. doi:10.5539/jfr.v1n3p148
68. Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., 6 Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering*, 106(4), 535–543. doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.06.003

69. Marín, J. (2007). Portagrano: vademécum de variedades hortícolas. *José Marín Rodríguez*, El Ejido, Spain.
70. Martín-Belloso, O., y Soliva-Fortuny, R. C. (2011). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing. Food Preservation Technology Series*. CRC Press Taylor and Francis Group. Recuperado de: http://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/advances_in_fresh-cut_fruits_and_vegetables_processing.pdf. (Noviembre 2016)
71. Martín Cerdeño, V. J. (Universidad C. de M. (2006). Consumo de platos Preparados: Principales Características. *Distribución Y Consumo*, 16(87), 74. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=2948878&orden=0>. (Enero 2017)
72. Mason, J. (2014). *Growing & Using Capsicums and Chillies*. (A. Fraser, G. Cole, & L. Mason, Eds.) (2nd ed.). New Zealand: ACS Distance Education.
73. Melendez-Hevia, E. (2011). Ácido ascórbico (vitamina C). *Sociedad para la Investigación en Bioquímica, Biología molecular y Nutrición*. Recuperado de: <http://www.metabolismo.biz/web/vitamina-c/>. (Diciembre 2016)
74. Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I. M., y Heredia, F. J. (2004). Nutritional importance of carotenoid pigments. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 54(2), 149–154. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/8140698> Nutritional. (Febrero 2017)
75. Mendoza, R. (2006). Sistemática e historia de ají *Capsicum Tourn. Universalia*, 11(2), 80–88. Recuperado de:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2924765>. (Enero 2017)

76. Milla, A. (2006). Capsicum de capsia, cápsula : el pimiento. *Pimientos Compendios de Horticultura*, 21–31. Recuperado de: <http://www.olivosdebadajoz.com/PLANTAS-DE-HORTALIZA/pimiento.pdf>. (Agosto 2016)
77. Monteiro, C. A., Cannon, G., Moubarac, J.-C., Bortoletto Martins, A. P., Martins, C. A., Garzillo, J., . Constante Jaime, P. (2015). Dietary guidelines to nourish humanity and the planet in the twenty-first century . A blueprint from Brazil. *Public Health Nutrition*, 18(13), 1–12. doi:10.1017/S1368980015002165
78. Morehouse, K. M., y Komoprasert, V. (2004). *Irradiation of Food and Packaging Recent Developments ACS Division of Agricultural and Food Chemistry. In Irradiation of Food and Packaging ACS Symposium Series*. doi:10.1021/bk-2004-0875.fw001
79. Novak, J. S., Sapers, G. M., y Juneja, V. K. (2003). *Microbial safety of minimally processed foods. Accident; analysis and prevention* (Vol. 44). CRC Press Taylor and Francis Group. doi:10.1016/S0168-1605(03)00165-X
80. Ortega, R. G. (2009). El pimiento: de su domesticacion a la conquista del paladar. *Naturaleza Aragonesa: Revista de La Sociedad de Amigos Del Museo Paleontológico de La Universidad de Zaragoza*, 22, 32–39.
81. P&C Maderas. (2013). Chile. *Catalogo Tecnico*, 1–7. Recuperado de: [http://www.pcmaderas.net/SoporteTecnico/Chile\(CapsicumAnnum\).pdf](http://www.pcmaderas.net/SoporteTecnico/Chile(CapsicumAnnum).pdf). (Enero 2017)

82. Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J.-H., ... Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(1), 18–35. doi:10.1080/07315724.2003.10719272
83. Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garrett, E. H., Farber, J. N., y Busta, F. F. (2003). Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(s1), 161–173. doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00033.x
84. Parzanese, M. (2011). *Vegetales mínimamente procesados*. *Secretaría de Agricultura Ganadería Y Pesca de Argentina*. Recuperado de: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf. (Noviembre 2016)
85. Pereira, L. M., Rodrigues, A. C. C., Sarantópoulos, C. I. G. L., Junqueira, V. C. A., Cunha, R. L., y Hubinger, M. D. (2004). Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration on the Quality Maintenance of Minimally Processed Guavas. *Food Engineering and Physical Properties*, 69(4), FEP172-FEP177.
86. Pérez Pérez, E. P., y López Malo, A. (2011). Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5(2), 13–27. Recuperado de: [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5\(2\)-Pérez-Pérez-et-al-2011.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5(2)-Pérez-Pérez-et-al-2011.pdf). (Enero 2017)
87. Pesis, E., Dvir, O., Feygenberg, O., Arie, R. Ben, y Ackerman, M. (2002). Production of acetaldehyde and ethanol during maturation and modified atmosphere storage of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 26, 157–165.

88. Prakash, A., y Foley, D. (2004). Improving Safety and Extending Shelf Life of Fresh- Cut Fruits and Vegetables Using Irradiation. In *Irradiation of Food Packaging* (pp. 90–106). doi:10.1021/bk-2004-0875.ch006
89. Prakash, A., Guner, A. R., Caporaso, F., y Foley, D. M. (2000). Effects of low-dose gamma irradiation on the shelf life and quality characteristics of cut Romaine Lettuce packaged under modified atmosphere. *Journal of Food Science*, 65(April), 549–553. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb16046.x
90. Prakash, A., Manley, J., DeCosta, S., Caporaso, F., y Foley, D. (2002). The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. *Radiation Physics and Chemistry*, 63(3–6), 387–390. doi:10.1016/S0969-806X(01)00529-1
91. Qualities, N. (2007). Antioxidant Activities of Different Colored Sweet Bell Peppers (*Capsicum annuum* L .), 72(2), 98–102. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00245.x
92. Ramalho, E., Monteiro, M., y Finger, F. L. (2016). *Production and Breeding of Chilli Peppers (Capsicum spp .)*. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-06532-8
93. Ramana Rao, T. V, Gol, N. B., y Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 132(1), 18–26. doi:10.1016/j.scienta.2011.09.032
94. Reche, J. (2010). *Cultivo Del Pimiento Dulce En Invernadero*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). doi:10.1017/CBO9781107415324.004

95. Rivera-Lopez, J., Vazques-Ortiz, F. a., Ayala-Zavala, J. F., Sotelo-Mundo, R. R., y Gonzalez-Aguilar, G. a. (2005). Cutting shape and storage temperature affect overall quality of fresh-cut Papaya cv . “ Maradol .” *Journal of Food Science*, 70(7), 482–489. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb11496.x
96. Roberts, P. B. (2014). Food irradiation is safe: Half a century of studies. *Radiation Physics and Chemistry*, 105, 78–82. doi:10.1016/j.radphyschem.2014.05.016
97. Rodoni, L. M. (2014). “ *EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS NO CONTAMINANTES PARA MANTENER LA CALIDAD Y EXTENDER LA VIDA POSCOSECHA DE PIMIENTOS (Capsicum annuum L .) FRESCOS CORTADOS .*” Universidad Nacional de la Plata. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/35189/Documento_completo__.pdf?sequence=1. (Diciembre 2016)
98. Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Aharoni, Y., Wiseblum, A., Horev, B., y Vinokur, Y. (2000). Nested modified-atmosphere packaging maintains quality of trimmed sweet corn during cold storage and shelf life period trimmed sweet corn during cold storage and the shelf life. *Postharvest Biology and Technology*, 18, 259–266. doi:10.1016/S0925-5214(99)00079-4
99. Rotondo, R., Ferratto, J., y Firpo, I. T. (2008). Hortalizas minimamente procesadas o de IV gama. *Revista Agromensajes de La Facultad de Ciencias Agrarias de La Universidad Nacional de Rosario*, 26(1), 21–23. Recuperado de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301107/AVA/Unidad_3/Hortalizas_IV_Gama.pdf. (Enero 2017)

