

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE RADIACIÓN GAMMA PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE PIMIENTO (*Capsicum annuum*) ENTERO Y EL EFECTO SOBRE SUS COMPUESTOS BIOACTIVOS

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

EVELYN JACQUELINE GRANJA CARVAJAL

eve-jgc@hotmail.com

DIRECTORA: ING. CATALINA VASCO, PhD.

catalina.vasco@epn.edu.ec

Quito, mayo 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Evelyn Jacqueline Granja Carvajal, 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.

Evelyn Jacqueline Granja Carvajal

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Evelyn Jacqueline Granja Carvajal, bajo mi supervisión.

Ing. Catalina Vasco, Ph.D.

DIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del Proyecto de Investigación Semilla 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 ejecutó en el Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) en colaboración con el Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres por su esfuerzo constante, paciencia y apoyo incondicional; la culminación de esta meta es por y para ustedes. A mis hermanos Jaime, Javier, Anita y Diego por ayudarme y acompañarme siempre en las alegrías y tristezas de esta etapa de mi vida, gracias por su apoyo incondicional. A mis sobrinos Danielita, Estebitan, Vicky y Pablito; por ser la alegría de mi vida. A toda mi familia; abuelitos, tíos y primos por estar siempre pendientes.

Agradezco de manera especial a la Dra. Catalina Vasco por sus enseñanzas, tiempo, paciencia, apoyo y su guía oportuna. A la Dra. Silvia Valencia por sus valiosas observaciones y enseñanzas en la realización de este proyecto.

Al DCN y DECAB por permitirme el uso de los laboratorios, y a la Escuela Politécnica Nacional por el apoyo financiero para la realización de esta investigación. Gracias también a todo el personal del LTR y LIA.

A la Ing. Paola Valencia por su valiosa ayuda con el uso del cromatógrafo.

A mis amigos Wlady, Jessy, Diego y Francisco por todas las vivencias a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A Anita, por su ayuda y por compartir el largo camino de la realización de este proyecto.

A mis amigos María Eugenia, Stalin, Tania, Gaby, Tami, Luis, Nati, Carlos y Andrés por su amistad y su ayuda en este proyecto.

A mis padres

*A mis sobrinos Dany,
Estebitan,
Vicky y Pablito*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO	xvii
RESUMEN	xviii
INTRODUCCIÓN	xx
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Generalidades del pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	1
1.1.1. Origen, taxonomía y morfología	1
1.1.2. Características del pimiento	3
1.1.2.1. Composición nutricional	3
1.1.2.2. Fisiología poscosecha	4
1.1.3. Variedades	5
1.1.3.1. Pimientos picantes	5
1.1.3.2. Pimientos dulces	6
1.1.4. Manejo poscosecha de pimientos	9
1.1.4.1. Cosecha de pimientos	9
1.1.4.2. Pre-enfriamiento	10
1.1.4.3. Selección y clasificación	11
1.1.4.4. Lavado y desinfección	13
1.1.4.5. Secado	13
1.1.4.6. Pre-ensado y envasado	13
1.1.4.7. Almacenamiento	14
1.1.4.8. Agentes que causan pérdidas poscosecha en el pimiento	14
1.1.5. Usos	16
1.1.6. Producción	18
1.2. Irradiación de productos hortofrutícolas frescos	19
1.2.1. Aplicaciones de la irradiación	21
1.2.2. Ventajas y desventajas	22
1.2.3. Efectos de la irradiación	22
1.2.3.1. Efectos organolépticos	23
1.2.3.2. Efectos sobre los componentes de los alimentos	23
1.2.3.3. Efectos sobre los microorganismos	25
1.2.4. Combinación de la irradiación con otras técnicas de preservación	26
1.2.5. Irradiador gamma de la EPN	27
1.2.6. Legislación	29
1.3. Compuestos bioactivos en frutas y hortalizas	31

1.3.1.	Vitaminas	32
1.3.1.1.	Vitamina C	33
1.3.2.	Carotenoides	34
1.3.2.1.	β -caroteno	35
1.3.3.	Compuestos fenólicos	36
1.3.4.	Compuestos bioactivos en la salud humana	37
2.	PARTE EXPERIMENTAL	39
2.1.	Evaluación de las características físicas, químicas y sensoriales de la materia prima	39
2.1.1.	Pimiento	39
2.1.2.	Fuente de co-60	40
2.1.3.	Análisis físicos	40
2.1.3.1.	Peso	40
2.1.3.2.	Diámetro, longitud y espesor de la pared	40
2.1.3.3.	Firmeza	41
2.1.4.	Análisis químicos	41
2.1.4.1.	pH	41
2.1.4.2.	Sólidos solubles (SST o ° Brix)	42
2.1.4.3.	Acidez titulable	42
2.1.5.	Evaluación de la calidad visual	42
2.1.5.1.	Índice de apariencia general	43
2.1.6.	Calidad sensorial global	44
2.2.	Efecto de la dosis de irradiación gamma sobre la calidad poscosecha de tres variedades de pimiento entero	44
2.2.1.	Preparación y almacenamiento de la materia prima	44
2.2.2.	Diseño experimental	46
2.2.3.	Análisis físicos y químicos	46
2.2.3.1.	Porcentaje de pérdida de peso	46
2.3.	Efecto de la combinación de irradiación gamma y almacenamiento bajo condiciones controladas de humedad y temperatura en la extensión de la vida útil de tres variedades de pimiento entero	47
2.3.1.	Preparación y almacenamiento de la materia prima	47
2.3.2.	Diseño experimental	48
2.3.3.	Análisis físicos y químicos	48
2.3.3.1.	Análisis sensorial-panel sensorial	49
2.4.	Efecto de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos: vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos en tres variedades	

de pimiento entero, almacenados en refrigeración	49
2.4.1. Muestreo	49
2.4.2. Análisis de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales	50
2.4.3. Análisis estadístico	50
2.5. Diseño parcial de las etapas de empaque y refrigeración para producción de pimiento entero	51
2.6. Análisis económico del tratamiento que se le dará al pimiento entero para determinar su factibilidad	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1. Evaluación de las características físicas, químicas y sensoriales de la materia prima	53
3.1.1. Análisis físicos	53
3.1.2. Análisis químicos	54
3.1.3. Evaluación de la calidad visual	55
3.1.4. Calidad sensorial global	56
3.2. Efecto de la dosis de irradiación gamma sobre la calidad poscosecha de tres variedades de pimiento entero	57
3.2.1. Análisis físicos	57
3.2.1.1. Firmeza	57
3.2.1.2. Pérdida de peso	61
3.2.2. Análisis químicos	64
3.2.2.1. Sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix)	64
3.2.2.2. pH y acidez titulable	66
3.2.3. Evaluación de la calidad visual	70
3.2.4. Calidad sensorial global	77
3.3. Efecto de la combinación de irradiación gamma y almacenamiento bajo condiciones controladas de humedad y temperatura en la extensión de la vida útil de tres variedades de pimiento entero	79
3.3.1. Análisis físicos	80
3.3.1.1. Pérdida de peso	80
3.3.1.2. Firmeza	81
3.3.2. Análisis químicos	83
3.3.2.1. Sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable y pH	83

3.3.3.	Evaluación de la calidad visual	87
3.3.4.	Evaluación sensorial	92
3.4.	Efecto de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos: vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos en tres variedades de pimiento entero, almacenados en refrigeración	93
3.4.1.	Vitamina C	94
3.4.2.	β -Caroteno	99
3.4.3.	Compuestos fenólicos totales	101
3.5.	Diseño parcial de las etapas de empaque y refrigeración para producción de pimiento entero	104
3.5.1.	Definición del producto, materia prima e insumos y capacidad de producción	104
3.5.2.	Ingeniería básica: descripción del proceso y selección de equipos	105
3.5.2.1.	Diseño de una cámara de refrigeración para el almacenamiento de bandejas de pimiento entero	107
3.5.2.2.	Balance de masa	108
3.6.	Diagramas BFD Y PFD	109
3.7.	Distribución en planta	109
3.8.	Análisis económico del tratamiento que se le dará al pimiento entero para determinar su factibilidad	113
3.8.1.	Inversión total fija	113
3.8.2.	Costos de producción	114
3.8.3.	Flujo de caja e índices financieros	116
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
4.1.	Conclusiones	119
4.2.	Recomendaciones	121
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	ANEXOS	135

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del pimiento	1
Tabla 1.2. Composición nutricional de tres variedades de pimiento	3
Tabla 1.3. Clasificación de pimiento de acuerdo al grado	12
Tabla 1.4. Agentes y factores causantes de pérdidas poscosecha	15
Tabla 1.5. Aplicaciones y dosis de irradiación de alimentos	21
Tabla 2.1. Escala de evaluación de calidad visual para pimiento	43
Tabla 2.2. Escala de valoración del índice de calidad	44
Tabla 2.3. Escala de evaluación sensorial	44
Tabla 3.1. Caracterización física de tres variedades de pimiento	53
Tabla 3.2. Caracterización química de tres variedades de pimiento	54
Tabla 3.3. Evaluación de la calidad visual de tres variedades de pimiento	56
Tabla 3.4. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la firmeza de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	58
Tabla 3.5. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación para la firmeza de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	60
Tabla 3.6. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	62
Tabla 3.7. SST de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	64
Tabla 3.8. pH de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	66
Tabla 3.9. Acidez Titulable de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	66

Tabla 3.10. Calidad Sensorial Global de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	78
Tabla 3.11. Tabla ANOVA del factor irradiación para la pérdida de peso de pimiento rojo almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	80
Tabla 3.12. Sólidos Solubles Totales de tres variedades de pimiento irradiados y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	83
Tabla 3.13. pH de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	83
Tabla 3.14. Acidez Titulable de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	84
Tabla 3.15. Tabla ANOVA del factor irradiación para la acidez titulable de pimiento verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	85
Tabla 3.16. Evaluación de calidad visual de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	91
Tabla 3.17 Especificaciones de diseño de la cámara de refrigeración para almacenar bandejas de pimiento entero	107
Tabla 3.18 Costos mensuales materia prima, insumos, servicios y mano de obra	114
Tabla 3.19. Costos mensuales materia prima, insumos, servicios y mano de obra	115
Tabla 3.20. Ventas anuales	116
Tabla 3.21. Flujo de caja para la producción de pimiento entero e irradiado	117
Tabla AVIII.1 Evaluación de parámetros físicos de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	144
Tabla AVIII.2 Evaluación de parámetros físicos de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	144
Tabla AVIII.3 Evaluación de parámetros físicos de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	145
Tabla AIX.1 Evaluación de la calidad visual de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy	146
Tabla AIX.2 Evaluación de la calidad visual de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	146

Tabla AIX.3 Evaluación de la calidad visual de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	147
Tabla AX.1 Evaluación de parámetros físicos de pimiento amarillo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	148
Tabla AX.2 Evaluación de parámetros físicos de pimiento rojo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	148
Tabla AX.3 Evaluación de parámetros físicos de pimiento verde irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	149
Tabla AXI.1 Evaluación de la calidad visual de pimiento amarillo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	150
Tabla AXI.2 Evaluación de la calidad visual de pimiento rojo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	150
Tabla AXI.3 Evaluación de la calidad visual de pimiento verde irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	151
Tabla AXII.1 Evaluación sensorial de pimiento amarillo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	152
Tabla AXII.2 Evaluación sensorial de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	152
Tabla AXII.3 Evaluación sensorial de pimiento verde irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	153
Tabla AXIII.1 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	154
Tabla AXIII.2 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	155
Tabla AXIII.3 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	155
Tabla AXIII.4 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	156
Tabla AXIII.5 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	157

Tabla AXIII.6 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	158
Tabla AXIV.1 Contenido de vitamina C de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	159
Tabla AXIV.3 Contenido de vitamina C de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	160
Tabla AXIV.2 Contenido de vitamina C de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	159
Tabla AXIV.4 Contenido de vitamina C de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	160
Tabla AXIV.5 Contenido de vitamina C de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	161
Tabla AXIV.6 Contenido de vitamina C de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	161
Tabla AXV.1 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	162
Tabla AXV.2 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	162
Tabla AXV.3 Contenido de β -caroteno de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy	163
Tabla AXV.4 Contenido de β -caroteno de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	163
Tabla AXV.5 Contenido de β -caroteno de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy	164
Tabla AXV.6 Contenido de β -caroteno de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR	164
Tabla AXVI.1 Datos de la curva de calibración para vitamina C	165
Tabla AXVI.2 Datos de la curva de calibración para β -caroteno	166
Tabla AXVI.3 Datos de la curva de calibración para compuestos fenólicos	167

Tabla AXVII.1 Hoja de especificación técnica de la balanza industrial	168
Tabla AXVII.2 Hoja de especificación técnica de la máquina de lavado y desinfección	169
Tabla AXVII.3 Hoja de especificación técnica de la banda transportadora	170
Tabla AXVII.4 Hoja de especificación técnica de envolvedora de bandeja	171
Tabla AXVII.5 Hoja de especificación técnica de la cámara de refrigeración	172
Tabla AXVII.6 Hoja de especificación técnica balanza impresora de etiquetas	173
Tabla AXIX.1 Estimación de costos de la cámara de refrigeración	186
Tabla AXIX.2 Depreciación de las instalaciones y equipos	186
Tabla AXIX.3 Tabla de Amortización	187

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Corte longitudinal y transversal de pimienta roja	2
Figura 1.2. Pimientos picantes (Ajíes)	6
Figura 1.3. Pimientos de variedad dulce	6
Figura 1.4. Tipos de pimienta clasificados de acuerdo al tamaño	8
Figura 1.5. Daños comunes en pimienta	10
Figura 1.6. Principales exportadores de pimienta	19
Figura 1.7. Portafuente del Irradiador Gamma de la EPN	28
Figura 1.8. Instalaciones del Irradiador de la EPN	29
Figura 1.9. Símbolo radura	30
Figura 1.10. Estructura química de la vitamina C	33
Figura 1.11. Estructura del β -caroteno	35
Figura 2.1. Arreglo de canastas plásticas para la irradiación	45
Figura 2.2. Arreglo de kavetas con bandejas de pimienta para ser irradiadas	48
Figura 3.1. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la firmeza de pimienta amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	59
Figura 3.2. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la firmeza de pimienta verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	61
Figura 3.3. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la pérdida de peso de pimienta amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	62
Figura 3.4. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimienta roja irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR	63

- Figura 3.5.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR 63
- Figura 3.6.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para los SST de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR 65
- Figura 3.7.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tiempo de almacenamiento para el pH de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80% de HR 68
- Figura 3.8.** Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la acidez titulable de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 68
- Figura 3.9.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el pH de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80% de HR 69
- Figura 3.10.** Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la acidez titulable de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 70
- Figura 3.11.** Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la turgencia de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 71
- Figura 3.12.** Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación para la marchitez del pedúnculo de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 72
- Figura 3.13.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la marchitez del pedúnculo de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 72
- Figura 3.14.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el %de patógenos de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR 73
- Figura 3.15.** Daño Patológico en pimientos almacenados a 20 °C y 80 % de HR 74
- Figura 3.16.** Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para

el % de patógenos de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	75
Figura 3.17. Profundización de grietas y marchitez del pedúnculo de pimientos almacenados a 20 °C y 80 % de HR	76
Figura 3.18. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para el % de coloración de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR	77
Figura 3.19. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para la firmeza de pimiento amarillo almacenado hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	82
Figura 3.20. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para los SST de pimiento rojo almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	85
Figura 3.21. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para la acidez titulable de pimiento verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	86
Figura 3.22. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para el pH de pimiento verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	86
Figura 3.23. Gráfico de medias e intervalos LSD para marchitez del pedúnculo de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	88
Figura 3.24. Gráfico de medias e intervalos LSD para % patógenos de pimiento verde irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	89
Figura 3.25. Formación de esclerocios de <i>Botrytis cinérea</i>	89
Figura 3.26. Gráfico de medias e intervalos LSD para daño físico de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	90
Figura 3.27. Contenido de vitamina C de pimiento amarillo, rojo y verde irradiados a dosis entre 0 y 1 000 Gy	95
Figura 3.28. Contenido de vitamina C de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8 °C y 95 % de HR	96
Figura 3.29 Gráfico de medias e intervalos LSD para el contenido de vitamina C de pimiento amarillo sin irradiar e irradiado (1 000 Gy) y almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR	98

Figura 3.30 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo, rojo y verde irradiados a dosis entre 0 a 1 000 Gy	100
Figura 3.31. Contenido de β -caroteno de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8° C y 95 % de HR	101
Figura 3.32 Contenido de compuestos fenólicos totales de pimiento amarillo, rojo y verde irradiado a dosis entre 0 a 1 000 Gy	102
Figura 3.33 Contenido de compuestos fenólicos totales de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8° C y 95 % de HR	103
Figura 3. 34. Diagrama de Bloques del proceso de producción de pimiento entero empacado e irradiado	110
Figura 3.35. Diagrama de Flujo del proceso de producción de pimiento entero empacado e irradiado	111
Figura 3.36 Diagrama Lay Out de la planta de producción de pimiento enterto empacado e irradiado	112
Figura 3.37. Punto de equilibrio para la producción de pimiento entero empacado e irradiado	118
Figura AI.1 Invernaderos de plántulas de pimiento	136
Figura AI.2 Plantas de pimiento	136
Figura AII.1 Bandejas de pimiento amarillo, rojo y verde empacados en bandeja de poliestireno y recubiertos con film de PVC	137
Figura AIII.1 Panel Sensorial	139
Figura AIII.2 Panelistas	139
Figura VII.1 Cromatograma de β -caroteno para pimiento	143
Figura VII.2 Cromatograma de vitamina C para pimiento	143
Figura XVI.1 Curva de calibración de vitamina C	165
Figura XVI.2 Curva de calibración para β -caroteno	166

Figura XVI.3 Curva de calibración para compuestos fenólicos	167
Figura AXVIII.1 Disposición kavetas	174
Figura AXVIII.2 Disposición grupos de kavetas en el interior de la cámara de refrigeración	175
Figura AXVIII.3 Diagrama de Mollier para el refrigerante R-134a	184

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Invernadero de pimiento	136
ANEXO II Pimiento amarillo, rojo y verde empacado con bandejas de poliestireno y film de PVC	137
ANEXO III Formato de Evaluación Sensorial	138
ANEXO IV Determinación de Vitamina C	140
ANEXO V Determinación de β -Caroteno	141
ANEXO VI Determinación de compuestos fenólicos	142
ANEXO VII Cromatogramas de vitamina C y β -caroteno	143
ANEXO VIII Resultados de la evaluación de parámetros físicos de pimiento irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy (a 20 °C y 80 % de HR)	144
ANEXO IX Resultados de la evaluación de calidad visual de pimiento irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy (a 20 °C y 80 % de HR)	146
ANEXO X Resultados de la evaluación de parámetros físicos de tres variedades de pimiento irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados a 8°C y 95 % de HR	148
ANEXO XI Resultados de la evaluación visual de tres variedades de pimiento irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados a 8 °C y 95 % de HR	150
ANEXO XII Resultados de la evaluación sensorial de tres variedades de pimiento irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados a 8 °C y 95 % de HR	152

ANEXO XIII	
Resultados del contenido de compuestos fenólicos	154
ANEXO XIV	
Resultados del contenido de vitamina C	159
ANEXO XV	
Resultados del contenido de β -caroteno	162
ANEXO XVI	
Ejemplos de curvas de calibración	165
ANEXO XVII	
Hojas de especificaciones técnicas de los equipos seleccionados	168
ANEXO XVIII	
Diseño de la cámara de refrigeración	174
ANEXO XIX	
Detalle de costos del análisis económico	186

GLOSARIO

Capsaicinoides: Es un grupo conformado 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, p. 353).

Licopeno: Es un pigmento carotenoide responsable de la coloración roja en algunas frutas y vegetales. Se encuentra principalmente en el tomate (Barthélemy, Cornago y Esteban, 2013, p. 54).

Zeaxantina: Es un compuesto carotenoide que imparte coloraciones amarillas y naranjas en vegetales. Es el pigmento responsable de la coloración en pimiento amarillo (Rodríguez-Burruezo, González-Mas y Nuez, 2010, p. 446).

Alcaloide: Son aquellos compuestos sintetizados por las plantas y conocidos también como metabolitos secundarios (RAE, 2015).

Nutraceutico: Aquel producto o alimento que provoca un efecto beneficioso sobre la salud humana (RAE, 2015).

Mucopolisacáridos: Son moléculas de cadenas largas conformadas por azúcares (RAE, 2015).

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general estudiar la aplicación de radiación gamma en la extensión de la vida útil de pimiento entero (*Capsicum annuum*), así como determinar los posibles efectos que causaría la radiación sobre los principales compuestos bioactivos que contiene el vegetal.

Se estudió el efecto de la dosis de radiación en un rango de 250 a 1 000 Gy sobre la calidad poscosecha de pimiento amarillo, rojo y verde. Se evaluaron firmeza, pérdida de peso, acidez, pH, sólidos solubles totales, calidad visual y sensorial durante 14 días a 20°C y 80 % de HR. Se determinó también la vida útil de pimiento empacado irradiado y sin irradiar, y se realizaron pruebas de calidad durante el almacenamiento de 28 días en condiciones de refrigeración a 8°C y 95 % de HR.

Se evaluó el efecto de la radiación gamma sobre tres compuestos bioactivos: vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales al inicio y al final del almacenamiento. La cuantificación e identificación de vitamina C y β -caroteno se realizó por cromatografía líquida, mientras que compuestos fenólicos por técnicas espectrofotométricas.

Finalmente se diseñó parcialmente las etapas de empaque y refrigeración para la producción de pimiento entero empacado e irradiado. Además se realizó el análisis económico del tratamiento que se le dará al pimiento entero.

Se seleccionó la dosis de 1 000 Gy ya que preservó de mejor manera los parámetros de calidad de las tres variedades de pimiento. Mientras que en el estudio refrigerado se encontró que el principal parámetro que limita la vida útil del vegetal es la calidad visual; la irradiación mejoró este parámetro y por tanto logró extender la vida útil del pimiento hasta 4 semanas.

Las dosis en estudio no provocaron cambios significativos en el contenido de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos en cada una de las variedades.

Se realizó los balances de masa, energía, y se planteó el proceso de producción para pimiento entero empacado e irradiado; en base a estos parámetros se seleccionaron y diseñaron los equipos requeridos y se realizó los diagramas BFD, PFD y Lay Out.

El análisis económico indicó que el proyecto es viable y registró una Tasa Interna de Retorno de 25,90 % y un valor actual neto de 46 367,05 USD, el punto de equilibrio fue menor a la producción total anual, estos parámetros indican que la implementación del proyecto es factible. En la realización del análisis económico se consideraron inversiones fijas en terreno, construcciones, equipos y maquinarias; y dentro de los costos de producción se consideraron mano de obra, insumos, y servicios industriales.

INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum*) es un vegetal no climatérico, originario de México, Bolivia y Perú (FAO, 2002). Existe una amplia gama de variedades de este vegetal, y el color y forma que presentan hacen que sea uno de los más apetecibles por los consumidores. Se caracteriza por ser una fuente rica de vitamina C (tiene el doble de vitamina C que los cítricos como el limón o la naranja) (Suquilanda, 2003, p. 69), vitamina E, carotenoides, y compuestos fenólicos los cuales poseen propiedades antioxidantes (Deepa, Kaur, Singh y Kapoor, 2006, p. 573). En el Ecuador el pimiento se cultiva tanto en la región Litoral como en los Valles Interandinos (Suquilanda, 2003, p. 69). La mayor parte de pimiento que se comercializa proviene de Manabí, Santa Elena, Loja e Ibarra (PRO ECUADOR, 2013, p. 5).

El pimiento en fresco, ofrece elevados valores nutricionales pero también presenta mayores riesgos a la descomposición (Conesa, 2008, p. 20). Por este motivo, junto con la importancia que tienen los productos frescos en los mercados del mundo y la exigencia de los consumidores por productos frescos, sanos y nutritivos; es necesario la aplicación de técnicas de preservación que mantengan la calidad y valor nutricional del vegetal el mayor tiempo posible.

La Irradiación de productos frescos es una tecnología emergente conocida como pasteurización en frío, su aplicación retarda los procesos de maduración, disminuye la carga microbiana y por tanto extiende su tiempo de vida útil (Arvanitoyannis, 2010, p. 11). La combinación de irradiación con otras técnicas de preservación como la refrigeración y el empaque bajo atmósferas modificadas, permite mantener la calidad de frutas y vegetales (Kirkin, Mitrevski, Gunes y Marriott, 2014, p. 255).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la radiación gamma en la extensión de la vida útil de tres variedades de pimiento fresco mediante la combinación de irradiación con rayos gamma y refrigeración. Además del empaque

bajo atmósfera modificada para evitar la re-contaminación microbiológica y mejorar la presentación del producto.

Se han realizado varios estudios de la aplicación de radiación gamma sobre productos alimenticios, sin embargo, no se ha determinado el efecto de la radiación sobre la composición nutricional. Por esta razón, en este trabajo se propone además de determinar el tiempo de vida útil, también determinar el efecto de la radiación sobre los principales compuestos bioactivos en tres variedades del pimiento: vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales, debido a su importancia en la dieta de los consumidores.

Se realizó también el diseño de una planta para producción de tres variedades de pimiento entero empacado e irradiado; se seleccionó equipos y se diseñó una cámara de refrigeración para el almacenamiento del producto final. Además, se evaluó económicamente el tratamiento que se le dará al pimiento entero para determinar su factibilidad.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. GENERALIDADES DEL PIMIENTO (*Capsicum annuum*)

1.1.1. ORIGEN, TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

El pimiento (*Capsicum annuum*) es una planta perenne, originaria de México, Bolivia y Perú, que en la actualidad se cultiva en todo el mundo. Pertenece a la familia de las solanáceas, es herbácea de tallo erecto y limitado, y llega a medir entre 0,5 y 2 m de alto (FAO, 2002; Higón, 2002, p. 79).

La clasificación taxonómica del pimiento se describe en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del pimiento

Reino	Vegetal
Clase	Angiospermas
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Tubiflorae
Familia	Solanacea
Género	Capsicum
Especie	Capsicum annuum

(Suquilanda, 2003, p. 71)

Esta planta se desarrolla en temperaturas entre 18 a 27 °C durante el día y de 15 a 18°C durante la noche y en ambientes con humedad relativa entre 70-75 %. Existe una gran cantidad de variedades de la planta debido a la alta variabilidad en la forma del fruto. La denominación más extendida es *Capsicum annuum* (FAO, 2002; Higón, 2002, p. 79).

El sistema radicular de la planta está formado por una raíz principal de gran vigor, el tallo y las ramificaciones de crecimiento limitado, erecto y frágil. Las hojas suelen ser

de forma ovalada, lanceolada o elíptica, mientras que la flor es blanquecina, solitaria y autógama (Uroz, 2012, p. 26, 27).

El fruto de pimiento es una baya hueca semicartilaginosa de forma capsular, externamente está conformado por base, cuerpo y ápice; la base del fruto formado por el pedúnculo y cáliz. El cuerpo del pimiento es de superficie suave, con depresiones que forman “lóbulos”. Internamente el fruto está dividido en celdas separadas parcialmente con tejido placentario y con una gran cantidad de semillas discoidales como se puede observar en la Figura 1.1 (Uroz, 2012, p. 27; Milla, 2006, p. 21).



Figura 1.1. Corte longitudinal y transversal de pimiento rojo
(ONLYIMAGE, 2015)

Longitudinalmente, la forma externa del pimiento puede ser plana, circular, acorazonada, cuadrada, rectangular, triangular, trapezoidal; mientras que la sección transversal puede ser circular o poligonal dependiendo de la cantidad de lóbulos. El color del fruto puede ser inicialmente verde o morado, y en su madurez alcanzar colores tales como: rojo, amarillo, naranja o púrpura (Berrios, Arredondo y Tjalling, 2007, p.14).

1.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL PIMIENTO

1.1.2.1. Composición nutricional

Los vegetales se caracterizan por ser una importante fuente de vitaminas, minerales, y fibra dietética (Vaclavik y Christian, 2008, p. 107). En el grupo de vegetales que ofrecen un elevado valor nutricional está el pimiento, caracterizándose por tener compuestos antioxidantes, como vitaminas, carotenoides, flavonoides y polifenoles que incluyen flavonoles, flavonas y ácidos hidroxicinámicos (El-Ghorab, Javed, Anjum, Hamed y Shaaban, 2013, p. 25, 31).

La composición nutricional de tres variedades de pimiento se detalla en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Composición nutricional de tres variedades de pimiento

Componente	Contenido en 100 g de vegetal		
	Pimiento amarillo	Pimiento rojo	Pimiento verde
Agua (%)	92,02	92,21	93,89
Energía (kcal)	27	31	20
Proteína (g)	1,00	0,99	0,86
Lípidos totales (g)	0,21	0,30	0,17
Carbohidratos (g)	6,32	6,03	4,64
Fibra (g)	0,9	2,1	1,7
Azúcares totales (g)	---	4,20	2,40
Calcio (mg)	11	7	10
Hierro (mg)	0,46	0,43	0,34
Magnesio (mg)	12	12	10
Fósforo (mg)	24	26	20
Potasio (mg)	212	211	175
Sodio (mg)	2	4	3
Zinc (mg)	0,17	0,25	0,13

Tabla 1.2. Composición nutricional de tres variedades de pimiento (continuación...)

Vitamina C (mg)	183,5	127,7	80,4
Tiamina (mg)	0,028	0,054	0,057
Riboflavina (mg)	0,025	0,085	0,028
Vitamina A RAE (μ g)	10	157	18
Vitamina E (mg)	-	1,58	0,37

(USDA, 2015)

El pimiento en fresco es una importante fuente de vitamina C, tiene el doble de vitamina C que los cítricos como el limón o la naranja, con 150 mg en 100 g de pulpa de pimiento (Suquilanda, 2003, p. 69). Sin embargo, El-Ghorab et al. (2013) afirma que el contenido de esta vitamina puede estar entre 76 a 243 mg en 100 g (p.19). También posee altos contenidos de vitamina E (0,8 mg/100g), β -caroteno (7,4 mg/100g de peso fresco), capsaisinoides, y pigmentos carotenoides que son los responsables de impartir el color rojo o naranja en el pimiento e incluyen el β -caroteno, el licopeno y la zeaxantina (Asnin y Park, 2015, p. 254; Deepa et al., 2006, p. 572). Mientras que la coloración verde de los pimientos se debe a la presencia de clorofila y algunos carotenoides presentes del cloroplasto (El-Ghorab et al., 2013, p.19).

También contiene altos niveles de compuestos fenólicos o flavonoides como la quercetina y luteolina, por lo que ha sido clasificado como un vegetal con elevada actividad antioxidante (Deepa, Kaur, Singh y Kapoor, 2006, p. 573).

1.1.2.2. Fisiología poscosecha

La respiración de vegetales es el proceso fundamental de obtención de energía (calor y ATP) a partir de la oxidación de carbohidratos y con la consecuente formación de dióxido de carbono y agua. La energía obtenida se utiliza en el crecimiento de frutos, transporte de metabolitos e iones, en los procesos de reparación, entre otros (Fonseca,

Oliveira y Brecht, 2001, p. 101-103). De acuerdo a la tasa de respiración los frutos pueden ser climatéricos, si la tasa de respiración incrementa después de la cosecha e inicia la producción de etileno; mientras que en los frutos no climatéricos la tasa de respiración disminuye, su producción de etileno es mínima por lo que su proceso de senescencia inicia inmediatamente después de la cosecha (Saltveit, 2005, p. 4).

El pimiento es un vegetal no climatérico, por lo tanto produce bajos niveles de etileno entre 0,1 y 0,2 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ a 10-20 °C. La tasa de respiración de los pimientos rojos y verdes es similar y está entre 18-20 mL CO_2/kg a 20°C, 5-8 mL CO_2/kg a 10°C y a 5° C de 3-4 mL CO_2/kg (Suquilanda, 2003, p. 98).

Normalmente la tasa de respiración es menor a medida que la temperatura se reduce, sin embargo; en vegetales que sufren daños por frío, como el pimiento, la tasa de respiración se incrementa drásticamente cuando el vegetal se almacena a temperaturas bajas que provocan daño o cuando retorna a temperaturas mayores a las que generaron el daño por frío (Saltveit, 2005, p. 2).

1.1.3. VARIEDADES

Los pimientos se pueden clasificar de acuerdo a su forma, tamaño y color; sin embargo la clasificación más sencilla y general se da con base en su sabor. De acuerdo a esta característica, se tienen dos variedades de pimiento: los picantes y los dulces (Higón, 2002, p.80).

1.1.3.1. Pimientos picantes

Los pimientos picantes son aquellos pimientos que se consumen en fresco, su forma es alargada y delgada, y se caracterizan por ser frutos pequeños, como se observa en la Figura 1.2. Poseen un alto contenido del alcaloide capsaicina, el cual produce el

sabor característico picante de esta variedad, y se concentra en la placenta y semillas (Ezziyyani, 2005, p.22).



Figura 1.2. Pimientos picantes (Ajíes)
(DiabeTV, 2015)

De acuerdo al lugar en donde se cultiva y comercializa, estas variedades suelen tomar el nombre de “chile”, “guindillas” o “ají” (Milla, 2006, p. 23).

1.1.3.2. Pimientos dulces

Los pimientos dulces tienen bajos niveles de capsaicina, suelen ser de tamaño grande, pueden ser de color verde, amarillo, rojo, anaranjado, entre otros (Ezziyyani, 2005, p.22); como se ve en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Pimientos de variedad dulce
(DiabeTV, 2015)

Debido a la variabilidad en la morfología de los pimientos de variedad dulce, éstos se pueden clasificar o subdividir en tres grupos, que se describen a continuación.

- Pimientos cuadrados.- La característica principal es que el eje longitudinal es igual o hasta 1,5 veces mayor que el eje transversal (Fernández, Liverotti y Sánchez, 2000, p. 5). Son firmes, de carne gruesa, de superficie lisa, suelen tener de tres a cuatro lóbulos, su ápice no termina en punta y tiene lóbulos que al unirse forman una cavidad (Milla, 2006, p. 25). En la Figura 1.4 se puede observar la clasificación de este grupo.

Dentro de este grupo, se tiene alrededor de 200 variedades pero “**California wonder**” es la más representativa (Mansour, 2006, p. 1). Los pimientos de esta variedad pueden medir entre 7-10 cm de largo (frutos cortos) y de 6-9 cm (frutos anchos), el ancho del pericarpio puede medir entre 3 a 7 mm; por lo que son catalogados como pimientos de carne gruesa. Al inicio son de color verde, pero en estado maduro son de color amarillo (Morales-Zoto, Gómez-Caravaca, García-Salas, Segura-Carretero y Fernández-Gutiérrez, 2013, p. 978).

- Pimientos rectangulares.- Dentro de este grupo están aquellos pimientos cuyo eje longitudinal es mayor que el eje transversal. Cuando la longitud es el doble del ancho se los denomina $\frac{1}{2}$ largo, también se tiene $\frac{3}{4}$ largo y largos; en la Figura 1.4 se observa las medidas de este tipo de pimientos (Milla, 2006, p. 28, 29). Al igual que los pimientos cuadrados, tienen de tres a cuatro lóbulos y su ápice no termina en punta.

La variedad “**Lamuyo**”, pertenece al grupo de pimientos rectangulares y se consume cuando presentan coloración roja o amarilla (Morales-Zoto et al., 2013, p. 978).

- Otros tipos de pimientos.- En el mundo se cultivan otras variedades de pimientos que no se incluyen dentro de la clasificación antes descrita, pero que también tienen importancia económica y son comunes dependiendo del lugar en donde se produzca y comercialice (Milla, 2006, p. 29,30). Cuerno dulce,

dulce italiano y cuerno picante, pertenecen a este grupo y se pueden observar en la Figura 1.4.

Una de las variedades que se incluyen en este grupo es la variedad “**Dulce Italiano**” o “Italian Sweet”. En este tipo de pimiento alargado, su ápice termina en punta, su carne es fina, la superficie puede ser torcida o lisa. En su estado de madurez pueden ser rojos o amarillos, sin embargo se prefiere comercializarlos de color verde (Milla, 2006, p. 29; Morales-Zoto et al., 2013, p. 978).

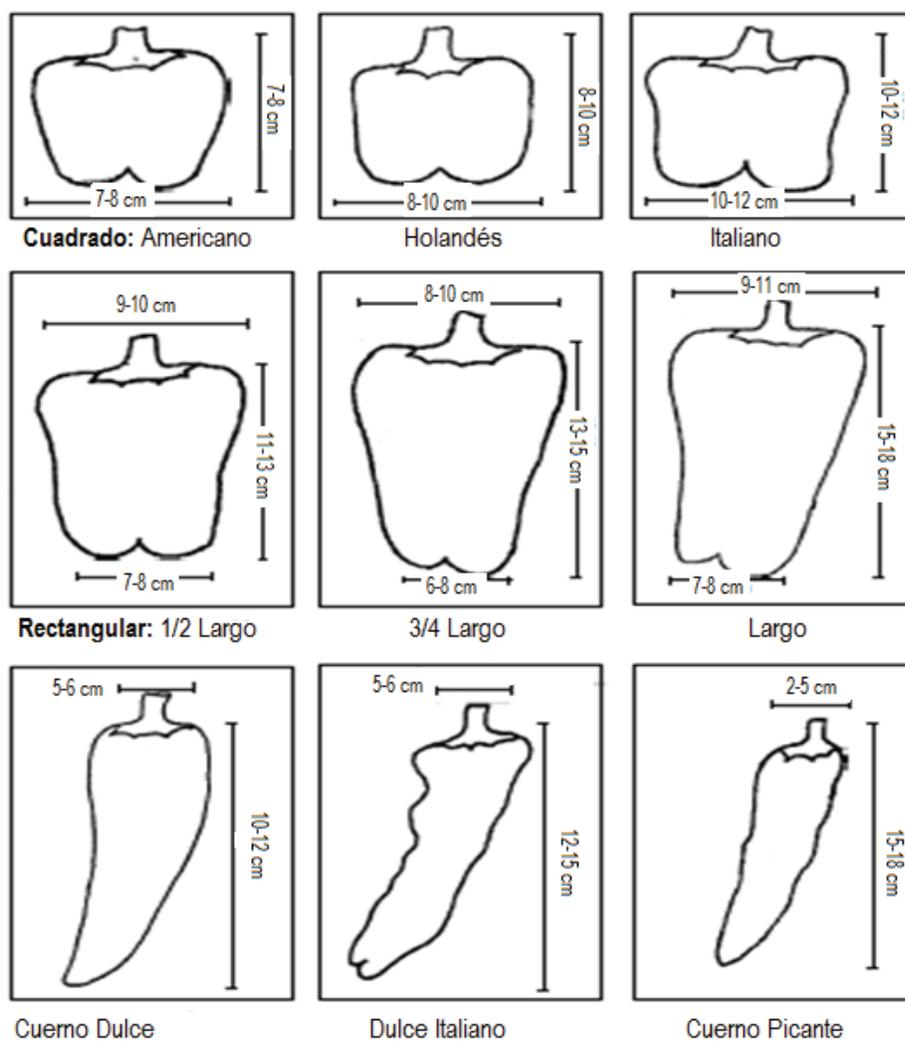


Figura 1.4. Tipos de pimiento clasificados de acuerdo al tamaño (Milla, 2006, p. 24)

1.1.4. MANEJO POSCOSECHA DE PIMIENTOS

La producción exitosa de frutas y hortalizas de alta calidad dependerá del adecuado manejo poscosecha que se les dé, con el propósito de mantener la seguridad alimentaria, calidad, valor económico, y valor nutricional (Aguilar, 2012, p. 13).