100. SAA040 (Ministerio y Secretaria de Agricultura Ganaderia y Pesca). (2013). Protocolo de calidad para pimiento fresco. Recuperado de: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Sello/sistema_protocolos/SAA040_ProtocoloPimientofresco_V3.pdf. (Diciembre 2016)
101. Serrano Cermeño, Z. (2011). *Prontuario Del Cultivo De Pimiento*. Recuperado de: [http://www.zoiloserrano.com/wp-content/uploads/2012/03/Tráiler del libro Prontuario del cultivo de pimiento..pdf](http://www.zoiloserrano.com/wp-content/uploads/2012/03/Tráiler%20del%20libro%20Prontuario%20del%20cultivo%20de%20pimiento..pdf). (Enero 2017)
102. Siddiqui, M. W. (2002). *Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops: Principles and Practices for Quality Maintenance*. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
103. Sinha, N. K., Sidhu, J. S., Barta, O., Wu, J. S. ., y Cano, M. P. (2012). *Handbook of fruit and fruit processing: Second Edition*. (N. K. Sinha, J. S. Sidhu, O. Barta, J. S. . Wu, & M. P. Cano, Eds.) (Second edition). doi:10.1002/9781118352533.ch16
104. Soliva-Fortuny, R., Alos-Saiz, N., Espachs-Barroso, A., y Martín-Belloso, O. (2004). Influence of maturity at processing on quality attributes of fresh-cut conference pears. *Journal of Food Science*, 69(7), S290–S294.
105. Soliva-Fortuny, R. C., y Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 14(9), 341–353. doi.10.1016/S0924-2244(03)00054-2
106. Suquilanda. M. (2003). *Produccion organica de hortalizas en la sierra norte y central del Ecuador*. Quito. Universidad Central del Ecuador.

107. Teixeira, G. H. A., Durigan, J. F., Alves, R. E., y O'Hare, T. J. (2010). Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*Averrhoa carambola* L. cv. Fwang Tung). *Acta Horticulturae*, 864, 329–336. doi:10.1016/j.postharvbio.2006.11.007
108. Thompson, a K. (2003). Postharvest technology of fruits and Vegetables. *Fruit and Vegebles: Harvesting, Handling and Storage*, 115–369. doi:10.1002/9780470751060.ch12
109. Toivonen, P. M. A., y Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1–14. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.09.004
110. USDA (United States Department of Agruculture). (2016). *Nutritive Value of Foods*. Recuperado de: <https://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=food-nutrition>. (Diciembre 2016).
111. Valero, D., y Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. doi.org/10.1201/9781439802670
112. Vargas, L., Tamayo, J., Centurión, A., Tamayo, E., Cresenciano, S., y Enrique, S. (2010). Vida útil de de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11, 154–161. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/813/81315809007.pdf>. (Enero 2017)
113. Vasco, C., (2009). *Phenolics Compounds in Ecuadorian Fruits*. (Disertación doctoral). Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, Suecia.

114. Wallace, H. M., y Walton, D. a. (2011). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. WOODHEAD PUBLISHING. doi:10.1533/9780857092885.450
115. Zhang, D., y Hamazu, Y. (2003). Phenolic compounds , ascorbic acid , carotenoids and antioxidant properties of green , red and yellow bell peppers. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 1(April), 22–27. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228643773_Phenolic_compounds_ascorbic_acid_carotenoids_and_antioxidant_properties_of_green_red_and_yellow_bell_peppers. (Diciembre 2016)

ANEXOS

ANEXO I

**FORMATO UTILIZADO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
SENSORIAL A TRAVÉS DE UNA PRUEBA DESCRIPTIVA CON ESCALAS NO
ESTRUCTURADAS.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA
EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL**

PRODUCTO: Pimiento de cuarta gama: R () V () A ()
NOMBRE: **FECHA:**..... **HORA:**.....

Usted está recibiendo cuatro muestras para evaluar. La prueba es simple, consiste en valorar cada una de las muestras y señalar en la escala con una raya vertical la calificación, sobre dicha raya debe colocarse el correspondiente número de muestra.

APARIENCIA GENERAL:**Muy Seco****Muy Fresco****AROMA (olor+sabor):****Débil****Intenso****DUREZA:****Blando****Duro****COLOR:****Débil****Fuerte****SABOR-OLORES EXTRAÑOS:****Ausencia****Presencia Intensa****OBSERVACIONES:**

.....
.....

Gracias por su colaboración

ANEXO II

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR DE GASES POSTHARVEST RESEARCH PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE CO₂ EN EL INTERIOR DEL EMPAQUE.

Volumen de la muestra:	1 mL
Gas portador:	Nitrógeno
Flujo del gas portador:	100 mL/min
Presión del gas portador:	15 psig
Para la determinación de la atmósfera interna	
Estándar de CO₂:	5 %
Rango del detector de CO₂:	0,8%
Rango del registro de CO₂:	10 V

En la siguiente figura se observa el analizador rápido de CO₂/O₂ Postharvest Research.

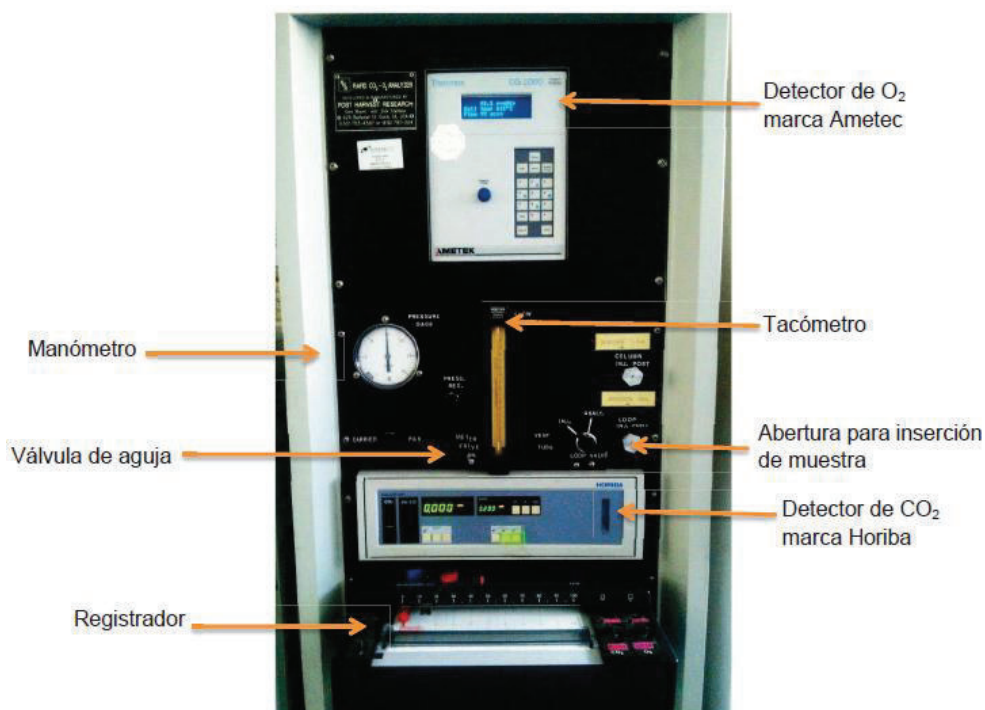


Figura AII.1. Analizador rápido de CO₂/O₂ (Post Harvest Research, modelo CG-1000, USA) provisto de un detector infrarrojo

ANEXO III

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS

Extracción:

- Pesar 1 g de pimienta y triturar en un mortero.
- Colorar el pimienta con 20 mL de agua:metanol (50:50 v/v) en una matraz de 250 mL y agitar por 1 h en un agitador mecánico.
- Centrifugar a 4000 rpm durante 15 min y recoger el primer sobrenadante.
- Al sólido adicionar 20 mL de acetona:agua (70:30 v/v) y agitar por 1 h.
- Volver a centrifugar a 4000 rpm por 15 min y recoger el sobrenadante.
- Los sobrenadantes recogidos aforar con agua destilada en un matraz de 50 mL.

Cuantificación:

- Tomar 0,5 mL del extracto en un matraz de 25 mL y adicionar 0,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu 2N.
- Agitar el contenido manualmente por 3 min y adicionar 10 mL de una solución de Carbonato de sodio (75g/L).
- Aforar con agua destilada a 25 mL y dejar reposar durante 1 h a temperatura ambiente.
- Medir la absorbancia a una longitud de onda de 750 nm en el espectrofotómetro.

Curva de Calibración:

Preparar soluciones de Ácido Gálico a concentraciones de 200, 100, 50, 25 y 12,5 ppm. Como blanco se tendrá agua destilada. Para cuantificar las soluciones y el blanco se seguirá el mismo proceso descrito anteriormente.

Obtenidas las absorbancias de las distintas concentraciones de ácido gálico, se trazará la curva de calibración para determinar la ecuación de la curva

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE VITAMINA C

Extracción:

- Pesar 10 g de pimiento congelado y triturar en un mortero.
- Colocar el pimiento triturado en un matraz y adicionar 30 mL de ácido metafosfórico a 3 % y 5 mL de homocisteína al 0,2 %. Colocar el matraz en un baño ultrasonido por 15 min.
- Filtra el extracto y aforar a 50 mL con agua HPLC.
- Centrifugar los 50 mL a 5000 rpm durante 10 min y recoger el sobrenadante.

Importante. Mantener la muestra fría y protegida de la luz en todo momento.

Cuantificación:

- Aproximadamente 1 mL del extracto filtrar a 0,22 μm e inyectar al UPLC.
- Las condiciones de operación del equipo UPLC marca WATERS son:
Tipo de Separación: Isocrática y en fase reversa
Fase móvil: 20 mM KH_2PO_4 (pH 2,5)
Flujo: 0,8 mL/min
Detección: 240 nm
Volumen de Inyección: 0,7 μL
Temperatura: 20 °C
Tiempo de corrida: 5,5 min
Columna Atlantis® dC18 (4,6 mm *150 mm * 5 μm)

Curva de Calibración:

Preparar soluciones de estándar de Ácido Ascórbico a concentraciones de 0,05, 0,1, 0,2 y 0,4 mg/mL en ácido metafosfórico y homocisteína. Para la cuantificación de las diferentes soluciones se seguirá el mismo proceso descrito anteriormente. Con las áreas y concentraciones de las soluciones se trazará la curva de calibración y se determinará la ecuación de la curva.

ANEXO V

DETERMINACIÓN DE CAROTENOIDES

Extracción:

- Pesar 20 g de pimiento congelado y triturar en un mortero.
- En un matraz de 250 mL colocar la muestra, adicionar 30 mL de acetona:etanol (50:50 v/v) y agitar durante 5 min en el agitador mecánico.
- Recoger el sobrenadante y repetir el paso anterior hasta alcanzar la decoloración (5 extracciones para pimiento verde y amarillo, y 7 para pimiento rojo).
- Filtrar los sobrenadantes y colocarlos en un embudo de separación con 30 mL de éter de petróleo, agitar y recoger la fase etérea en una balón con BHT (≈ 5 mg).
- Evaporar el extracto etéreo a sequedad en un rotavapor a 30°C y 150 rpm.
- Recuperar el extracto con fase móvil y aforar a 10 mL.

Durante la extracción se recomienda proteger los extractos de la luz

Cuantificación:

- Aproximadamente 1 mL del extracto filtrar a 0,22 μm e inyectar al UPLC.
- Las condiciones de operación del equipo UPLC marca WATERS son:
Tipo de Separación: Isocrática y en fase normal
Fase móvil: metanol : ter.butil metil éter : agua (56:40:4 v/v)
Flujo: 0,8 mL/min
Detección: 450 nm
Volumen de Inyección: 10 μL
Temperatura: 20 °C
Tiempo de corrida: 35 min
Columna YMC Carotenoides (4,5 mm * 250mm * S5)

Curva de Calibración:

Preparar soluciones de estándar de β -caroteno a concentraciones de 0,98, 0,48, 0,24, 0,12, 0,06, y 0,03 mg/mL en fase móvil. Para la cuantificación de las soluciones se seguirá el mismo proceso descrito anteriormente. Determinar la ecuación de la curva con las áreas y concentraciones.

ANEXO VI

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE RADIACIÓN

Tabla AVI.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro pérdida de peso de los factores dosis de radiación (250, 500 y 750 Gy) y tiempo de almacenamiento (0,6 y 12 días) del pimiento amarillo mínimamente procedo y almacenado a 5 °C y 90 % HR

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	14.5064	3	4.83548	93.84	0.0000
B:Tiempo de almacenamiento	37.4941	2	18.7471	363.80	0.0000
RESIDUOS	3.40105	66	0.051531		
TOTAL (CORREGIDO)	55.4016	71			

Tabla AVI.2. Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro firmeza de los factores dosis de radiación (250, 500 y 750 Gy) y tiempo de almacenamiento (0,6 y 12 días) del pimiento amarillo mínimamente procedo y almacenado a 5 °C y 90 % HR

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	162.197	3	54.0658	52.60	0.0000
B:Tiempo de almacenamiento	197.408	2	98.7039	96.03	0.0000
RESIDUOS	67.8368	66	1.02783		
TOTAL (CORREGIDO)	427.442	71			

ANEXO VII

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS VISUAL Y SENSORIAL DEL PIMIENTO
AMARILLO MÍNIMAMENTE PROCESADO IRRADIADO A DOSIS DE 0, 250,
500 Y 750 Gy Y ALMACENADO A 5 °C Y 90 % HR POR 12 DÍAS.**

Tabla AVII.1. Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado irradiado a dosis de 0, 250, 500 y 750 Gy y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días.