El manejo poscosecha inicia desde que el fruto ha sido separado de la planta hasta que llega al consumidor; y durante este período se deben considerar varios detalles que contribuirán a la preservación del fruto y a las posibles tecnologías poscosecha aplicables al producto (Pelayo y Castillo, 2002, p. 1). A continuación, se describirán los procesos a considerar en el manejo poscosecha de pimiento.

1.1.4.1. Cosecha de pimientos

Bajo condiciones óptimas de desarrollo, la cosecha de pimiento puede iniciar entre los 70-100 días después del trasplante o entre los 45-55 días después de la polinización (Mansour, 2006, p.2).

Sin embargo, el tiempo propicio de cosecha de pimientos dependerá de la variedad, así se tiene que los pimientos de color verde se cosechan cuando hayan alcanzado su tamaño máximo y estén firmes; mientras que para los pimientos amarillos y rojos, estos deben presentar mínimo el 50 % de coloración deseada (Suquilanda, 2003, p. 98).

Se recomienda que la cosecha se realice a tempranas horas de la mañana, ya que los productos están turgentes (FAO, 2006, p. 15). La cosecha se realiza de forma manual, debe ser cuidadosa y se puede realizar con la ayuda de una tijera. Se debe cortar por encima del fruto, para dejar que el cáliz y el pedúnculo queden adheridos al pimiento; a continuación deben ser colocados en contenedores y dejarlos bajo sombra (Fernández et al., 2000, p. 8; Giambanco, 2006, p. 81).

Durante esta etapa se puede realizar una preselección, en donde se descartan aquellos frutos que presenten daños externos causados por quemaduras de sol, plagas, enfermedades causadas por virus y bacterias, rajaduras de la epidermis, entre otras (FAO, 2002); algunos ejemplos se muestran en la Figura 1.5.

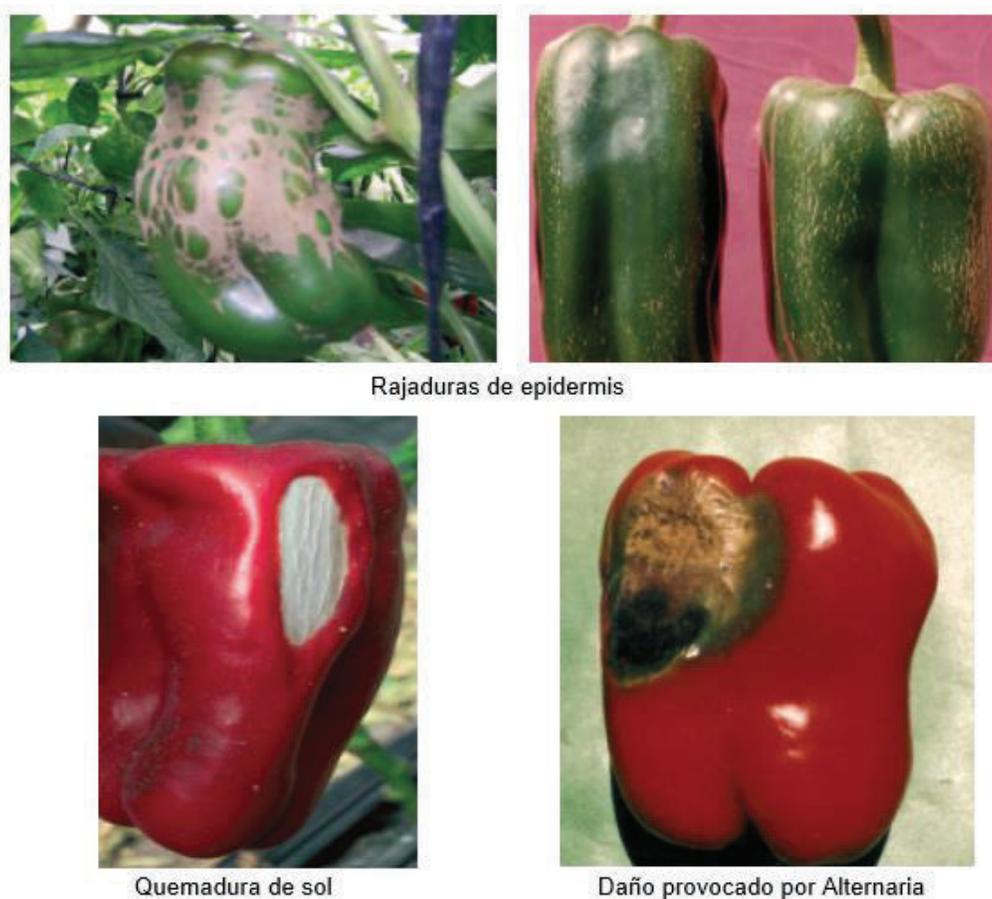


Figura 1.5. Daños comunes en pimiento

1.1.4.2. Pre-enfriamiento

El enfriado o pre-enfriado se realiza inmediatamente después de la cosecha o antes de cualquier manipulación. Se fundamenta en la eliminación del calor de campo, con el fin de alargar la vida poscosecha, mantener la calidad del fruto, y reducir la pérdida de peso (Pelayo y Castillo, 2002, p.8).

En este proceso se debe reducir desde la temperatura que tiene el pimiento después de la cosecha hasta menos de 12 °C. Para el pimiento se recomienda realizarlo mediante “air-cooling”, es decir con aire frío húmedo; y no se recomienda hacerlo mediante “hidro-cooling” ya que favorece el desarrollo de enfermedades infecciosas como podredumbre gris, húmeda y blanda (Giambanco, 2006, p. 81).

1.1.4.3. Selección y clasificación

Durante el proceso de selección se deberán eliminar aquellos pimientos que no cumplan los requisitos mínimos descritos en la norma NTE INEN 1996:2012 HORTALIZAS FRESCAS. PIMIENTO O PIMENTÓN. REQUISITOS (2012, p. 8), y que a continuación se describen:

- Estar enteros
- Sanos, libres de pudrición o deterioro, impropios del consumo
- Libre de insectos, contaminación por roedores y hongos
- Libre de materias extrañas
- Los pimientos deben estar bien desarrollados, presentar apariencia fresca, y libres de heridas no cicatrizadas
- Libres de daños causados por congelación y quemaduras de sol
- Los pimientos deben tener el pedúnculo adherido al mismo
- Los frutos deben estar libres de humedad externa anormal
- El sabor debe ser dulce con un olor agradable aromático, libre de sabores y olores extraños

Los pimientos que han cumplido los requisitos específicos mencionados, se los deben clasificar de acuerdo al grado, tomando en cuenta la Tabla 1.3.

Dentro de la categoría o grado se debe también considerar el calibre, determinado por el diámetro de la parte más ancha del fruto. De acuerdo a la norma NTE INEN 1996:2012, el ancho mínimo de los frutos, dependiendo del tipo de pimiento, debe ser:

- Fruto alargado (terminados en punta): 30 mm
- Fruto cuadrado (obtuso): 50 mm
- Fruto cónico: 40 mm
- Fruto liso: 55 mm

Tabla 1.3. Clasificación de pimiento de acuerdo al grado

Grado	Características	Tolerancia	Tolerancia de Calibre
I	Consistencia firme, libres de manchas. La forma, el desarrollo y la coloración deben estar de acuerdo a la variedad. Pedúnculo libre de daño o cortaduras, y entero.	Hasta el 5 % en número o en peso de frutos que no satisfagan los requisitos de este grado, pero que cumple con el grado II o que, excepcionalmente, está en las condiciones de las tolerancias de este grado.	Hasta el 6 % en número o peso de frutos que no cumplan con los tamaños establecidos, dentro de un margen de más o menos 5 mm, pero que no incluya más del 5 % de los frutos por debajo del tamaño mínimo.
II	Pimientos que no pertenecen al grado I, pero que cumplen con los requisitos mínimos antes descritos. Pueden presentar defectos siempre que los frutos conserven su calidad: defectos de forma y desarrollo, daños por quemaduras de sol o por congelación máximo de 1 cm ² por fruto y 2 cm de longitud por defectos o formas alargadas, grietas superficiales secas de 3 cm como máximo.	Hasta el 5 % en número o en peso de frutos que no satisface ninguno de los requisitos de este grado ni con los mínimos requisitos exigidos, con excepción del producto afectado por pudrición u otros defectos que lo hagan no apto para el consumo.	Hasta el 4 % en número o en peso de frutos que no cumplan con los tamaños identificados dentro de un margen de más o menos 5 mm, pero que no incluya más del 3 % de los frutos por debajo del tamaño mínimo. La dimensión no es obligatoria, pero está sujeta a las dimensiones mínimas.

(INEN, 2012, p. 1,2)

1.1.4.4. Lavado y desinfección

Los frutos se lavan con agua clorada de hasta 200 ppm de concentración, con el propósito de disminuir los restos de tierra, materiales extraños y para disminuir la carga microbiana (Sgroppo y Chaves, 2009, p. 101).

Se recomienda que el lavado del pimiento no se realice por inmersión, ya que el agua podría ingresar al interior del fruto y provocar podredumbre. Otra opción para el lavado es realizarla por aspersion de agua o conocido como “lluvia de agua” (Fernández et al., 2000, p. 9).

1.1.4.5. Secado

Para secar los frutos se puede utilizar rodillos de esponja, ventiladores o dejar el fruto bajo ventilación natural. El propósito de esta operación es eliminar el agua libre de la superficie para evitar la proliferación y ataque de patógenos, así como también podredumbres (Fernández et al., 2000, p. 9; Pelayo y Castillo, 2002, p. 91).

1.1.4.6. Pre-ensado y ensado

El pre-ensado y ensado tienen como propósito proteger al producto fresco de los daños durante la manipulación, además de mejorar la presentación del producto. El pre-ensado también crea atmósferas modificadas que contribuyen a la preservación del producto (Artés, 2006, p. 64).

El pre-ensado de pimiento puede realizarse de forma manual o mecánica. Los frutos suelen colocarse en polipropileno macroperforado, malla grapada, funda de polietileno o bandejas de poliestireno o polietileno filmado con plástico retráctil. Junto con esta operación se puede realizar el pesado y etiquetado (Giambanco, 2006, p. 83). De

acuerdo a la norma NTE INEN 1996:2012, los pimientos deben presentarse en envases adecuados, deben ser homogéneos y de la misma variedad (2012, p. 3).

El envasado consiste en colocar el producto pre-ensado en cartones, cajas de madera entre otros; para poder ser transportados (Raimondo y Espejo, 2002, p. 93,94).

1.1.4.7. Almacenamiento

Los productos empacados no son comercializados inmediatamente después de su producción o necesitan ser transportados hacia lugares distantes; por este motivo es necesario que los productos sean almacenados bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad que contribuyan a la preservación de la calidad del vegetal (Pelayo y Castillo, 2002, p. 103).

Las condiciones óptimas de almacenamiento para el pimiento son temperaturas de 7 a 13 °C, con óptimos de 8 a 9 °C y 90 – 95 % de humedad relativa (Kehr, 2002, p.3; Suquilanda, 2003, p. 100). Es necesario un control riguroso de temperatura, para evitar pérdidas del fruto, debido a que el pimiento sufre daños por frío a temperaturas menores a los 7 °C (Artés, 2003, p. 6).

1.1.4.8. Agentes que causan pérdidas poscosecha en el pimiento

Las pérdidas poscosecha pueden ocurrir en cualquier etapa del procesamiento o manejo, y se refiere a aquellos frutos que pierden su calidad o que deben ser rechazados. Los agentes que influyen en la pérdidas poscosecha pueden ser físicos, químicos y biológicos (Aguilar, 2012, p. 23).

Tabla 1.4. Agentes y factores causantes de pérdidas poscosecha

Agente	Factor	Descripción
Físicos	Mecánico	Golpes, heridas, cortes, magulladuras, entre otras
	Temperatura	Congelamiento, daños por frío, temperaturas elevadas
	Humedad	Elevada o baja humedad
	Otros	Luz, aire, entre otras
Químicos	Pardeamiento	Reacción entre azúcares y compuestos nitrogenados, bajo la acción de enzimas. Generación de pigmentos marrones
	Enranciamiento	Reacciones de hidrólisis y oxidación de lípidos. Generación de olores y sabores rancios
	Contaminación	Contaminación con pesticidas y otros productos químicos
Biológicos	Microbiológico	Contaminación con bacterias, hongos y levaduras
	Enfermedades	Enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y por desórdenes fisiológicos

(FAO, 2015, p. 2; Juliarena y Gratton, 2008, p. 1,2)

Según Pelayo y Castillo (2002), las principales causas por las que el pimiento pierde su calidad y se generan pérdidas poscosecha son la sobremadurez al cosechar, pérdida de agua, podredumbre, abrasiones y otros daños mecánicos (p. 3).

Las enfermedades que se manifiestan en el pimiento son las podredumbres blandas y húmedas, provocadas por hongos como *Fusarium sp.*, *Geotrichum candidum*, *Mucor sp.*, *Rhizopus nigricans*, *Botritis*, *Pythium* y bacterias como *Erwinias* (Colombo, 2002, p. 21). Los principales virus en los frutos de pimiento son: Virus del mosaico del pepino, virus del bronceado del tomate, virus del mosaico del tomate, “pepper mild mottle virus”, virus Y de la patata y virus del enanismo ramificado del tomate (Suquilanda, 2003, p. 95).

Los desórdenes físicos pueden ser el lugar propicio para iniciar el ataque microbiano y empezar podredumbres durante el almacenamiento, en el pimiento los desórdenes más comunes suelen ser grietas de crecimiento, necrosis apical, grietas longitudinales

de aspecto áspero y leñoso o “russeting” y quemaduras de sol (Colombo, 2002, p. 50-53 y Suquilanda, 2003, p. 95, 96).

El almacenamiento a temperaturas menores a los 7 °C provocan que el pimiento sufra alteraciones como pardeamiento de las semillas, podredumbre (*Alternaria s.p.*) y depresiones en la piel o picado laminar (Kehr, 2002, p. 2; Artés, 2006, p. 3 y Pelayo y Castillo, 2002, p. 123).

Las causas de pérdidas poscosecha en vegetales, se deben considerar para la selección y aplicación de adecuadas tecnologías poscosecha con el fin de reducirlas.

1.1.5. USOS

Los usos del pimiento son principalmente cuatro y dependen de la variedad; así se tiene que, los pimientos dulces se pueden consumir en fresco, en conserva y como pimentón, mientras que; los pimientos picantes se usan como especias (Namesyn, 2006, p. 13).

El consumo en fresco de pimiento es el más extenso en todo el mundo a comparación de los demás usos, no solo por su valor económico sino también por el valor nutricional (Namesyn, 2006, p. 13; Ghasemnezhad, Sherafati y Ali, 2011, p. 44). El pimiento en fresco posee alta capacidad antioxidante, es una importante fuente de nutrientes esenciales, posee un alto contenido de compuestos bioactivos como fibra, vitamina C, E y A, carotenoides y compuestos fenólicos. Se ha encontrado que la presencia de estos compuestos en el vegetal, tiene una posible relación con la capacidad de prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, reduce los niveles de colesterol, etc. (Hernández-Carrión, Hernando y Quiles, 2014, p. 1; Ramana, Gol y Shah, 2011, p. 18).

Para el consumo de pimiento en fresco se prefieren aquellos frutos de carne gruesa, consistencia firme y piel lisa, como es el caso de los pimientos tipo California (Milla, 2006, p.77).

Es frecuente encontrar el pimiento en conserva: en vinagre, al natural y congelado; siendo las dos primeras las más usuales y con mayor importancia económica. La conserva al natural se refiere a los pimientos asados enteros (Gil, 2006, p. 99).

El pimentón o paprika es el producto obtenido a partir del proceso de secado de la cáscara y la molienda; este producto tiene elevada demanda en los mercados del mundo (Pérez, Torregrosa y Palau, 2006, p. 93).

El pimiento como especia es muy apreciado en países como México y Estados Unidos, debido a su uso como condimento y colorante en la elaboración de otros productos alimenticios (Pérez, Torregrosa y Palau, 2006, p. 93).

En la actualidad, es común la producción de oleorresinas de pimentón (ORP) que son extractos obtenidos a partir de la paprika, compuesto principalmente por ácidos grasos esterificados como el linoleico. Dependiendo del tipo de pimiento y de la extracción de las ORP pueden ser utilizadas en la formulación de nutracéuticos, colorantes y farmacopea (Fernández-Trujillo, 2007, p. 252). Las ORP que presenten determinado color se usan en la industria cosmética y alimenticia; mientras que aquellas ORP que presenten mayor contenido de capsaicina se emplean como componente de productos farmacéuticos (Asnin y Park, 2015, p. 54).

En general, la mayoría de los usos del pimiento tienen importancia culinaria debido a la gran variedad de combinaciones con otros ingredientes. Pueden ser utilizados en la preparación de aperitivos en crudo, encurtidos, arroces, sofritos, entre otros (Higón, 2002, p. 78).

1.1.6. PRODUCCIÓN

El cultivo de pimiento se ha difundido en todo el mundo desde Sudamérica, y es uno de los cultivos más importantes de las regiones tropicales y sub-tropicales (Ramana, 2011, p. 18).

El pimiento tiene gran importancia económica en los mercados europeos debido a la alta demanda durante todo el año, por esta razón, la zona de mayor producción mundial de pimiento es la Cuenca del Mediterráneo, siendo Italia, Turquía y España los mayores productores de esta zona. Otro gran productor es la China, así como también México, Nigeria, Indonesia, Estados Unidos y México (Namesyn, 2006, p.13). En la Figura 1.6, se muestra los principales países exportadores de pimiento.