Variable	Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
		0	250	500	750
Apariencia general	0 días*	7,12±1,47	8,05±1,56	6,87±2,68	6,65±1,73
	6 días	6,00±2,10	7,02±2,08	5,34±2,55	5,01±1,76
	12 días	5,41±1,88	5,59±2,18	4,40±2,35	4,27±2,04
Aroma	0 días	7,34±1,92	7,08±1,92	6,53±2,22	5,95±2,08
	6 días	6,70±2,09	6,32±2,21	5,34±2,63	5,68±2,32
	12 días	6,21±1,96	5,85±1,93	4,88±2,54	5,34±2,21
Dureza	0 días	8,05±1,21	7,64±1,74	6,71±2,13	5,64±2,59
	6 días	6,44±1,99	6,78±2,07	5,72±2,38	5,42±2,79
	12 días	5,15±1,91	5,66±2,36	4,41±2,26	4,85±2,28
Color	0 días	7,22±2,07	7,05±2,50	6,13±2,65	5,90±2,13
	6 días	6,80±2,13	6,58±2,09	5,39±2,73	5,77±2,34
	12 días	6,03±2,07	6,04±2,14	5,62±2,36	5,45±2,69
Sabores y olores extraños	0 días	0,94±0,95	1,15±1,11	1,32±1,32	1,67±1,16
	6 días	1,10±0,92	1,18±0,72	1,23±0,88	1,28±1,00
	12 días	1,48±0,93	1,59±1,10	1,85±1,12	1,93±1,33

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 12)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

ANEXO VIII

TABLAS DE ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA PARA CADA UNO DE LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL DEL PIMIENTO AMARILLO MINIMAMENTE PROCESADO IRRADIADO A DOSIS DE 0, 250, 500 Y 750 Gy Y ALMACENADO A 5 °C Y 90 % HR POR 12 DIAS.

Tabla AVIII.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo apariencia general del pimiento amarillo mínimamente procesado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	57.2291	3	19.0764	4.61	0.0042
B:BLOQUE	123.819	2	61.9097	14.95	0.0000
RESIDUOS	571.427	138	4.14077		
TOTAL (CORREGIDO)	752.475	143			

Tabla AVIII.2. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo aroma del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	39.163	3	13.0543	2.67	0.0497
B:BLOQUE	27.106	2	13.553	2.78	0.0657
RESIDUOS	673.491	138	4.88037		
TOTAL (CORREGIDO)	739.76	143			

Tabla AVIII.3. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo dureza del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	47.8283	3	15.9428	3.39	0.0198
B:BLOQUE	95.4038	2	47.7019	10.16	0.0001
RESIDUOS	648.068	138	4.69614		
TOTAL (CORREGIDO)	791.3	143			

Tabla AVIII.4. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	31.0906	3	10.3635	1.95	0.1239
B:BLOQUE	15.0087	2	7.50437	1.41	0.2466
RESIDUOS	732.231	138	5.30602		
TOTAL (CORREGIDO)	778.33	143			

Tabla AVIII.5. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo presencia de sabores y olores extraños del pimiento amarillo mínimamente procesado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Dosis de Radiación	4.33299	3	1.44433	1.36	0.2580
B:BLOQUE	7.35542	2	3.67771	3.46	0.0342
RESIDUOS	146.681	138	1.06291		
TOTAL (CORREGIDO)	158.369	143			

ANEXO IX

**RESULTADOS DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y DE LOS ATRIBUTOS
DE CALIDAD VISUAL DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO
MINIMAMENTE PROCESADO ALMACENADO A 5 °C Y 90 % HR POR 12
DIAS.**

Tabla AIX.1. Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y mohos y levaduras (UFC/g) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Tiempo de almacenamiento	Variedad de pimiento	Tratamientos			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
E.Coli / Coliformes					
12 días	Verde	5,00E+01	<1.00E+01	2,00E+02	<1,00E+01
	amarillo	4,20E+01	<1.00E+01	1,80E+01	<1,00E+01
	Rojo	4,60E+01	<1.00E+01	2,15E+02	<1,00E+01
Aerobios Totales					
0 días*	Verde	8,00E+01	<1,00E+01	2,00E+02	<1,00E+01
	amarillo	6,30E+01	<1,00E+01	1,21E+02	<1,00E+01
	Rojo	5,40E+01	<1,00E+01	5,17E+02	<1,00E+01
6 días	Verde	2,70E+03	4,30E+02	9,10E+03	6,00E+03
	amarillo	1,10E+03	4,30E+03	2,00E+03	1,30E+02
	Rojo	4,40E+03	1,84E+02	7,50E+03	7,90E+03
12 días	Verde	4,20E+04	8,80E+03	2,90E+05	6,00E+04
	amarillo	3,40E+04	9,10E+03	3,00E+05	8,40E+04
	Rojo	1,40E+04	1,20E+04	9,40E+04	7,90E+04
Mohos y Levaduras					
0 días	Verde	1,25E+02	2,30E+01	1,15E+02	4,80E+01
	amarillo	1,12E+02	1,00E+01	2,13E+02	3,50E+01
	Rojo	3,25E+02	1,10E+01	3,25E+02	5,20E+01
6 días	Verde	6,50E+03	2,48E+02	1,05E+04	7,50E+02
	amarillo	9,50E+03	5,50E+02	1,23E+04	4,60E+02
	Rojo	1,70E+03	1,50E+02	3,90E+04	8,30E+02

Tabla AIX.1. Resultados de los contajes de coliformes totales, aerobios totales y mohos y levaduras (UFC/g) de tres variedades de pimiento mínimamente procesado y almacenadas a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días (Continuación...)

12 días	Verde	5,72E+04	9,90E+02	8,70E+04	9,30E+02
	amarillo	1,40E+04	3,60E+03	6,90E+04	5,30E+03
	Rojo	8,30E+03	1,50E+03	9,50E+04	4,30E+03

(n=1) * Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Tabla AIX.2. Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento verde mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Turgencia	0 días*	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	4,00±0,00
	6 días	4,00±0,00	4,00±0,00	3,83±0,41	4,00±0,00
	12 días	3,00±0,00	3,50±0,55	3,00±0,00	3,00±0,00
Marchitez	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,00±0,00	4,00±0,00	4,00±0,00	4,00±0,00
	12 días	2,83±0,41	3,67±0,52	2,00±0,00	3,00±0,00
Presencia de patógenos	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,83±0,41	4,83±0,41	4,83±0,41	4,83±0,41
	12 días	4,67±0,52	5,00±0,00	4,83±0,41	4,50±0,55

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Tabla AIX.3. Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento amarillo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Turgencia	0 días*	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,00±0,00	4,00±0,00	3,83±0,41	4,00±0,00
	12 días	3,00±0,00	3,50±0,55	3,00±0,00	3,00±0,00
Marchitez	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,00±0,00	4,00±0,00	4,00±0,00	4,00±0,00
	12 días	2,83±0,41	3,67±0,52	2,00±0,00	3,00±0,00
Presencia de patógenos	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,83±0,41	4,83±0,41	4,83±0,41	4,83±0,41
	12 días	5,00±0,00	5,00±0,00	4,83±0,41	4,50±0,55

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Tabla AIX.4. Valoración de los atributos turgencia, marchitez y presencia de patógenos para evaluar la calidad visual del pimiento rojo mínimamente procesado almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Turgencia	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	4,33±0,52
	6 días	4,00±0,00	4,00±0,00	3,83±0,41	3,83±0,41
	12 días	3,00±0,00	3,50±0,55	3,00±0,00	3,00±0,00
Marchitez	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	4,33±0,52	4,50±0,55
	6 días	3,83±0,41	4,00±0,00	4,00±0,00	4,00±0,00
	12 días	2,83±0,41	3,67±0,52	2,00±0,00	3,00±0,00
Presencia de patógenos	0 días	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00	5,00±0,00
	6 días	4,67±0,52	4,83±0,41	4,33±0,52	4,83±0,41
	12 días	5,00±0,00	5,00±0,00	4,33±0,52	4,50±0,55

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

ANEXO X

**RESULTADOS DE LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL DE TRES
VARIETADES DE PIMIENTO MÍNIMAMENTE PROCESADO ALMACENADO
A 5 °C Y 90 % HR POR 12 DIAS.**

Tabla AX.1. Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento verde mínimamente procesado Gy y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días.

Variable	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Apariencia general	0 días*	7,42±2,65	8,64±2,47	6,32±2,07	7,43±1,75
	6 días	6,37±2,68	6,92±2,08	6,18±1,68	5,53±2,06
	12 días	6,11±2,47	6,85±2,24	5,63±2,38	5,22±2,18
Aroma	0 días	7,44±1,92	7,15±1,92	6,23±2,22	6,13±2,08
	6 días	6,22±2,21	6,31±2,21	5,31±2,65	5,24±2,65
	12 días	5,89±2,57	6,02±2,47	3,24±2,26	4,52±2,80
Dureza	0 días	8,27±1,21	7,59±1,94	7,24±2,08	6,37±2,09
	6 días	7,14±2,08	6,58±2,07	5,18±2,34	5,18±2,47
	12 días	6,62±1,80	5,89±1,87	6,01±2,06	5,05±2,54
Color	0 días	7,22±2,07	7,05±2,50	6,13±2,65	6,72±2,09
	6 días	6,13±2,65	6,58±2,09	6,44±2,49	5,91±2,75
	12 días	6,94±2,65	6,53±1,79	6,36±2,36	5,48±2,74
Sabores y olores extraños	0 días	0,87±0,35	1,45±1,11	3,65±2,05	2,33±1,19
	6 días	1,30±0,92	1,22±0,58	2,24±1,12	3,18±1,03
	12 días	2,13±1,01	1,34±0,87	3,41±2,21	2,67±1,33

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 12)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Tabla AX.2. Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento amarillo mínimamente procesado y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tiempo de almacenamiento	Tratamiento			
		SI-PET	I-PET	SI-PVC	I-PVC
Apariencia general	0 días	7,12±1,47	8,05±1,56	6,87±2,68	7,23±1,73
	6 días	6,87±2,68	7,02±2,08	6,38±1,68	5,97±2,06
	12 días	5,67±2,70	5,90±2,24	5,91±2,38	5,08±2,18
Aroma	0 días	7,34±1,92	7,08±1,92	6,53±2,22	5,95±2,08
	6 días	6,52±2,21	6,32±2,21	5,20±2,58	5,33±2,65
	12 días	5,44±2,57	6,20±2,07	3,86±2,26	4,62±2,80
Dureza	0 días	8,05±1,21	7,14±1,94	7,54±2,08	6,27±2,59
	6 días	7,54±2,08	6,78±2,07	5,69±2,34	5,05±2,47
	12 días	6,38±1,80	5,21±1,87	6,29±2,06	5,32±2,54
Color	0 días	7,22±2,07	7,05±2,50	6,13±2,65	6,72±2,13
	6 días	6,13±2,65	6,58±2,09	6,44±2,49	5,91±2,75
	12 días	6,94±2,07	6,53±1,79	6,36±2,36	5,48±2,74
Sabores y olores extraños	0 días	0,94±0,95	1,15±1,11	3,88±3,25	2,50±1,93
	6 días	2,30±2,21	1,18±0,72	3,20±2,55	3,28±1,00
	12 días	2,07±2,33	1,63±1,66	3,72±3,00	3,94±1,33

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 12)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

Tabla AX.3. Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial del pimiento rojo mínimamente procesado y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tiempo de almacenamiento	Dosis de radiación (Gy)			
		0	250	500	750
Apariencia general	0 días*	7,00±2,61	8,05±1,56	6,87±2,68	6,65±1,73
	6 días	6,00±2,10	7,02±2,08	5,34±2,55	5,01±1,76
	12 días	5,41±1,88	5,59±2,18	4,40±2,35	4,27±2,04
Aroma	0 días	7,34±1,92	7,08±1,92	6,53±2,22	5,95±2,08
	6 días	6,70±2,09	6,32±2,21	5,34±2,63	5,68±2,32
	12 días	6,21±1,96	5,85±1,93	4,88±2,54	5,34±2,21
Dureza	0 días	8,05±1,21	7,64±1,74	6,71±2,13	5,64±2,59
	6 días	6,44±1,99	6,78±2,07	5,72±2,38	5,42±2,79
	12 días	5,15±1,91	5,66±2,36	4,41±2,26	4,85±2,28
Color	0 días	7,22±2,07	7,05±2,50	6,13±2,65	5,90±2,13
	6 días	6,80±2,13	6,58±2,09	5,39±2,73	5,77±2,34
	12 días	6,03±2,07	6,04±2,14	5,62±2,36	5,45±2,69
Sabores y olores extraños	0 días	0,94±0,95	1,15±1,11	1,32±1,32	1,67±1,16
	6 días	1,10±0,92	1,18±0,72	1,23±0,88	1,28±1,00
	12 días	1,48±0,93	1,59±1,10	1,85±1,12	1,93±1,33

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 12)

* Periodo de almacenamiento inmediato después de la irradiación

ANEXO XI

GRÁFICAS LSD DE LOS RESULTADOS DE CADA UNOS DE LOS ATRIBUTOS
DE CALIDAD DE LA MEZCLA DE PIMIENTOS MINIMAMENTE
PROCESADOS Y ALMACENADOS A 5 °C Y 90 % HR POR 12 DÍAS.