A nivel mundial se tiene una gran preferencia por pimientos del tipo “California” debido a su atractiva forma y elevada calidad (Milla, 2006, p. 75).

En el Ecuador el pimiento se cultiva tanto en la región Litoral como en los Valles Interandinos, donde existen condiciones ecológicas favorables (Suquilanda, 2003, p. 69). La mayor parte de pimiento que se comercializa proviene de Manabí, Santa Elena, Loja e Ibarra; mientras que los principales destinos de exportación de pimiento para el Ecuador son Estados Unidos de América, Reino Unido y España (PRO ECUADOR, 2013, p. 5).

De acuerdo con el III Censo Nacional Agropecuario realizado en el año 2000, el total de la superficie sembrada en monocultivo de pimiento fue de 956 Ha y en asocio con otros cultivos 189 Ha, mientras que la superficie cosechada fue de 1070 Ha. El pimiento se incluye en el grupo de cultivos transitorios, y su producción ha sido de 5 517 t y se ha comercializado 5 413 t (INEC, 2000).

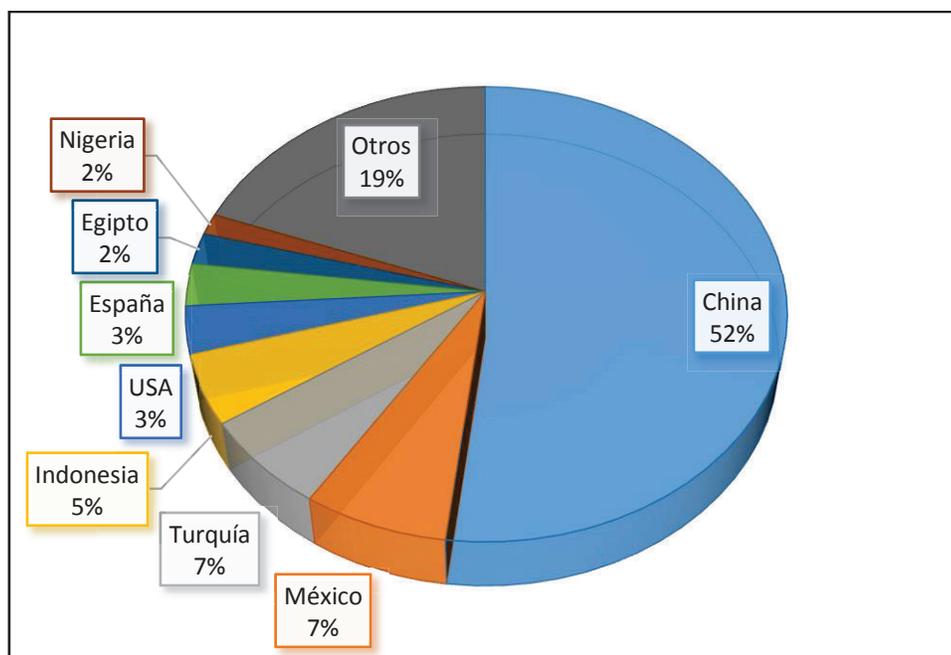


Figura 1.6. Principales exportadores de pimienta
(FAO, 2012)

1.2. IRRADIACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS FRESCOS

La irradiación de productos frescos, es un método físico de conservación de alimentos conocido como pasteurización en frío. Es una tecnología emergente que consiste en exponer al alimento a fuentes de radiación ionizante durante determinado tiempo dependiendo de la dosis requerida (Cammarata, 2010, p. 6).

La radiación se define como la propagación y emisión de energía en forma de partículas u ondas, emitidas por núcleos atómicos inestables conocidos también como radioisótopos o radionucleidos. El proceso durante la emisión de dicha energía se conoce como desintegración, decaimiento radioactivo, o radioactividad (González y Rabin, 2010, p. 15).

La radiación que interactúe con la materia y que tenga suficiente energía para producir su ionización (quitando electrones) se conoce como radiación ionizante, mientras que

la radiación que no provoque ionización se denomina radiación no-ionizante (Narvaiz, 2000, p. 1).

Entre los tipos de radiaciones ionizantes se tiene:

- Radiación α .- También conocida como partículas α , se produce cuando el radionucleido emite un núcleo de helio.
- Radiación β .- Este tipo de radiación se genera por la transformación de un protón del núcleo en neutrón con la consecuente emisión de un positrón (β^+); y de la transformación de un neutrón e protón con la emisión de un electrón (β^-).
- Radiación γ .- Se produce cuando el isótopo emite energía en forma de fotones.
- Radiación neutrónica.- Consiste en la emisión de neutrones.
- Rayos X.- Son fotones emitidos debido al cambio de órbita de electrones o cuando inciden sobre un metal y son frenados (González y Rabin, 2010, p. 17).

De acuerdo a la norma general del CODEX para alimentos irradiados, las fuentes de radiación que podrán utilizarse son:

- a) Rayos gamma procedentes de los isótopos: ^{60}Co o ^{137}Cs .
- b) Rayos X generados por máquinas que funcionen con una energía igual o inferior a 5 MeV;
- c) Electrones generados por máquinas que funcionen con una energía igual o inferior a 10 MeV (2003, p. 1).

Se prefiere la irradiación gamma por su capacidad de penetrar profundamente al alimento, mientras que el haz de electrones acelerados solo puede penetrar hasta 3,8 cm. Los rayos X también tienen elevado poder de penetración, pero el proceso es costoso (Arvanitoyannis, 2010, p. 25).

1.2.1. APLICACIONES DE LA IRRADIACIÓN

La aplicación de irradiación en productos hortofrutícolas tiene como principales objetivos inhibir reacciones enzimáticas, retardar los procesos de maduración y disminuir la carga microbiana, permitiendo extender el tiempo de vida de los productos que se comercializan y consumen en fresco (Arvanitoyannis, 2010, p. 11).

Además, la aplicación de la irradiación produce otros efectos que dependerán de la dosis de irradiación suministrada, en la Tabla 1.5 consta un resumen de las aplicaciones de la tecnología en relación con la dosis de irradiación.

La eficacia de la aplicación de la irradiación sobre productos alimenticios radica en suministrar la dosis necesaria para lograr el efecto deseado. Es importante mencionar, que la dosis necesaria dependerá de la matriz vegetal, de la cantidad de agua, de las concentraciones iónicas, entre otros factores (Prakash y Foley, 2004, p. 93).

Tabla 1.5. Aplicaciones y dosis de irradiación de alimentos

Aplicación	Dosis Requerida (kGy)
Inhibición del brote	0,03 - 0,12
Desinfestación de insectos	0,2 - 0,8
Desinfestación de parásitos	0,1 - 3,0
Extensión de la vida útil (radurización)	0,5 - 3,0
Eliminación de bacterias patógenas no formadoras de esporas (radicidación)	1,5 – 7,0
Reducción de microorganismos en alimentos deshidratados	3,0 - 20

(Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011, p. 122)

Adicionalmente, la aplicación de la irradiación de productos hortofrutícolas debe emplearse como un método adicional de preservación, y no debe sustituir las buenas prácticas de manufactura.

1.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de la aplicación de la irradiación se detallan a continuación:

- Permite la comercialización y transporte de productos hacia lugares más distantes, ya que extiende su vida útil.
- No genera residuos, es no contaminante.
- Disminuye y elimina microorganismos presentes en el alimento.
- No eleva la temperatura del alimento por lo que preserva sus componentes termosensibles.
- Se puede combinar con otros métodos de conservación.
- No se genera sustancias nocivas para la salud en alimentos irradiados, ni hace que los alimentos sean radioactivos.
- Los productos alimenticios pueden ser irradiados a granel o envasados.
- Es una alternativa a la preservación por sustancias químicas de toxicidad dudosa, como los fumigantes, algunos conservantes y algunos inhibidores de la brotación.

Entre las desventajas se tiene:

- Existe desinformación de la aplicación de la irradiación que provocan ideas erradas de los alimentos irradiados.
- El costo de la instalación requerida para el proceso de irradiación es mayor que el costo requerido para otros tratamientos.
- No es aplicable a todos los alimentos, como aquellos productos que tengan elevada cantidad de grasa.

1.2.3. EFECTOS DE LA IRRADIACIÓN

La interacción de la radiación con la materia ocasiona la formación de iones y radicales altamente reactivos que pueden afectar los diferentes componentes de los alimentos, así como también a los microorganismos y a los atributos sensoriales. Sin embargo,

los efectos que se describen a continuación, dependerán de la energía o dosis suministrada, del alimento a tratarse, entre otros factores (Lacroix y Ouattara, 2000, p. 720; Rossi et al, 2009, p. 319).

1.2.3.1. Efectos organolépticos

Los efectos organolépticos provocados por la irradiación pueden ser mínimos e indetectables, pero si los alimentos son irradiados a dosis elevadas se podría provocar cambios indeseados en la textura, olor, color y sabor (Narvaiz, 2000, p. 3).

El efecto principal es la generación de olores y sabores típicos justo después del proceso de irradiación y que van desapareciendo durante el almacenamiento. Los sabores rancios y olores desagradables se producirían por la acción de radicales libres sobre los lípidos y proteínas (Rossi et al, 2009, p. 320).

Otros efectos notables son los cambios en la textura de frutas y hortalizas, que se evidencian durante el almacenamiento y que son provocados por la degradación de pectina y celulosa que causarían ablandamientos (Suárez, 2001, p. 13,14).

En algunas investigaciones se comprueba que las dosis de radiación requeridas para alargar el tiempo de vida útil de frutas y vegetales no afectarían a los atributos sensoriales (Lacroix y Ouattara, 2000, p. 720). Se ha encontrado también que las dosis que provocan cambios sensoriales son menores a aquellas dosis que provocan cambios nutricionales en frutas y vegetales (Narvaiz, 2000, p. 3).

1.2.3.2. Efectos sobre los componentes de los alimentos

La interacción de la irradiación con los componentes de los alimentos inicia con la pérdida de estabilidad de los átomos y moléculas que originaría la formación de iones

y radicales libres. Mientras que los radicales e iones se combinarían entre sí o con los componentes de los alimentos para dar origen a nuevas moléculas o compuestos conocidos como productos radiolíticos; este proceso se denomina radiólisis (Herrero y Romero, 2006, p.73).

El principal componente de los productos hortofrutícolas es el agua (entre 80-95 %), la cual origina la formación de nuevos compuestos de acuerdo a la reacción [1.1]. El agua junto con el oxígeno es el principal compuesto que forma radicales libres (Pradell, 2003, p. 4-18).



La irradiación puede provocar que los carbohidratos presentes en los alimentos sean hidrolizados y oxidados a compuestos más simples (Fellows, 2000, p. 204). Entre los efectos más importantes en frutas y hortalizas, está el rompimiento de los enlaces de polisacáridos formando cadenas más cortas, degradación del almidón y celulosa en azúcares más simples (Maraver, Moreno, Jos y Cameán, 2007, p. 631).

Los efectos causados sobre las proteínas pueden ser la desnaturalización, ruptura de cadenas proteicas, ruptura de las cadenas laterales de los aminoácidos, y la reacción de los radicales libres provenientes del agua con los aminoácidos de las cadenas proteicas (Maraver, Moreno, Jos y Cameán, 2007, p. 631; Pradell, 2003, p. 15,16).

En el caso de los lípidos estos son oxidados formando carbonilos e hidroperóxidos, que se transforman en compuestos volátiles como cetonas, ésteres, alcoholes y aldehídos responsables del sabor a rancio y olores extraños. Los ácidos grasos insaturados son los lípidos más susceptibles a la oxidación (Suárez, 2001, p. 96).

A dosis menores a 10 kGy, los cambios o efectos mencionados en las proteínas, lípidos, e hidratos de carbono son prácticamente imperceptibles o nulos (Sendra, Capellas y Guamis, 2001, p. 139).

1.2.3.3. Efectos sobre los microorganismos

La principal razón de la aplicación de irradiación en productos hortofrutícolas, así como también el efecto más importante producido por la radiación, es el efecto causado sobre los microorganismos (Narvaiz, 2000, p. 3).

La interacción directa de la energía de radiación y el ataque de los radicales libres causan ionización y rupturas en el ADN del microorganismo, que dependiendo de la lesión provocada, inducen la inhibición de funciones celulares evitando el crecimiento microbiano, y la muerte del microorganismo (Dickson, 2001, p. 23).

Además, el daño inmediato de los microorganismos se atribuye al ataque de los radicales libres sobre el resto de los componentes de la célula. Las principales alteraciones son la modificación en la estructura de la membrana celular, y el cambio en las actividades enzimáticas y metabólicas (Gálvez y Buitimea, 2006, p.31).

Los microorganismos tienen diferente grado de sensibilidad a la radiación, siendo los virus y esporas bacterianas las más resistentes; mientras que menos resistentes las bacterias, mohos y levaduras. Por esta razón, la tasa de destrucción dependerá de la cantidad de microorganismos presentes y del tipo de microorganismo; además, ciertos microorganismos pueden desarrollar la habilidad de reparar los daños causados por la radiación (Prakash y Foley, 2004, p. 93-95; Maraver, Moreno, Jos y Cameán, 2007, p. 634).

1.2.4. COMBINACIÓN DE LA IRRADIACIÓN CON OTRAS TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN

La aplicación de la irradiación en productos hortofrutícolas puede provocar efectos variados, tanto positivos como negativos; como ya se mencionó anteriormente. La combinación de la irradiación con otras técnicas de preservación tales como el almacenamiento en frío, aplicación de calor y el empaque de los productos, pueden disminuir los efectos adversos provocados en la calidad de los productos debido a la aplicación de la irradiación e incrementar la probabilidad de aumentar la vida útil de los alimentos (Kirkin, Mitrevski, Gunes y Marriott, 2014, p. 255).

Se recomienda también que la técnica de irradiación no debe sustituir a los métodos de conservación tradicionales, y se debe considerar como un método adicional (Pradell, 2003, p. 4-1).

Las alteraciones negativas provocadas por la irradiación, tales como ablandamiento, oxidación lipídica e incremento en la respiración de productos frescos como la col y zanahoria, fueron reducidos significativamente por la combinación de atmósferas modificadas con la irradiación (Kirkin, Mitrevski, Gunes y Marriott, 2014, p. 255).

Se ha investigado también la aplicación de la irradiación en combinación con tratamientos calóricos leves por inmersión de frutas y vegetales en agua caliente por cortos períodos de tiempo, se encontró que los procesos de maduración se retardaron y como evidencia se tuvo la disminución del progreso de color de los frutos, se redujo las pérdidas del producto, y no se ha encontrado efectos adversos en las propiedades químicas y nutricionales (Lacroix y Ouattara, 2000, p.720).

La aplicación de bajas temperaturas durante el almacenamiento es un método capaz de detener el metabolismo de los microorganismos presentes en las frutas y hortalizas, pero no es capaz de eliminarlos por completo. Es por eso que la aplicación de la irradiación y el almacenamiento en frío crean un efecto sinérgico sobre la calidad

microbiológica, ya que la irradiación elimina los microorganismos o provoca daños sobre ellos, mientras que la refrigeración también contribuye a que los microorganismos que resistieron la radiación retarden su crecimiento y proliferación (Patterson, 2001, p. 343).

Otros métodos como la aplicación de sustancias químicas para la preservación, y la aplicación de altas presiones, también se estudian en la actualidad (Patterson, 2001, p. 324).

1.2.5. IRRADIADOR GAMMA DE LA EPN

El progreso de la investigación en la tecnología de irradiación en el Ecuador ha estado a cargo del Departamento de Ciencias Nucleares de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) desde 1981. El departamento cuenta con un irradiador gamma de origen francés, panorámico de categoría IV, utiliza el radioisótopo Cobalto-60 (Alcérreca, 2009, p.17).

El material radioactivo se encuentra contenido en el interior de 12 cápsulas en forma de lápiz, éstas se disponen en un portafuente en forma de canasta cilíndrica de acuerdo como se observa en la Figura 1.7.

Este tipo de irradiadores no pueden ser apagados por lo que si no está en uso, el portafuentes debe ser almacenado en el fondo de una piscina para que la radiación emitida por la fuente no se disperse en el ambiente externo. El portafuentes del irradiador de la EPN es transportado junto con el carro elevador hacia la piscina de 4,5 m de profundidad.

Cuando se requiere irradiar un producto, la fuente debe ser transportada hacia la cámara de irradiación, la cual se puede observar en la Figura 1.8. Las dimensiones de la cámara de irradiación es 4*4*2,6 m, mientras que el grosor de las paredes y puerta

de la cámara de irradiación es de 1,5 m cuya función es el blindaje cuando la fuente está en uso.

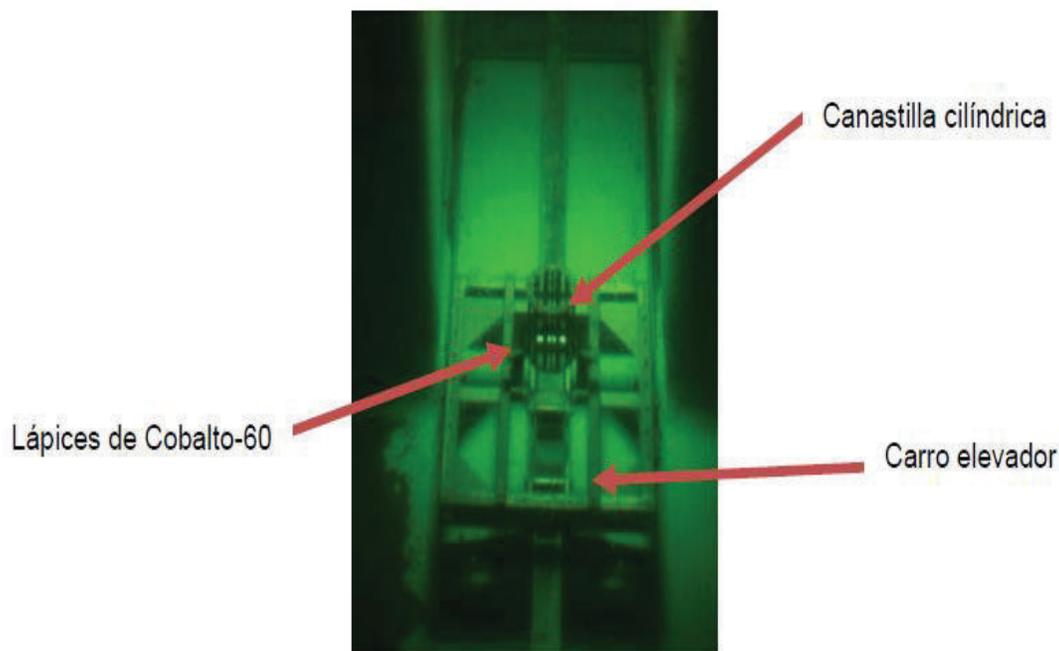


Figura 1.7. Portafuente del Irradiador Gamma de la EPN
(DCN, 2011)

El irradiador es de tipo Batch, por lo que el manejo del producto a irradiar es manual. El producto es colocado alrededor de la fuente en forma radial, y permanece ahí el tiempo calculado dependiendo de la dosis que se desea que absorba.

El irradiador también cuenta con sistemas de control que permiten el ascenso y descenso de la fuente de Cobalto-60 hacia la cámara de irradiación, sistemas de seguridad que no permiten que se abra la puerta de la cámara de irradiación cuando este en uso, sistemas de ventilación para la extracción de gases formados durante la irradiación, así como también alarmas cuando se detecta la presencia de radiación.



Figura 1.8. Instalaciones del Irradiador de la EPN
(DCN, 2011)

1.2.6. LEGISLACIÓN

A mediados del siglo XX se realizaron varias investigaciones con la cooperación de organismos internacionales para establecer una base científica sólida para la utilización de la tecnología de irradiación. Varios de estos programas específicos de investigación fueron analizados por las principales agencias de las Naciones Unidas como la Organización de Agricultura y Alimentos (FAO), Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y la Organización Mundial de Salud (WHO) llegando a la conclusión que dosis de hasta 10 kGy no provocan daños microbiológicos ni nutricionales a los alimentos junto con la consecuente aprobación del uso de la irradiación (Farkas y Mohácsi-Farkas, 2011, p.121, 122).

De esta manera, las agencias mencionadas junto con el programa “Codex Alimentarius” desarrollaron la “Norma General del Codex para los Alimentos

Irradiados” (CODEX STAN 106-1983, 2003). Entre los requisitos generales de esta norma consta que la dosis máxima suministrada a un alimento no deberá exceder los 10 kGy, así como también el uso de la radiación sea beneficiosa para la salud del consumidor y que no sustituya las prácticas adecuadas de higiene. Los productos irradiados deben presentar en el empaque la palabra “irradiado” o “tratado con radiación ionizante” junto con el nombre del producto, así como también el símbolo internacional de irradiación: la radura (Figura 1.9).



Figura 1.9. Símbolo radura
(ONLYIMAGE, 2015)

En la actualidad la irradiación de alimentos está aprobada en alrededor de 40 países, los principales países que aplican radiación en alimentos son USA, China, Brazil y Sudáfrica. De acuerdo a Farkas y Mohácsi-Farkas (2011) Europa es la región en la que menos se comercializan productos irradiados debido a su legislación restrictiva emitida por la Unión Europea (UE). Dentro de esta legislación se estableció un listado de productos alimenticios que pueden ser irradiados, junto con la máxima dosis de radiación a los que estos pueden ser expuestos; además, se requiere que la UE haya aprobado previamente las instalaciones en donde los alimentos hayan sido irradiados y se presente un informe sobre las condiciones y resultados de los controles llevados durante el procesamiento del alimento (p.123, 124).

En el Ecuador no se tiene una legislación clara acerca de la regulación de alimentos irradiados, pero el Instituto de Normalización Ecuatoriana (INEN) cuenta con algunos documentos normativos aplicables a los alimentos irradiados, la Norma General para Alimentos Irradiados, Código de Prácticas para el tratamiento de los alimentos por Irradiación y Métodos Generales del Codex para la Detección de Alimentos Irradiados; basados principalmente en las normas del CODEX alimentario.

1.3. COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS

Las frutas y hortalizas son un amplio grupo de alimentos, conocidos como alimentos funcionales, debido a que además de aportar nutrientes a la dieta de los consumidores, aportan también compuestos bioactivos (Pelayo, 2003, p.15). La importancia del consumo de productos hortofrutícolas en la dieta humana se justifica con la presencia de compuestos bioactivos, ya que estos no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano (Leong y Oey, 2012, p. 1577).

La proporción de compuestos bioactivos presentes en frutas y hortalizas varían de acuerdo a la variedad, estado de madurez, radiación solar, manipulación durante la cosecha y poscosecha, entre otros (Ghasemnezhad, Sherafati y Ali, 2010, p.45).

Aquellos compuestos que son benéficos para la salud humana y que se encuentran en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal, se consideran como compuestos bioactivos, fitoquímicos o fitonutrientes (Herrera, Betancur y Segura, 2014, p.14). Estos compuestos intervienen en el metabolismo secundario de los vegetales; suelen ser pigmentos, sustancias aromáticas, reguladoras del crecimiento, protectores de parásitos, entre otros (Barthélemy, Cornago y Esteban, 2013, p. 49,50).

Los compuestos bioactivos pueden ser fácilmente degradados por el efecto de la temperatura, luz, pH o la presencia de oxígeno; por lo que algunos de los problemas

tecnológicos que ocurren durante el procesamiento de frutas y vegetales, es la pérdida de nutrientes y compuestos bioactivos (Hernández-Carrión, Hernando y Quiles, 2014, p. 1).

Las frutas y hortalizas son ricas en componentes funcionales como las vitaminas, fibra dietaria, minerales, carotenoides y compuestos fenólicos (Hanif, Iqbal, Iqbal, Hanif y Rasheed, 2006, p. 18); y a continuación se describirán algunos de estos compuestos de interés para el presente trabajo.

1.3.1. VITAMINAS

Las vitaminas son sustancias orgánicas necesarias para el correcto funcionamiento del organismo, su carencia o deficiencia producen enfermedades en el ser humano. La función de las vitaminas en los procesos de anabolismo y catabolismo no son proveer de energía, sino actuar en el control y catálisis de diversas reacciones bioquímicas (Bardui, 2006, p. 363,364).

Las vitaminas contribuyen al funcionamiento normal del sistema nervioso, glándulas endocrinas y de la coagulación de la sangre. Están involucradas en el mantenimiento de los dientes, cabello, huesos, piel, visión y las mucosas y ayudan a que el cuerpo absorba fósforo y calcio (Hanif et al, 2006, p. 18).

Se han identificado alrededor de 13 vitaminas, las cuales se han clasificado de acuerdo a su solubilidad, en vitaminas liposolubles e hidrosolubles. Las vitaminas A, D, E y K son liposolubles, mientras que aquellas que conforman el complejo B junto con la vitamina C son hidrosolubles, siendo estas últimas las que se encuentran en mayor proporción en frutas y hortalizas.

1.3.1.1. Vitamina C

La vitamina C es un importante antioxidante y actúa en reacciones metabólicas fundamentales. Se presenta en su forma reducida como Ácido Ascórbico y en su forma oxidada como Ácido Dehidroascórbico de acuerdo a la Figura 1.10, pero caracterizadas por presentar la misma actividad biológica.

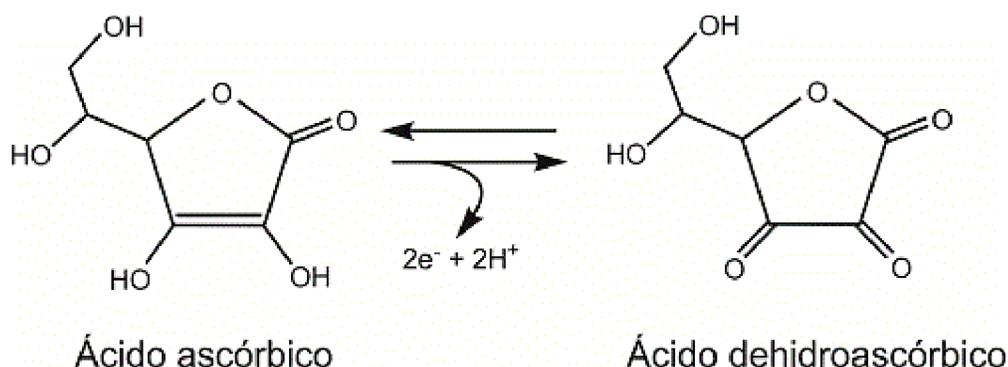


Figura 1.10. Estructura química de la vitamina C
(ONLYIMAGE, 2015)

Del grupo de vitaminas es la más inestable y lábil, por lo que se dice que si resiste el procesamiento y almacenamiento todos los demás componentes del alimento estarán intactos. Es capaz de regenerar la forma oxidada de la vitamina E y potenciar su efecto; además, se ha identificado también el efecto sinérgico entre la vitamina C, vitamina E y el β -caroteno (Criado y Moya, 2009, p. 13; Sabliov y Astete, 2008, p.303).

Las principales fuentes naturales que proveen las cantidades requeridas de vitamina C en la ingesta del ser humano son las frutas como la naranja, papaya y frutilla; y vegetales como el brócoli, pimiento y col (Sabliov y Astete, 2008, p. 303). Se recomienda que la ingesta diaria de vitamina C debe estar entre 45 a 80 mg dependiendo de la edad y sexo.

La vitamina C cumple con diversas funciones y de gran importancia en el metabolismo, debido a su capacidad de captar y liberar hidrógeno. Está presente en la síntesis de

colágeno, mucopolisacáridos y neurotransmisores, y ayuda a la absorción de hierro. Participa en importantes funciones en el sistema inmunitario en la lucha contra infecciones y células cancerosas, por lo que se le atribuye la prevención de enfermedades como el resfriado, cáncer, enfermedades inmunológicas, entre otras. La consecuencia del déficit de esta vitamina es el escorbuto, mientras que elevados niveles de vitamina no causa ningún efecto en el organismo (López, López y Olea, 2007, p. 551 y 552).

1.3.2. CAROTENOIDES

Los carotenoides son un amplio grupo, conformado por más de 500 compuestos, en su estructura contienen alrededor de 40 carbonos unidos mediante dobles enlaces conjugados, lo que les confiere el carácter hidrofóbico (Sabliov y Astete, 2008, p. 302).

Son pigmentos responsables de la coloración amarilla, naranja y roja en frutas y vegetales. La función de los carotenoides es absorber energía luminosa para luego transferirla a la clorofila, para el proceso de fotosíntesis (Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2004, p. 149,150). Se clasifican en dos grupos: carotenos, entre los que se tiene el licopeno, α , β , γ -carotenos, luteína, y xantofilas como la zeaxantina, criptoxantina. Los vegetales que tienen alto contenido de carotenoides son la zanahoria, brócoli, espinaca, tomate y pimiento.

La clorofila es un pigmento de coloración verde, y es el más abundante en frutas y hortalizas, pero durante la maduración va desapareciendo para dar lugar a la biosíntesis de pigmentos carotenoides, que dependiendo de la concentración originarán la coloración amarilla, naranja o roja (Asnin y Park, 2015, p. 262). En algunos frutos de color verde los carotenoides están enmascarados por la clorofila.

Debido a la capacidad antioxidante de los carotenoides, estos están ligados a la reducción del riesgo a contraer enfermedades degenerativas como ciertos cánceres,

tumores, enfermedades cardiovasculares por lo que se los denomina como anticancerígenos e inmunoactivadores (Mínguez, Pérez y Hornero, 2005, p.6). Algunos de los compuestos carotenoides se caracterizan también por su actividad como provitamina A, de vital importancia para la visión nocturna, la piel y tejidos superficiales (Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2004, p. 149).

1.3.2.1. β -Caroteno

El β -caroteno o provitamina A, es un pigmento carotenoides no polar que provoca coloraciones amarillas o naranjas en frutas y vegetales. En su estructura contiene una cadena isoprenoide con nueve dobles enlaces conjugados que aportan a la estabilidad y al color, y en los extremos anillos de 6 carbonos de acuerdo a la Figura 1.11 (Vaclavik y Christian, 2008, p.114).

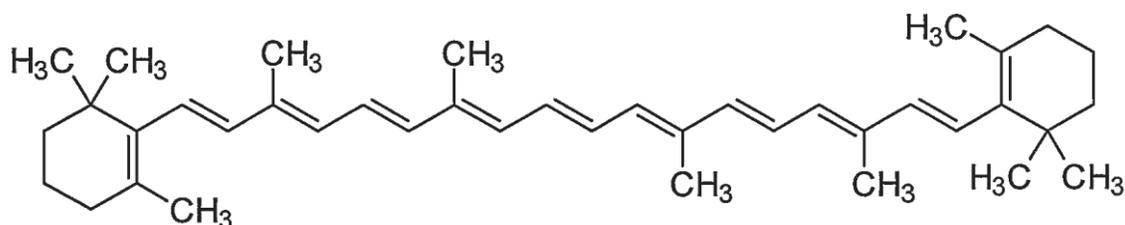


Figura 1.11. Estructura del β -caroteno
(ONLYIMAGE, 2015)

Es un compuesto insoluble en agua pero soluble en éter de petróleo y poco en etanol, es sensible al calor y a la luz. Por esta razón, cuando los alimentos se someten a elevadas temperaturas en presencia de luz y oxígeno se producen pérdidas de color (Barthélemy, Cornago, y Esteban, 2013, p.55).

Se encuentra en mayor cantidad en vegetales como la zanahoria, pimiento rojo, brócoli en algunos vegetales verdes, y en frutas como la naranja y papaya (Mínguez, Pérez y Hornero, 2005, p.4).

El β -caroteno es el carotenoide más importante con actividad de provitamina A, por lo que su deficiencia en la dieta puede provocar ausencia de vitamina A, que provocaría ceguera nocturna, sequedad ocular, queratosis (engrosamiento de la capa córnea), y disminución de la resistencia a infecciones. Es capaz de prevenir enfermedades coronarias, fotodermatosis e incluso cáncer de piel porque captura especies reactivas de oxígeno de la piel provocadas por la radiación UV, por lo que es un componente importante de cremas protectoras solares. Previene también enfermedades crónicas como el cáncer, no solo por su actividad antioxidante, sino también por su capacidad de inhibir la proliferación de células malignas y la diferenciación celular (Criado y Moya, 2009, p. 13; Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2004, p. 151).

1.3.3. COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son los más extensamente distribuidos de todos los compuestos bioactivos. Son un grupo complejo de compuestos que incluye más de 8 000 metabolitos secundarios de las plantas, los cuales difieren en su estructura molecular y propiedades físico-químicas (Lutz, 2012, p. 214).

Aquellos compuestos orgánicos con uno o más grupos hidroxilos en los anillos aromáticos, se consideran como compuestos fenólicos y pueden ser divididos en fenoles simples, o en un grupo más complejo conocido como polifenoles. Entre los fenoles simples están los ácidos fenólicos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos, mientras que los polifenoles caracterizados por tener más de un anillo benceno y diferente cantidad de grupos hidroxilos, carbonilos y ácidos carboxílicos; tiene las subclases: flavonoides, antocianinas, flavonoles, flavanonas, flavonas, taninos condensados e hidrolizables (Umar y Xia, 2012, p. 53-56).

La calidad organoléptica de frutas y hortalizas frescas está relacionada con la presencia de algunos compuestos fenólicos, por ejemplo los flavonoides y las

antocianinas son los responsables del color, y los ácidos hidroxicinámicos son responsables del sabor amargo (Porrás-Loaiza y López-Malo, 2009, p.2, 128, 129).

Los compuestos fenólicos en el organismo humano presentan actividades biológicas anticancerígenas, antiinflamatorias, antihipertensivas, estrogénicas, antioxidantes y la prevención de contraer enfermedades cardiovasculares (Muñoz y Ramos, 2007, p. 23). En varias investigaciones se ha comprobado que los compuestos fenólicos pueden formar complejos con el almidón, proteína, enzimas, y minerales que provocan una reducción del valor nutritivo de los alimentos y la biodisponibilidad, por tal motivo se los considera como inhibidores de nutrientes o inhibidores de absorción (Porrás-Loaiza y López-Malo, 2009, p. 129).

1.3.4. COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LA SALUD HUMANA

El incremento en la incidencia de enfermedades crónicas en el ser humano ha sido una razón para investigar la relación que existe entre la salud y la alimentación. Se ha comprobado que la disminución de contraer enfermedades está relacionada con el mayor consumo de frutas y hortalizas, y que estos alimentos de origen vegetal tendrían un efecto protector en la salud debido a la presencia de compuestos bioactivos (Araya, Clavijo y Herrera, 2006, p. 361).

Durante los procesos biológicos que desarrolla el ser humano, se generan especies de oxígeno reactivas o radicales libres cuya excesiva formación provoca estrés oxidativo, que provoca daños en los tejidos, envejecimiento celular, oxidación de carbohidratos, modificaciones del ADN, alteraciones de proteínas, entre otras. Mientras que los daños mencionados están relacionados con enfermedades degenerativas, cardiovasculares, cáncer, diabetes, envejecimiento, daños hepáticos, etc. (Sabliov y Astete, 2008, p.298).

Los compuestos bioactivos tienen elevada capacidad antioxidante, es decir son capaces de capturar radicales libres generados y evitar que se produzcan reacciones en cadena que incrementarían la producción de radicales libres. Junto con la capacidad antioxidante y otras funciones que cumplen los compuestos bioactivos, estos contribuirían a la prevención de enfermedades (Muñoz y Ramos, 2007, p. 29).

La capacidad antioxidante de las frutas y vegetales se atribuye principalmente a la presencia de vitamina C y E, provitamina A y polifenoles (Lutz, 2012, p. 13; Araya, Clavijo y Herrera, 2006, p. 361).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LA MATERIA PRIMA

2.1.1. PIMIENTO

El pimiento utilizado para el desarrollo de esta investigación se obtuvo de una plantación con cultivo en invernadero ubicado en Atuntaqui, provincia de Imbabura. En el Anexo I se presentan algunas fotografías del cultivo. Se utilizaron pimientos de tres variedades “Italian sweet”, “Lamuyo” y “California wonder” (pimiento color verde, rojo y amarillo, respectivamente).

Los pimientos que se utilizaron fueron cosechados en estado de madurez fisiológica, con un porcentaje de coloración >60%. La cosecha se realizó manualmente a tempranas horas en la mañana, se separó el pimiento de la planta por la parte superior del pedúnculo evitando que este sufra daños.

Los pimientos seleccionados se lavaron manualmente con agua corriente para eliminar la tierra, suciedad y otros materiales extraños, se desinfectaron con agua clorada con una concentración de 200 ppm y se secaron a temperatura ambiente. A continuación; el vegetal se transportó durante 3 h en kavetas a temperatura ambiente desde Atuntaqui hasta el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional, en donde se almacenaron en un cuarto refrigerado a 8°C hasta su procesamiento.

2.1.2. FUENTE DE Co-60

Para la irradiación de los pimientos, se utilizó radiación gamma proveniente de la fuente de cobalto 60 (Co-60) del Departamento de Ciencias Nucleares (DCN) ubicada en el Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) de la Escuela Politécnica Nacional.

2.1.3. ANÁLISIS FÍSICOS

Se utilizaron 30 pimientos de cada variedad, a cada uno se realizaron los siguientes análisis físicos.

2.1.3.1. Peso

Se pesaron 30 pimientos de cada variedad en una balanza electrónica (BOECO, modelo BBA51, Alemania, 4 100 g, 0,01).

2.1.3.2. Diámetro, Longitud y Espesor de la pared

Se determinó el diámetro, longitud y espesor de la pared de 30 pimientos de cada variedad con un calibrador de precisión en milímetros. De acuerdo a la norma NTE INEN 1996:2012, el diámetro se midió en la parte más ancha del fruto y la longitud desde la base del pedúnculo hasta el ápice del pimiento.

Para medir el espesor de la pared del pimiento, se realizó un corte transversal y se midió con el calibrador en la parte más ancha del pericarpio.