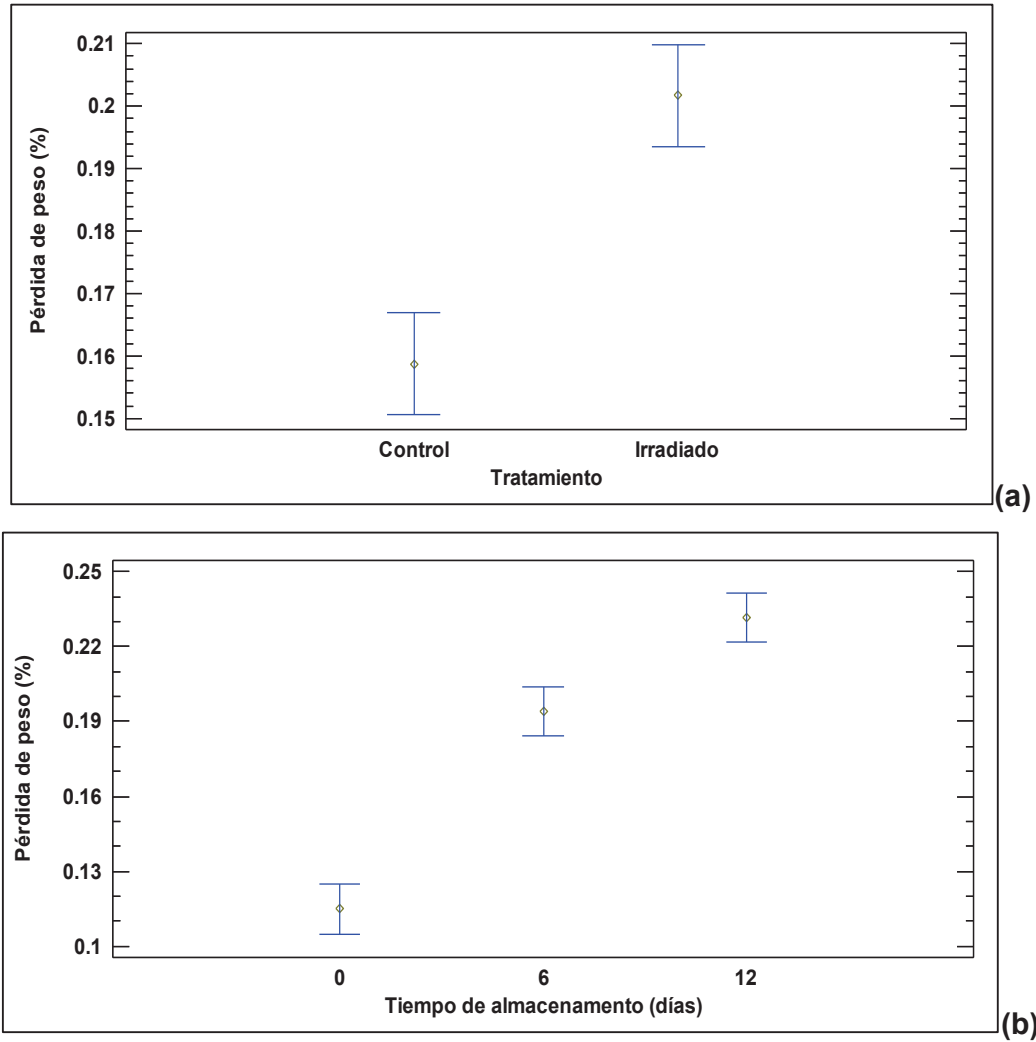


Figura AXI.1. Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo pérdida de peso (%) (n=6)

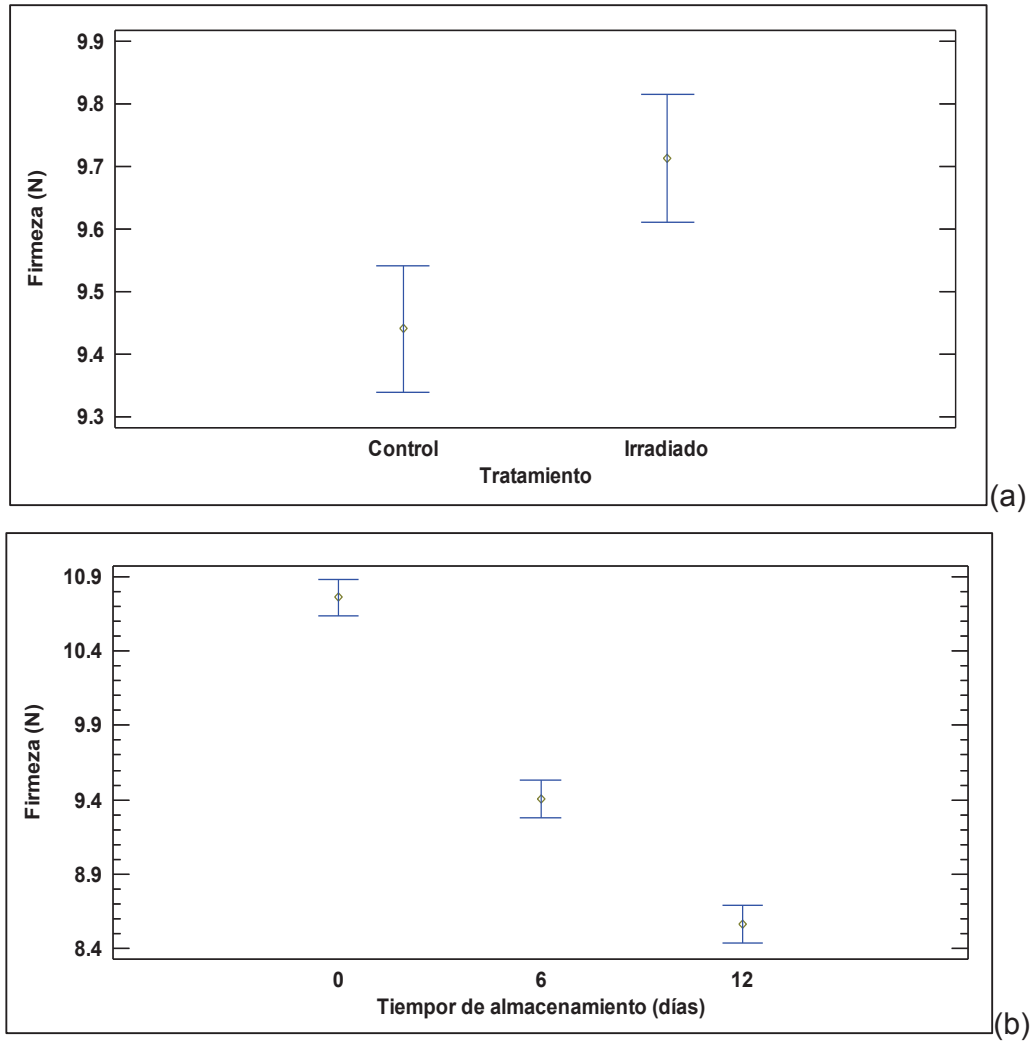


Figura AXI.2. Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo firmeza (N) (n=6)

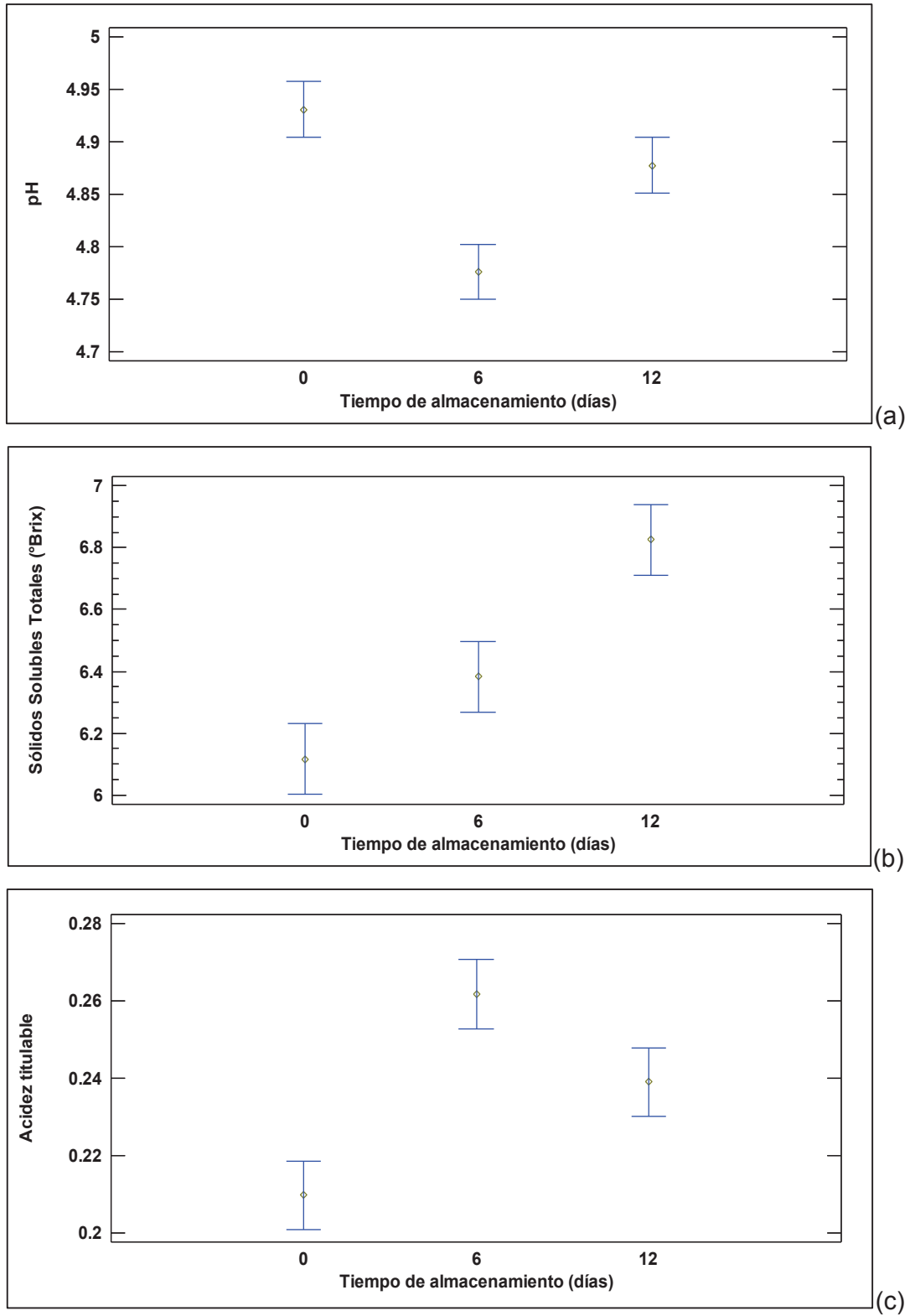


Figura AXI.3. Gráficas de medias e intervalos LSD de los atributos (a) pH, (b) sólidos solubles totales y (c) acidez titulable del factor tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) (n=6)