2.1.3.3. Firmeza

Con un penetrómetro manual (McCormick Fruit Pressure Tester, modelo FT011, Italia, 5 kgf, 0,5) provisto de una punta de 8 mm de diámetro se determinó la firmeza de 30 pimientos de cada variedad.

2.1.4. ANÁLISIS QUÍMICOS

Para realizar los análisis químicos que se describen a continuación, se utilizaron 30 pimientos de cada variedad a los cuales se los subdividió en seis grupos de cinco frutos cada uno.

Los análisis se realizarán en cada uno de los seis grupos de pimiento de cada variedad, para lo cual, a los cinco pimientos de cada grupo se les extrajo el pedúnculo, la placenta y las semillas; mientras que una cuarta parte del pericarpio de cada fruto se licuó y se tamizó, y en el zumo obtenido se determinaron pH, sólidos solubles y acidez titulable.

2.1.4.1. pH

Se midió el pH con el pH-metro electrónico (Hanna-Instruments, Washington, HI 3220, 14, 0,1); el cual se sumergió en aproximadamente 40 mL de zumo, y se registró el valor de pH que permaneció estable durante 30 segundos.

2.1.4.2. Sólidos Solubles (SST o ° Brix)

Los SST se determinaron con un refractómetro manual (BOECO, Alemania, 32° Brix, 0,2). Se depositaron 2 gotas de zumo en el prisma del refractómetro y se registraron las medidas en ° Brix.

2.1.4.3. Acidez Titulable

La acidez titulable se determinó titulando 10 mL de jugo de pimiento con NaOH 0,1 N hasta pH 8,1; de acuerdo al método AOAC 942.15 (AOAC, 2005).

El ácido que se encuentra en mayor proporción en el pimiento es el ácido cítrico por lo que los resultados se expresaron como g de ácido cítrico en 100 mL de zumo. Se calculó de acuerdo a la ecuación que se muestra a continuación:

$$AT = \frac{V_{NaOH} * N * f_{NaOH} * f}{V} * 100 \quad [2.1]$$

Donde:

AT: Acidez Titulable (g ácido cítrico/ 100 mL zumo)

V_{NaOH}: Volumen de hidróxido de sodio utilizado (mL)

N: Concentración del NaOH expresado en normalidad (0,1N)

f_{NaOH}: Factor de corrección (1,0185)

f: Factor del ácido cítrico (0,064)

V: Volumen de jugo (mL)

2.1.5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Se realizó la evaluación de calidad visual a 30 pimientos de cada variedad con una escala arbitraria de 1 a 5; los parámetros evaluados fueron turgencia, % coloración,

marchitez del pedúnculo, % patógenos y daño físico. La escala utilizada en la evaluación se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Escala de evaluación de calidad visual para pimiento

Puntuación	PARÁMETROS				
	Turgencia	% Coloración	Marchitez del pedúnculo	% Patógenos	Daños físicos
1	Muy secos	0 - 25	Extremo	>30	Extremo
2	Secos	25 - 50	Severo	10-30	Severo
3	Medianamente secos	50 - 75	Moderado	10	Moderado
4	Ligeramente secos	75 - 100	Discreto	Escaso	Discreto
5	Frescos	100 (Sobremaduro)	Ninguno	Ninguno	Ninguno

2.1.5.1. Índice de apariencia general

Para evaluar cada uno de los parámetros citados en la Tabla 2.1, se calculó el índice de calidad de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$IC = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{N} \quad [2.2]$$

Donde:

IC: Índice de calidad de apariencia general

N: Número total de frutos evaluados

n_1-n_5 : Número de frutos que presentaron igual características (igual puntuación)

En la Tabla 2.2 se muestra la valoración del índice de calidad de apariencia general.

Tabla 2.2. Escala de valoración del índice de calidad

Índice de calidad	Descripción
Entre 4-5	A: Mantiene características iniciales
Entre 3-4	B: Presenta deterioro y daño, apta para el consumo
<3	C: No Comerciable

2.1.6. CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

Se evaluó la calidad sensorial global de 30 pimientos de cada variedad con una escala arbitraria de 1 a 4. La escala utilizada para el análisis se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Escala de evaluación sensorial

Puntuación	Descripción
1	Presencia intensa de aroma y sabores extraños
2	Alta alteración del sabor y aroma característicos
3	Poca alteración del sabor y aroma característicos
4	Vegetal con sabor y aroma característicos

2.2. EFECTO DE LA DOSIS DE IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO

2.2.1. PREPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Los pimientos cosechados, lavados y desinfectados de la misma manera como se describe en el acápite 2.1.1, se trasladaron a la fuente de Cobalto 60 del LTR.

Los frutos de cada variedad (aproximadamente 100 kg) fueron enumerados y clasificados aleatoriamente en cinco grupos de 90 pimientos cada uno. El primer grupo de pimientos de cada variedad no se irradió, mientras que los otros cuatro grupos fueron irradiados a dosis de 250, 500, 750 y 1 000 Gy, respectivamente.

Los 90 pimientos de un grupo se colocaron aleatoriamente en ocho recipientes plásticos de medidas: 31 cm de ancho, 45 cm de largo y 10 cm de profundidad, los cuales se colocaron en el segundo anillo de la fuente de Co-60 formando un cuadrado, de acuerdo a la Figura 2.1.



Figura 2.1. Arreglo de canastas plásticas para la irradiación

A continuación, se cerró la cámara y subió la fuente; los pimientos se dejaron en exposición a radiación gamma durante el tiempo determinado para la dosis requerida. Una vez que transcurrió el tiempo necesario para la dosis de 1 000 Gy, los pimientos se retiraron de la cámara y se colocó otro grupo de 90 pimientos para ser expuestos a la dosis de 750 Gy. De igual manera se procedió para las dosis de 250 y 500 Gy, y para cada una de las variedades de pimiento.

Los frutos de cada tratamiento se etiquetaron y almacenaron en la cámara de maduración del DECAB a 20 °C y 80% de humedad relativa durante 14 días. Las

condiciones de la cámara de maduración se seleccionaron con el propósito de simular un almacenamiento acelerado.

2.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para este experimento se planteó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), donde el factor de bloqueo corresponde al tiempo de almacenamiento, la variable de diseño es la dosis de radiación y los niveles correspondientes a dicha variable fueron: 0, 250, 500, 750, y 1000 Gy. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso, firmeza, pH, °Brix, acidez titulable, calidad visual y análisis sensorial.

2.2.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Al día 0 (inmediatamente después de la irradiación-salida 1), 7 (salida 2) y 14 (salida 3) de almacenamiento se retiraron 30 pimientos de cada tratamiento para realizar la evaluación de la calidad. Los análisis que se realizaron en cada salida fueron: firmeza de acuerdo al acápite 2.1.1.3; pH, °Brix y acidez titulable de acuerdo a 2.1.4, calidad visual y análisis sensorial de acuerdo a 2.1.5 y 2.1.6, respectivamente. Adicionalmente se analizó % de pérdida de peso.

2.2.3.1. Porcentaje de Pérdida de Peso

El % de pérdida de peso se determinó en cada uno de los pimientos y en cada período de almacenamiento, para lo cual se pesaron cada uno de los frutos al inicio de la experimentación y después de cada salida. Se valoró de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{Pérdida de Peso} = \frac{P_0 - P_f}{P_0} * 100 \quad [2.3]$$

Donde:

P_0 : Peso del fruto al inicio del experimento (g)

P_f : Peso del fruto en cada salida (g)

2.3. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE IRRADIACIÓN GAMMA Y ALMACENAMIENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA EN LA EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO

2.3.1. PREPARACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Aproximadamente 100 kg de pimiento de cada variedad se cosecharon, lavaron y desinfectaron como se describe en el acápite 2.1.1. A continuación, 300 g o al menos 2 frutos se colocaron en bandejas de poliestireno cubiertas con láminas plásticas de Cloruro de Polivinilo para alimentos, en el Anexo II se muestran algunas fotografías del pimiento empacado. Se prepararon 120 bandejas de cada variedad, las cuáles se enumeraron e identificaron. 60 bandejas no se irradiaron, mientras que las otras 60 se colocaron en cuatro kavetas plásticas de 60*40*25 cm.

Las kavetas se llevaron hasta la cámara de irradiación de la fuente de Co-60, y se colocaron en el segundo anillo formando un cuadrado, de acuerdo a la Figura 2.2. Se cerró la cámara y se subió la fuente. Se dejó las kavetas con las bandejas de pimiento en exposición a radiación durante el tiempo requerido para que absorba la dosis que se seleccionó en el acápite 2.2.

Las bandejas de pimientos irradiados y sin irradiar se almacenaron bajo condiciones controladas de refrigeración: 8 °C y 95 % de humedad relativa hasta 28 días.



Figura 2.2. Arreglo de kavetas con bandejas de pimiento para ser irradiadas

2.3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el estudio del efecto de irradiación y almacenamiento bajo condiciones controladas se planteó un diseño de bloques completamente al azar; cuyo factor de bloqueo corresponde al tiempo de almacenamiento, las variables de diseño fue la irradiación y sus niveles fueron: irradiados y sin irradiar. Mientras que las variables de respuesta fueron: pH, pérdida de peso, °Brix, acidez titulable, firmeza, calidad visual y panel sensorial.

2.3.3. ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Después de 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento, se retiraron 10 bandejas de pimiento irradiado y sin irradiar para realizar los siguientes análisis: firmeza de acuerdo al acápite 2.1.3.3; pH, °Brix y acidez titulable de acuerdo a 2.1.4, calidad visual de acuerdo a 2.1.5. Adicionalmente, mediante un panel semi-entrenado se evaluaron atributos sensoriales.

2.3.3.1. Análisis Sensorial-Panel Sensorial

El análisis sensorial se ejecutó mediante un panel semi-entrenado conformado por 12 panelistas, los cuáles evaluaron los siguientes atributos: apariencia general, aroma (sabor y olor), dureza y presencia de sabores-olores extraños.

Se entregó a cada panelista pequeños pedazos de pimiento irradiado y sin irradiar en recipientes que se identificaron con un código de tres dígitos al azar. Junto con las muestras se entregó el formato de evaluación sensorial con escalas descriptivas no estructuradas (Hough, 2010, pp. 47-54), que se presenta en el ANEXO III.

Los valores otorgados por el panelista se cuantificaron midiendo con una regla el valor asignado dentro de la escala no estructurada.

2.4. EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE TRES COMPUESTOS BIOACTIVOS: VITAMINA C, β -CAROTENO Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO, ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN

2.4.1. MUESTREO

Para determinar el efecto de la radiación sobre tres compuestos bioactivos, se tomaron seis muestras (aproximadamente 400 g de cada una) de cada variedad de pimiento antes y después de ser irradiados a las dosis de 250, 500, 750 y 1 000 Gy.

Las seis muestras mencionadas, se formaron con las 3/4 partes del pericarpio sobrante de los pimientos que se utilizaron para los análisis químicos de los acápite 2.1.4. y 2.2.3.

Con las seis muestras de pimientos de cada tratamiento se realizó una muestra compuesta para realizar la identificación y cuantificación de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales.

2.4.2. ANÁLISIS DE VITAMINA C, β -CAROTENO Y COMPUESTOS FENÓLICOS SOLUBLES TOTALES

La cuantificación e identificación de vitamina C y β -caroteno se realizó por cromatografía líquida, mientras que compuestos fenólicos por técnicas espectrofotométricas.

La vitamina C de cada muestra se analizó como se describe en Vasco (2009, IV-p.5), β -caroteno de acuerdo a Vasco (2009, II-p.5) y compuestos fenólicos de acuerdo a Ghasemnezhad (2011, p.45). Se realizaron cinco réplicas de cada muestra compuesta.

Los procedimientos para cuantificación e identificación de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales se describen en los Anexos IV, V y VI, respectivamente.

2.4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de cada uno de los objetivos fueron procesados con el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI. El programa proporcionó: análisis de varianza, contraste de rangos múltiples (método LSD), gráfica de medias con un 95 % de confianza.

2.5. DISEÑO PARCIAL DE LAS ETAPAS DE EMPAQUE Y REFRIGERACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO ENTERO

Para el diseño parcial de las etapas de empaque y refrigeración para producción de pimiento se plantearon como operaciones unitarias el lavado y desinfección, secado, empackado, irradiación y almacenamiento bajo condiciones controladas. Se realizó el balance de masa tomando como base 100 kg de pimiento entero de cada variedad, que corresponde a la producción promedio diaria de los invernaderos ubicados en Atuntaqui, de dónde provino la materia prima para esta experimentación.

En base a los balances de masa se elaboraron los diagramas de bloques (BFD), de flujo (PFD), con lo cual se establecieron los equipos requeridos para la planta de producción de bandejas de pimiento entero. Se seleccionaron los equipos y se diseñó la cámara de refrigeración requerida para el almacenamiento del producto final. Para el proceso de producción, la irradiación se consideró como un servicio prestado por la Escuela Politécnica Nacional considerando también que la fuente de Co^{60} fue repotenciada hasta una actividad de 100 000 Ci.

Los equipos seleccionados se distribuyeron de mejor manera dentro de un área determinada y se representaron en el Layout de la planta.

2.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO QUE SE LE DARÁ AL PIMIENTO ENTERO PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD

Para el análisis económico del tratamiento que se le dió al pimiento entero se determinó la inversión total, capital de trabajo, costos de operación y producción, y flujo de caja. La inversión total se calculó con los precios estimados de los equipos en el mercado, terreno y construcciones. Para los costos de producción se tomaron en cuenta mano de obra, materia prima e insumos; dentro de los insumos se consideraron

los costos del servicio de irradiación, agua, costos de empaques y el costo energético calculado a partir de los kWh que consume cada equipo.

Se calculó el flujo de caja para lo cual se planteó un tiempo de vida del proyecto de 10 años, y se consideraron las ventas anuales, depreciaciones de los equipos y construcciones, e impuesto a la renta.

Finalmente se calculó los índices financieros: punto de equilibrio, tasa interna de retorno (TIR) y valor actual neto (VAN).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y SENSORIALES DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1. ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de la caracterización física de tres variedades de pimiento.

Tabla 3.1. Caracterización física de tres variedades de pimiento

Variable	Pimiento amarillo	Pimiento rojo	Pimiento verde
Peso (g)	162,21 ± 46,51a	161,38 ± 47,43a	133,96 ± 41,20b
Longitud (cm)	10,51 ± 1,63a	11,13 ± 1,36a	12,64 ± 1,40b
Diámetro (cm)	8,29 ± 0,78a	6,58 ± 0,90b	6,28 ± 0,75b
Espesor de la pared del pericarpio (mm)	3,72 ± 1,00a	5,07 ± 0,83b	4,90 ± 1,09b
Firmeza (N)	45,37 ± 9,39a	58,73 ± 13,07b	70,77 ± 17,71c

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

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas

De acuerdo a la longitud y diámetro promedio de los frutos de pimiento amarillo y rojo estos se clasifican como frutos cortos en el caso de la variedad amarilla y $\frac{1}{2}$ largo para la variedad de pimiento rojo; de acuerdo a la clasificación que se presentó en el capítulo 1. Además, los diámetros registrados en cada variedad indican que los frutos de pimiento cumplen con los calibres de calidad estipulados en la norma INEN 1996:2012, para frutos de tipo I, es decir con diámetros superiores a 50 mm (INEN, 2012, p. 2).

El espesor promedio de la pared del pericarpio fue de 3,72, 5,07 y 4,90 mm para la variedad de color amarillo, rojo y verde, respectivamente. Estos valores indican que

los frutos de pimiento de las tres variedades se destinarían para el consumo en fresco, ya que se encuentran en el rango de 3 a 7 mm como se mencionó anteriormente.

El promedio de la firmeza de los frutos de color amarillo fue de 45,37 N, para pimiento rojo fue de 58,73 N y para pimiento verde de 70,77 N. Los pimientos de color verde presentaron mayor firmeza que los pimientos amarillos y rojos, debido a que durante la maduración (cambio de color a rojo o amarillo) las protopectinas, responsables de la rigidez del fruto inmaduro, bajo la acción de la enzima protopectinasa son convertidas en pectinas solubles o ácido pectínico que provoca el ablandamiento del fruto (Bardui, 2006, p. 93).

Se registró variabilidad en los resultados de firmeza, que se atribuye a que la medida de la firmeza dependió de la tonalidad del punto (roja a verde o amarilla a verde) en donde se realizó la medición.

3.1.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

A continuación, se presentan los valores obtenidos de la caracterización química de tres variedades de pimiento: amarillo, rojo y verde.

Tabla 3.2. Caracterización química de tres variedades de pimiento

Variable	Pimiento amarillo	Pimiento rojo	Pimiento verde
pH	5,03 ± 0,02a	4,97 ± 0,04a	5,61 ± 0,37b
SST (° Brix)	9,08 ± 0,24a	8,00 ± 0,25b	4,57 ± 0,45c
Acidez Titulable (% ácido cítrico)	0,31 ± 0,05a	0,32 ± 0,05a	0,15 ± 0,03b

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

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas

Con base en los resultados del pH y acidez titulable reportada para cada variedad se puede afirmar que el pimiento es un alimento no neutro y ligeramente ácido. Los frutos

verdes presentaron mayor pH y menor acidez titulable por lo que serían frutos menos ácidos que los amarillos y rojos. Tanto el pH como la acidez titulable son índices de madurez, por lo que la diferencia de estas propiedades químicas entre la variedad verde y las variedades roja y amarilla se deben al progreso de la maduración.

De manera similar que para el pH y la acidez titulable, los SST del pimiento verde fueron menores que los registrados para el pimiento amarillo y rojo, ya que durante el proceso de maduración se dan procesos de biosíntesis de polisacáridos y la acumulación de azúcares que incrementan la concentración de glucosa y fructosa (G Ghasemnezhad et al., 2011, p. 46; Asnin y Park, 2015, p. 271). Además, los datos registrados de SST coinciden con la aseveración de Fernández et al. (2000): los pimientos maduros (rojos o amarillos) contienen al menos el 50 % más de azúcares o sólidos solubles totales que los verdes (p. 7).

Domene, Gázquez, Segura y Meca (2014) reportan para pimiento verde de la variedad “Lozorno” valores de 0,15 % ácido cítrico, 5 y 5 para acidez titulable, pH y °Brix, respectivamente. Para pimiento amarillo “Tweety” reportan también 0,35 %, 5 y 9,4 y para pimiento rojo “Calimero” valores de 0,35 %, 4,9 y 10. Los valores encontrados en la presente investigación son similares a lo reportado por Domene et al. (2014), pero en ciertas propiedades como los °Brix del pimiento rojo se encontraron diferencias que probablemente se deben a que las variedades en estudio son diferentes.

3.1.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

En la Tabla 3.3 se muestran los resultados de la evaluación de cada atributo para cada variedad de pimiento. De acuerdo a estos resultados, los frutos de cada variedad estaban frescos, no presentaron marchitez en el pedúnculo ni daño físico y no se observó la presencia de patógenos.

Con la ecuación [2.2] se calculó los índices de calidad visual para cada atributo y variedad; para la variedad amarilla se obtuvo un índice de calidad promedio de 4,95, para la variedad roja y verde de 4,86. Por lo tanto, la materia prima empleada en esta investigación fue fresca y de buena calidad.