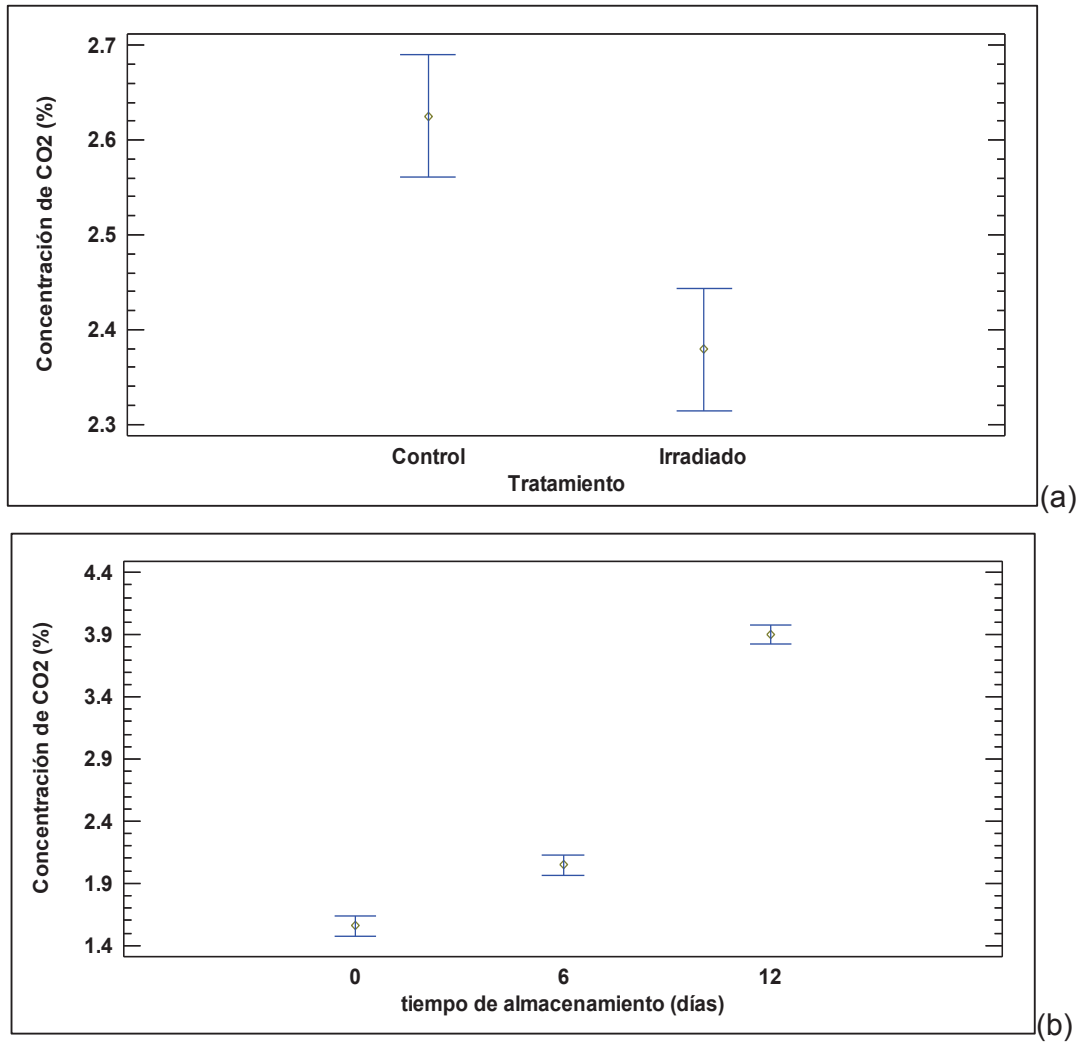


Figura AXI.4. Gráficas de medias e intervalos LSD de los factores (a) tratamiento (control e irradiado) y (b) tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) para el atributo concentración de CO₂ en el interior del empaque (%) (N) (n=3)

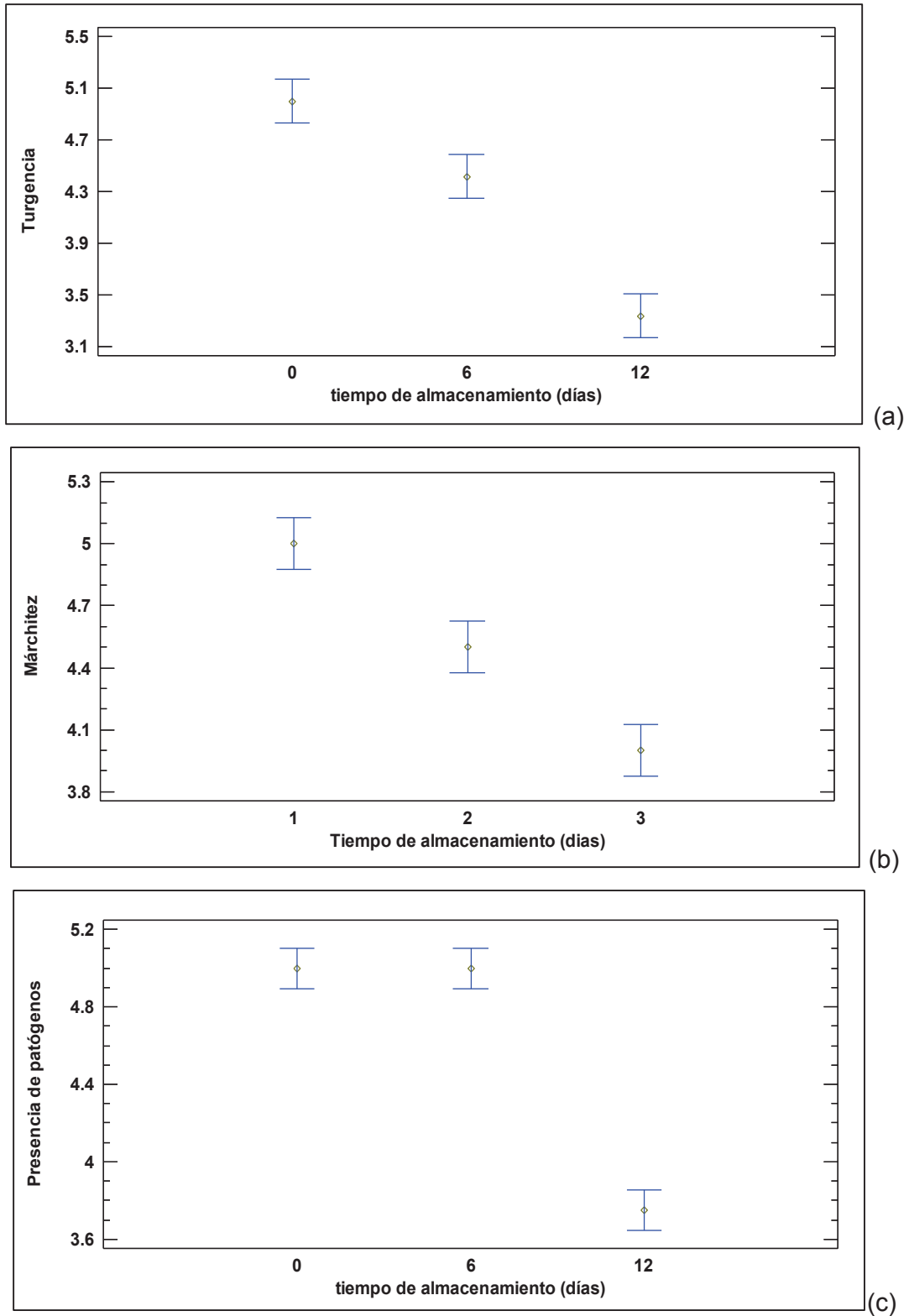


Figura AXI.5. Gráficas de medias e intervalos LSD de los atributos (a) turgencia, (b) marchitez y (c) presencia de patógenos del factor tiempo de almacenamiento (0, 6 y 12 días) (n=6)

ANEXO XII

**RESULTADOS DE LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL DE LA
MEZCLA DE PIMIENTOS MINIMAMENTE PROCESADOS Y ALMACENADOS
A 5 °C Y 90 % HR POR 12 DIAS.**

Tabla AXII.1. Valoración de los atributos apariencia general, aroma, dureza, color y presencia de sabores y olores extraños para evaluar la calidad sensorial de la mezcla de pimientos cortados y almacenado a 5 °C y 90 % de HR por un periodo de 12 días

Variable	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento		
		0 días	6 días	12 días
Apariencia general	Control	7,05±1,47	6,45±1,56	6,11±2,68
	Irradiado	7,65±2,10	7,28±2,08	7,11±2,55
Aroma	Control	6,58±2,09	6,44±1,99	6,70±1,74
	Irradiado	6,78±2,07	7,08±1,92	6,94±2,09
Dureza	Control	6,93±1,21	6,26±1,74	5,42±2,13
	Irradiado	7,52±1,99	6,78±2,07	6,31±2,38
Color	Control	6,86±2,07	6,56±2,50	5,92±2,65
	Irradiado	7,22±2,07	7,05±2,50	6,13±2,65
Sabores y olores extraños	Control	0,64±0,12	0,95±0,43	1,26±0,32
	Irradiado	0,42±0,06	0,68±0,31	0,92±0,28

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 12)

* Periodo de almacenamiento inmediato, después de la irradiación