Tabla 3.3. Evaluación de la calidad visual de tres variedades de pimiento

Atributo	Pimiento amarillo	Pimiento rojo	Pimiento verde
Turgencia	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a
Marchitez del pedúnculo	4,87 ± 0,35a	4,63 ± 0,56a	4,43 ± 0,57a
Presencia de Patógenos	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a	5,00 ± 0,00a
Daño Físico	4,57 ± 0,50a	4,80 ± 0,41a	5,00 ± 0,00a

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

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas

Los frutos cumplieron con los requisitos mínimos de la norma INEN 1996:2012 y que se describieron en el acápite 1.1.4.3; además, presentaron consistencia firme, libres de manchas, su coloración y forma estaban de acuerdo a la variedad. Por lo tanto, los frutos pertenecen al grado I de acuerdo a la norma INEN 1996:2012.

Aproximadamente la mitad de los pimientos rojos y amarillos utilizados en la experimentación tuvieron una puntuación de 4 para % de coloración, es decir que presentaron entre 75 – 100 % de coloración amarilla o roja.

3.1.4. CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

Del análisis de calidad sensorial global del pimiento se obtuvieron los valores promedios de $3,90 \pm 0,31$, $4,00 \pm 0,00$ y $3,93 \pm 0,25$ para pimiento amarillo, rojo y verde, respectivamente. Los valores obtenidos en este análisis indican que los pimientos de cada variedad presentaron sabores y aromas característicos del vegetal.

3.2. EFECTO DE LA DOSIS DE IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD POSCOSECHA DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO

Este experimento tuvo como propósito evaluar el efecto de las dosis de radiación: 250, 500, 750 y 1 000 Gy en tres variedades de pimiento, y determinar la dosis que preserve la calidad de los frutos. Para evaluar el efecto provocado por la radiación, se expusieron 4 grupos de pimientos (de 90 frutos cada uno), de cada variedad a cada una de las dosis mencionadas y adicionalmente un grupo que no se irradió. Durante los 14 días de almacenamiento a 20 °C y 80 % de HR se extrajeron 30 frutos a los días 0, 7 y 14, para realizar análisis físicos, químicos, visuales y sensoriales; y a continuación se presentan los resultados.

3.2.1. ANÁLISIS FÍSICOS

3.2.1.1. Firmeza

Se evaluó la firmeza de los pimientos de tres variedades y para cada dosis de irradiación durante los períodos de almacenamiento (0, 7 y 14 días a 20 °C). El análisis de los resultados mostró que la radiación gamma en pimiento produjo efectos significativos en la firmeza y que dependieron de la variedad; lo que coincide con lo expuesto por Lacroix (2000), quien afirma que los efectos producidos por la radiación varían con las especies, variedades y estado de madurez de las frutas y vegetales (p.720). A continuación se describen los efectos en cada variedad de pimiento, empezando por la variedad amarilla, en segundo lugar la variedad roja y finalmente la variedad verde.

Los resultados de firmeza de pimiento amarillo se analizaron estadísticamente, y el análisis de varianza (ANOVA) que se presenta en la Tabla 3.4, indica que tanto la

aplicación de radiación gamma como el tiempo de almacenamiento influyeron sobre la firmeza del vegetal ($p < 0,05$). Los gráficos de medias para el factor dosis de irradiación y el factor de bloqueo (tiempo de almacenamiento) se muestran en la Figura 3.1, y también comprueban que los dos factores tuvieron un efecto significativo sobre la firmeza.

Tabla 3.4. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la firmeza de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	f-ratio	p-value
Efectos principales					
Dosis de Radiación	7 556,53	4	1 889,13	7,70	0,0000
Tiempo de Almacenamiento	4 318,42	2	2 159,21	8,80	0,0002
Residual	108 668,00	443	245,301		
Total	120 543,00	449			

Durante el tiempo de almacenamiento los frutos de pimiento amarillo sufrieron pérdida de firmeza o ablandamiento, como se puede notar en la Figura 3.1 (b). La pérdida de firmeza es propia de los vegetales y es provocada por varios factores entre ellos la pérdida de agua, y la disolución de los componentes de la pared celular como la pectina y la hemicelulosa debido a la acción de las enzimas pectin esterasas (PE) y poligalturonasas (PG) que catalizan las reacciones de hidrólisis de sustancias pécticas (Bardui, 2006, p. 92; Parzanaze, 2009, p. 32).

Por otro lado, las dosis de radiación gamma provocaron un incremento de la firmeza, y fue significativo para las dosis de 500 y 750 Gy, como se observa en la Figura 3.1 (a). El incremento de firmeza de los pimientos amarillos tratados con radiación se podría explicar con una posible disminución de la actividad enzimática de las PE y PG; ya que la aplicación de la irradiación en productos vegetales genera especies altamente reactivas de oxígeno que originan estrés oxidativo y que afectan a la estabilidad de la pared y membrana celular; y en respuesta a éste efecto se origina el incremento o

disminución de la actividad enzimática (Rivera-Pastrana, Gardea, Martínez-Téllez, Rivera-Domínguez y González-Aguilar, 2007, p. 366, 367).

Un resultado similar reportó Trigo et al. (2006) en el cual nabo (*Brassica rapa*) irradiado a 500 Gy presentó mayor firmeza que el control y que las muestras irradiadas a dosis de hasta 1 000 Gy (p. 237).

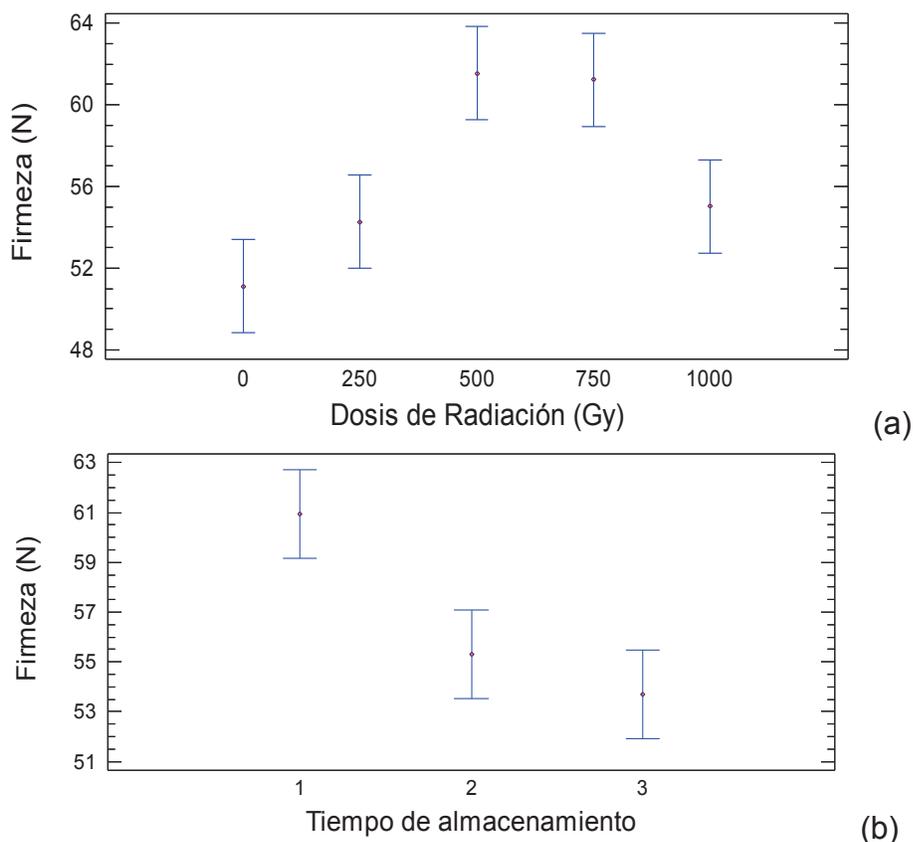


Figura 3.1. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la firmeza de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Para pimiento rojo se comprobó estadísticamente con la gráfica de medias que no existe diferencia significativa entre los tratamientos durante todo el período de almacenamiento.

En el análisis de varianza de los resultados de firmeza de pimiento verde que se muestra en la Tabla 3.5, se puede notar que la firmeza se vió influenciada principalmente por el tiempo de almacenamiento.

Tabla 3.5. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación para la firmeza de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	f-ratio	p-value
Efectos principales					
Dosis de Radiación	4 528,24	4	1 132,06	5,20	0,0004
Tiempo de Almacenamiento	8 288,84	2	4 144,42	19,03	0,0000
Residual	9 6452,90	443	217,73		
Total	10 9270,00	449			

Las dosis de radiación gamma disminuyeron significativamente la firmeza del pimiento verde, como se observa en la Figura 3.2. En investigaciones realizadas para otros vegetales se encontraron resultados similares a los presentados en esta investigación; así por ejemplo pepinillos (*Cucumis sativus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*) expuestos a dosis de radiación de 0,5 y 1 kGy sufrieron ablandamientos y este efecto se relacionó con cambios en los constituyentes pecticos (Arvanitoyannis, 2010, p. 500; Thomas, 2001, p. 231; Trigo et al., 2006, p. 237). Por lo tanto, se podría afirmar que la pérdida de firmeza del pimiento verde se atribuiría probablemente al incremento en la actividad enzimática de la PE y PG y a la ruptura de los enlaces de las sustancias pecticas que conforman la pared celular debido al estrés oxidativo provocado por la irradiación (Suárez, 2001, p. 13,14).

Además de los posibles cambios enzimáticos que se describieron; se podría también afirmar que los cambios de la firmeza en el pimiento (incremento de la firmeza en pimiento amarillo y disminución en la variedad verde) estarían principalmente relacionados con la alteración de los caminos de biosíntesis del vegetal y que dependieron del grado de madurez. Es así que en pimiento amarillo los procesos de biosíntesis pudieron haber sido frenados, y lo contrario en pimiento verde.

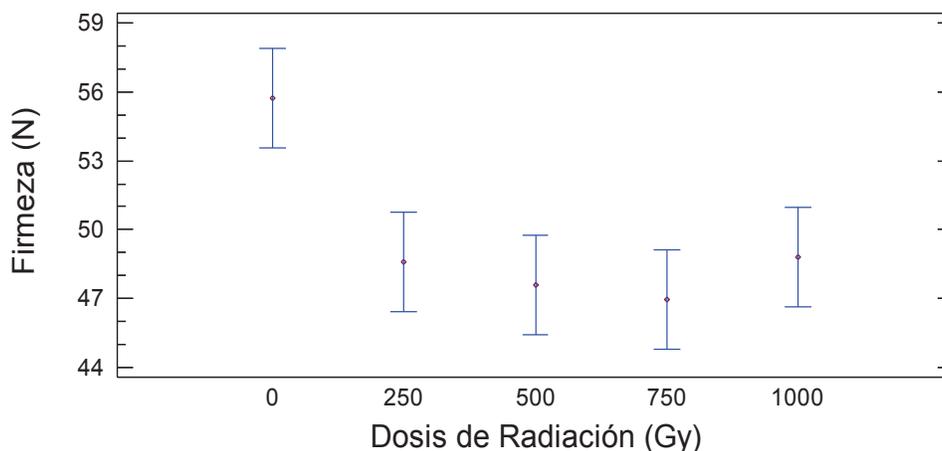


Figura 3.2. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la firmeza de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

3.2.1.2. Pérdida de Peso

Se analizó la pérdida de peso de tres variedades de pimiento después de 7 y 14 días de almacenamiento y los resultados obtenidos se analizan a continuación.

La pérdida de peso de pimiento fue analizada y se encontró que tanto el tiempo de almacenamiento como la radiación gamma produjeron efectos significativos, como se observa en la Figura 3.3. El análisis de varianza que se muestra en la Tabla 3.6 muestra que el tiempo de almacenamiento fue el factor que más influyó en esta variable.

Con la figura 3.3 (b) se comprobó el incremento de la pérdida de peso en relación al tiempo de almacenamiento. En los vegetales la pérdida de peso es causada principalmente por la pérdida de agua a través de los procesos de transpiración; y que además provoca la pérdida de firmeza (Ramana et al., 2011, p. 20).

Tabla 3.6. Tabla ANOVA del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	f-ratio	p-value
Efectos principales					
Dosis de Radiación	339,409	4	84,8522	29,45	0,0000
Tiempo de Almacenamiento	532,667	1	532,667	184,85	0,0000
Residual	847,205	294	2,88165		
Total	1 719,28	299			

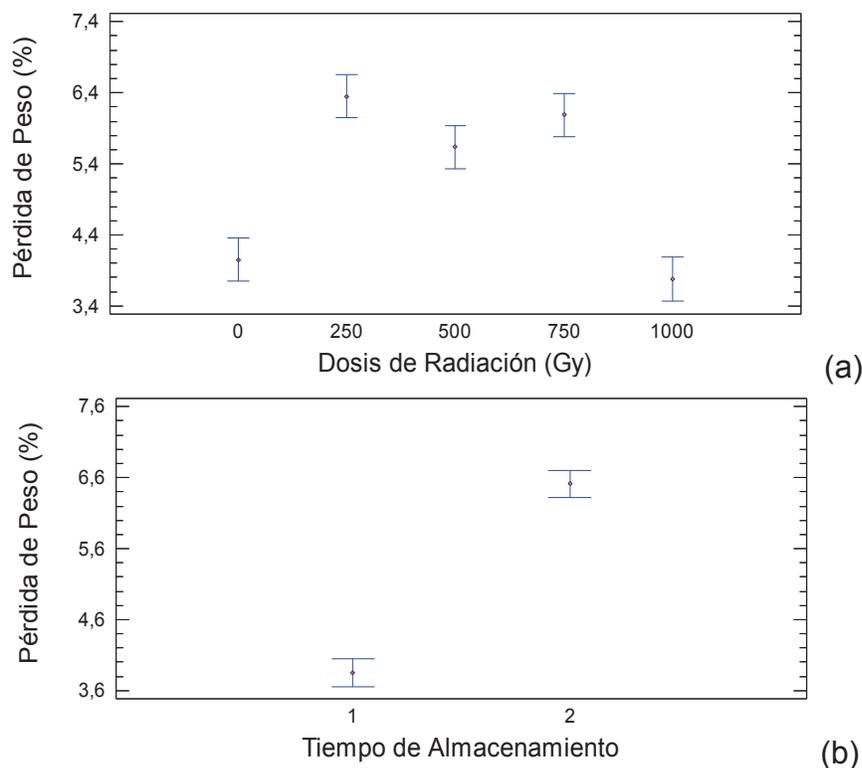


Figura 3.3. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la pérdida de peso de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Por otro lado, con las Figuras 3.3 (a), 3.4 y 3.5 se puede observar que el efecto de la radiación fue el mismo para los frutos amarillos, rojos y verdes; a dosis de 250, 500 y 750 Gy presentaron mayor pérdida de peso al compararlos con el control (0 Gy); mientras que la dosis de 1 000 Gy no difiere estadísticamente con el grupo no

irradiado ($p>0,05$). Se esperaba que la aplicación del tratamiento de irradiación provoque la disminución de pérdida de peso de los frutos al retardar los procesos metabólicos de maduración y senescencia (Lacroix, 2011, p. 500); sin embargo, únicamente la dosis de 1 000 Gy produjo este efecto con una reducción de hasta el 33%.

El incremento de la pérdida de peso de los frutos irradiados a 250, 500 y 750 Gy probablemente se debería a que los pimientos de estos grupos presentaron mayores daños de los parámetros visuales.

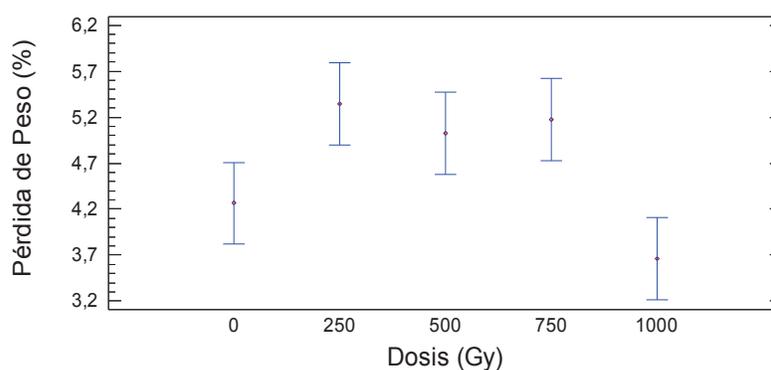


Figura 3.4. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR

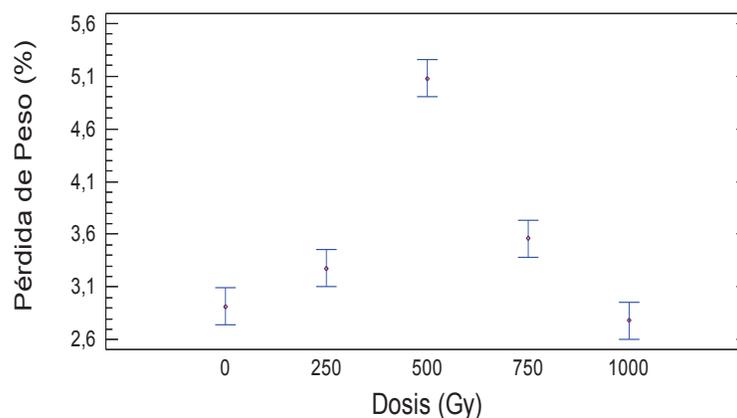


Figura 3.5. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la pérdida de peso de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR

3.2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados obtenidos de pH, acidez titulable y SST que se presentan a continuación fueron determinados a partir del jugo de seis pimientos de cada variedad y se realizaron 4 repeticiones.

3.2.2.1. Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Los valores de SST de las tres variedades de pimiento se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. SST de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Variedad	Días de almacenamiento	Dosis (Gy)				
		0	250	500	750	1 000
Pimiento Amarillo	0	9,08 ± 0,24	8,07 ± 0,30	8,33 ± 0,37	8,07 ± 0,24	8,25 ± 0,41
	7	8,17 ± 0,39	8,15 ± 0,31	8,13 ± 0,35	7,88 ± 0,48	7,92 ± 0,38
	14	7,93 ± 0,35	8,08 ± 0,20	8,40 ± 0,49	8,23 ± 0,23	8,57 ± 0,46
Pimiento Rojo	0	8,00 ± 0,25	7,57 ± 0,39	7,83 ± 0,43	7,73 ± 0,39	7,73 ± 0,27
	7	7,23 ± 0,37	7,50 ± 0,77	7,67 ± 0,48	7,33 ± 0,52	8,00 ± 0,32
	14	7,03 ± 0,20	7,23 ± 0,23	6,87 ± 0,41	7,23 ± 0,41	7,37 ± 0,50
Pimiento Verde	0	4,57 ± 0,45	4,53 ± 0,37	4,50 ± 0,55	4,67 ± 0,45	4,30 ± 0,39
	7	4,80 ± 0,18	4,10 ± 0,11	4,37 ± 0,34	4,17 ± 0,15	4,47 ± 0,30
	14	4,63 ± 0,34	4,43 ± 0,15	4,40 ± 0,36	4,30 ± 0,39	4,47 ± 0,27

$\bar{X} \pm \sigma$ (n=5)

En el proceso de maduración del pimiento; además del cambio de color verde a amarillo o rojo de los frutos, también los SST incrementan su valor debido al incremento de la degradación y biosíntesis de polisacáridos y a la acumulación de azúcares (Ghasemnezhad et al., 2011, p. 46). Esta aseveración, se demuestra con lo

reportado en la Tabla 3.7, ya que los frutos de pimiento verde presentan menor cantidad de SST que los frutos maduros (rojos o amarillos).

La irradiación no provocó cambios significativos en los SST de pimiento amarillo y rojo. Un comportamiento similar se encontró cuando tomates (*Solanum lycopersicum*) se irradiaron a dosis de hasta 3 kGy y almacenados a temperatura ambiente, el contenido de SST fue similar al control (Shurong, Meixu y Chuanyao, 2006, p. 99).

En pimiento verde los SST si fueron afectados significativamente por las dosis de radiación en estudio, como se muestra en la Figura 3.6. La prueba de rangos múltiples confirmó que existe diferencia significativa entre cada una de las dosis de radiación y el control. Este resultado permite inferir que la irradiación posiblemente habría causado la reducción de los procesos que convierten los polisacáridos en azúcares más simples como la glucosa y fructosa (Pradell, 2003, p. 12); además de ralentizar la respiración y la actividad metabólica, retardando los procesos de maduración (Ramana et al., 2011, p. 21). Sin embargo, este efecto no dependió de la dosis ya que entre dosis de radiación no existe diferencia significativa.

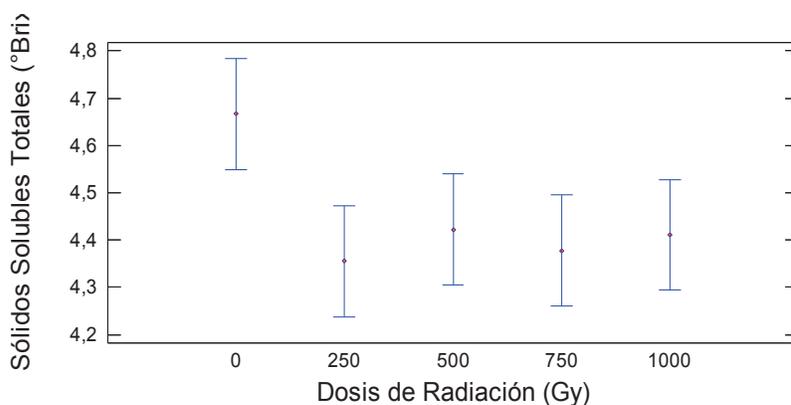


Figura 3.6. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para los SST de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80 % de HR

3.2.2.2. pH y Acidez Titulable

En la Tabla 3.8 y en la Tabla 3.9 se presentan los resultados de pH y acidez titulable de tres variedades de pimiento durante el almacenamiento después de ser expuestos a radiación gamma.

Tabla 3.8. pH de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Variedad	Días de almacenamiento	Dosis (Gy)				
		0	250	500	750	1 000
Pimiento Amarillo	0	5,03 ± 0,02	4,97 ± 0,08	4,97 ± 0,03	5,01 ± 0,10	4,94 ± 0,08
	7	5,06 ± 0,02	5,09 ± 0,21	5,02 ± 0,04	5,12 ± 0,23	5,14 ± 0,06
	14	4,99 ± 0,05	4,94 ± 0,05	4,96 ± 0,05	5,00 ± 0,04	5,11 ± 0,05
Pimiento Rojo	0	4,97 ± 0,04	4,88 ± 0,03	4,89 ± 0,03	4,86 ± 0,07	4,89 ± 0,04
	7	4,90 ± 0,07	5,00 ± 0,09	4,98 ± 0,07	4,91 ± 0,02	4,79 ± 0,38
	14	4,87 ± 0,02	5,02 ± 0,03	5,00 ± 0,10	5,11 ± 0,13	5,02 ± 0,04
Pimiento Verde	0	5,61 ± 0,37	5,56 ± 0,18	5,34 ± 0,14	5,79 ± 0,27	5,30 ± 0,50
	7	5,65 ± 0,19	5,46 ± 0,18	5,45 ± 0,12	5,60 ± 0,07	5,52 ± 0,15
	14	5,80 ± 0,39	5,53 ± 0,11	5,39 ± 0,10	5,44 ± 0,14	5,45 ± 0,11

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 5)

Tabla 3.9. Acidez Titulable de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Variedad	Días de almacenamiento	Dosis (Gy)				
		0	250	500	750	1 000
Pimiento Amarillo	0	0,31 ± 0,05	0,28 ± 0,07	0,29 ± 0,04	0,27 ± 0,05	0,26 ± 0,00
	7	0,29 ± 0,04	0,28 ± 0,03	0,29 ± 0,04	0,27 ± 0,03	0,28 ± 0,03
	14	0,28 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,29 ± 0,04	0,27 ± 0,05	0,27 ± 0,03
Pimiento Rojo	0	0,32 ± 0,05	0,26 ± 0,04	0,29 ± 0,05	0,30 ± 0,03	0,33 ± 0,04
	7	0,29 ± 0,04	0,28 ± 0,05	0,24 ± 0,03	0,25 ± 0,03	0,32 ± 0,03
	14	0,35 ± 0,04	0,33 ± 0,04	0,30 ± 0,03	0,37 ± 0,03	0,32 ± 0,03

Tabla 3.9. Acidez Titulable de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR (continuación...)

Pimiento Verde	0	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,03	0,14 ± 0,01	0,14 ± 0,03	0,16 ± 0,04
	7	0,16 ± 0,04	0,22 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,24 ± 0,05	0,25 ± 0,05
	14	0,20 ± 0,00	0,21 ± 0,05	0,21 ± 0,05	0,17 ± 0,03	0,23 ± 0,04

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 5)

De acuerdo a los resultados expuestos, los pimientos amarillos y rojos tuvieron menor pH pero mayor acidez titulable que los frutos verdes. Esta diferencia está relacionada con los procesos metabólicos de respiración que realiza el vegetal, en el que los compuestos carbonados son oxidados y durante este proceso se producen azúcares y ácidos orgánicos característicos (Mishra y Gamage, 2007, p. 27).

A continuación se describirán los efectos provocados por la radiación en el pH y acidez titulable de las tres variedades de pimiento; empezando por la variedad amarilla, roja y finalmente la variedad verde.

Los pimientos amarillos irradiados a dosis entre 250 a 1 000 Gy no registraron cambios estadísticamente significativos de pH y acidez titulable respecto al control durante los 14 días de almacenamiento.

El pH de los pimientos rojos irradiados no se vió afectado por las dosis de radiación en estudio, y aumentó durante el almacenamiento como se muestra en la Figura 3.7; pero si se generó cambios significativos en la acidez titulable provocada por la aplicación de radiación gamma como se observa en la Figura 3.8. Las dosis de 250 y 500 Gy tuvieron menor acidez titulable que el control, lo que indica un incremento en los cambios metabólicos que transforman ácidos orgánicos en dióxido de carbono y agua (Ramana et al., 2011, p. 21).

Los transformación de ácidos orgánicos en CO₂ y agua se dan dentro de los procesos de respiración del vegetal, es así que la disminución de ácidos permitiría inferir que los

frutos irradiados a 250 y 500 Gy tuvieron una mayor tasa de respiración y por tanto su deterioro fue más rápido (Mishra y Gamage, 2007, p. 27), lo cual concordaría con el incremento de pérdida de peso que se expuso anteriormente.

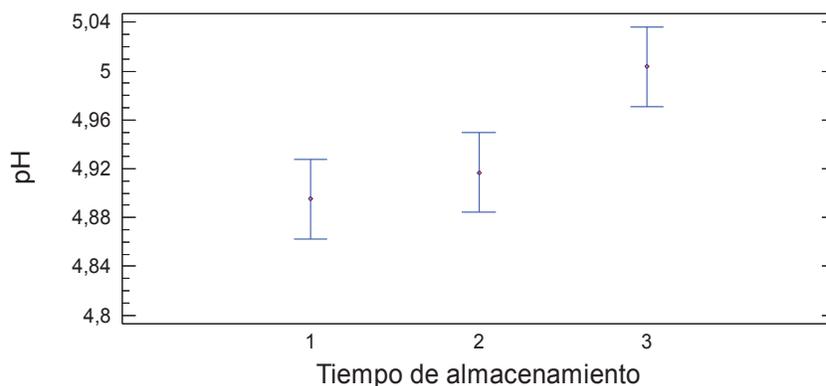


Figura 3.7. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tiempo de almacenamiento para el pH de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80% de HR

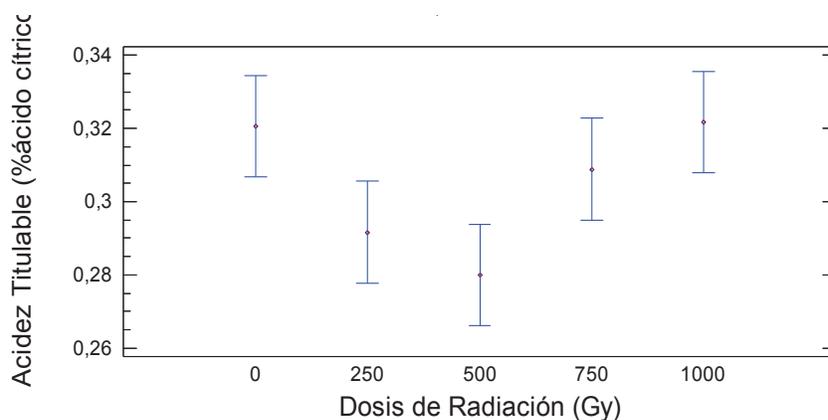


Figura 3.8. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la acidez titulable de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

En pimiento verde el pH fue reducido significativamente por las dosis de radiación de 250, 500 y 1 000 Gy tal y como se muestra en la Figura 3.9. Se habría esperado que la dosis de 750 Gy también presente una diferencia significativa con el control, esto se debió tal vez a la variabilidad en las propiedades de los frutos.

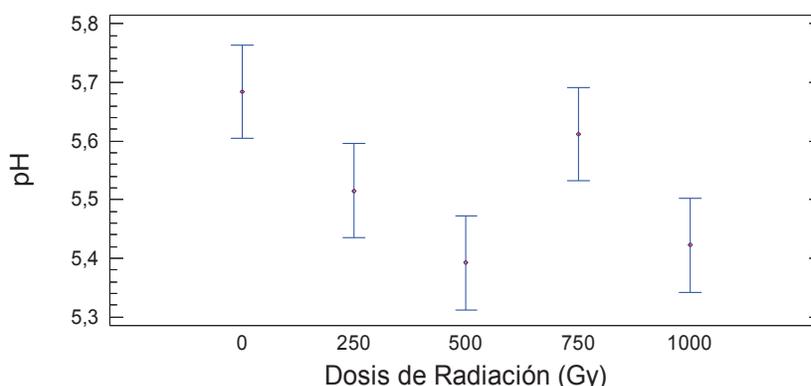


Figura 3.9. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el pH de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20°C y 80% de HR

La acidez titulable de los frutos verdes irradiados fue mayor que el control, aunque solo fue significativo para las dosis de 250 y 1 000 Gy, debido probablemente a la reducción de los procesos metabólicos que convierten polisacáridos en ácidos orgánicos (Ramana et al., 2011, p. 21). Se encontró también que el tiempo de almacenamiento fue el factor que más influyó en la acidez y se tuvo un incremento significativo como se muestra en la Figura 3.10 (b).

Ramana et al. (2011) estudió la aplicación de tratamientos poscosecha en pimientos dulces, y probó la inmersión de los frutos en varias concentraciones de ácido salicílico y cloruro de calcio y los almacenó durante 18 días a 25 °C. Encontró que el mejor tratamiento fue el cloruro ya que presentó los niveles más altos de acidez, menor pH y SST. Afirmó también que la reducción de SST y pH y el incremento de la acidez se debe probablemente al retardo de los procesos de maduración (p.21).

Con estos antecedentes y considerando que los resultados de pimiento verde mostraron que la irradiación redujo significativamente los SST y el pH, y el incremento de la acidez por las dosis de 250 y 1 000 Gy, se puede afirmar que las dosis de 250 y 1 000 Gy habrían retardado los procesos metabólicos durante el almacenamiento.

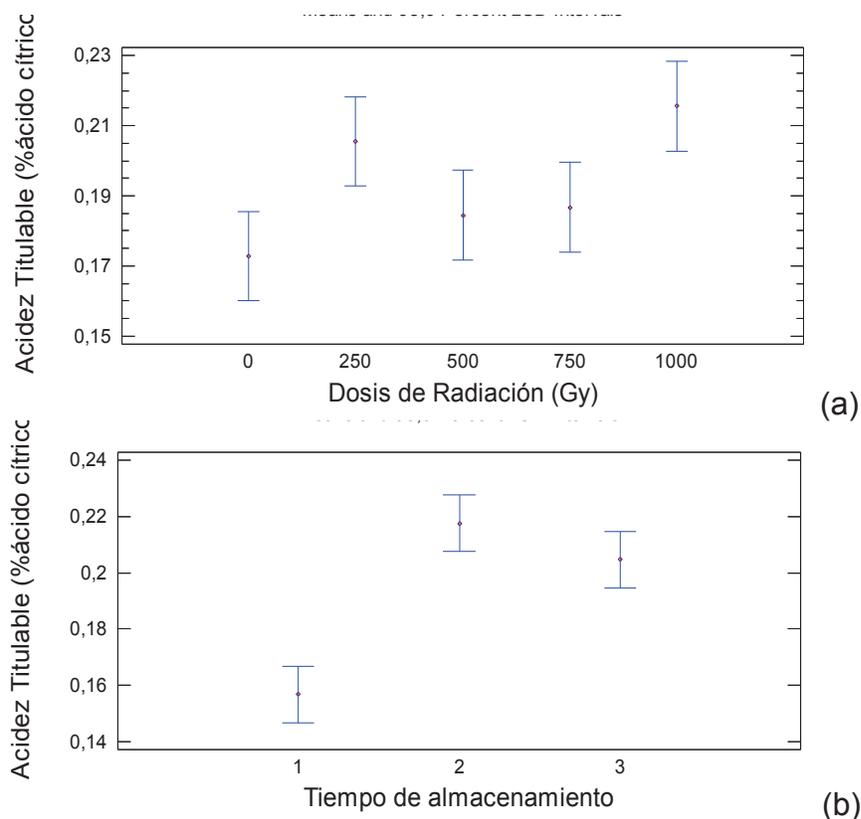


Figura 3.10. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la acidez titulable de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

3.2.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

A lo largo del experimento se determinó la calidad y apariencia de los pimientos con la escala de la Tabla 2.1; se evaluó turgencia, marchitez del pedúnculo, %patógenos, daños físicos y % coloración. Los resultados se muestran en las tablas del Anexo IX, y a continuación se analiza los efectos de cada parámetro, y de cada variedad de pimiento.

La turgencia de los pimientos amarillos disminuyó significativamente con el tiempo de almacenamiento, como se muestra en la Figura 3.11 (b). Los pimientos amarillos irradiados presentaron menor turgencia que el control como se observa en la

Figura 3.11 (a), pero solo las dosis de 250 y 500 Gy fueron estadísticamente diferentes, lo que concuerda con la mayor pérdida de peso que presentaron estos tratamientos; ya que la pérdida de turgencia del tejido vegetal resulta de la pérdida de agua (Parzanaze, 2009, p.33).

Las variedades de pimiento verde y rojo redujeron significativamente su turgencia durante el almacenamiento, pero la irradiación no alteró esta propiedad ($p > 0,05$).

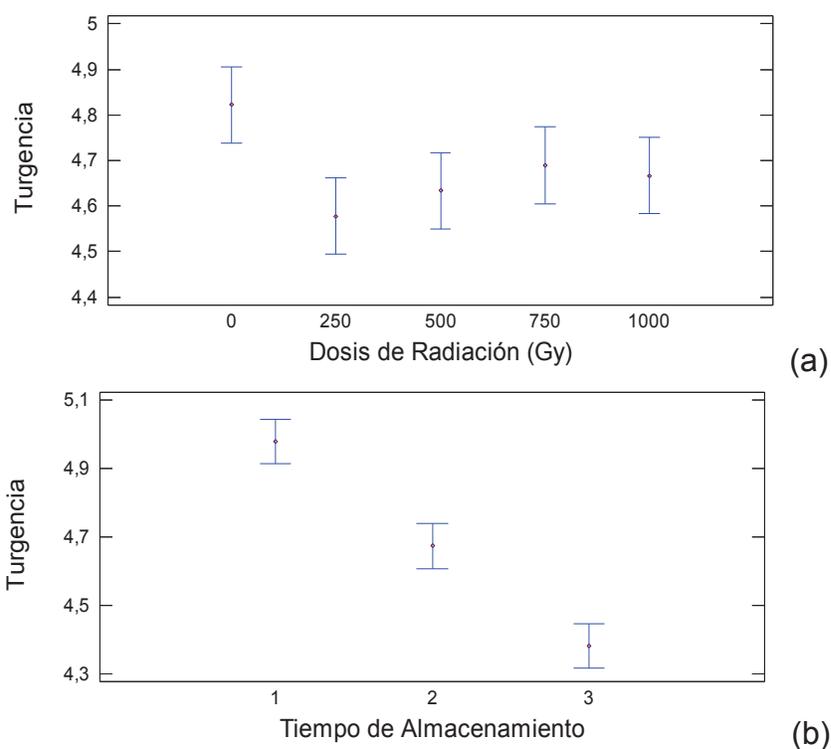


Figura 3.11. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para la turgencia de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

En la evaluación de la marchitez del pedúnculo, se encontró que durante el tiempo de almacenamiento se redujo significativamente ($p < 0,05$). La irradiación provocó que la marchitez del pedúnculo en pimiento amarillo sea mayor que el control como se muestra en la Figura 3.12, es probable que la irradiación hubiese ocasionado daños

en los tejidos que conforman el pedúnculo y que provocaron que la pérdida de agua sea mayor.

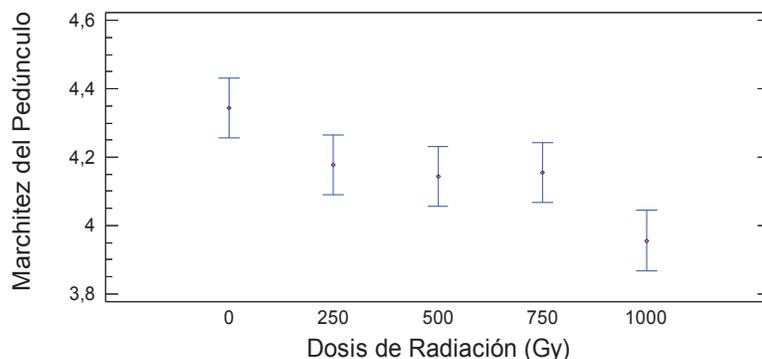


Figura 3.12. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación para la marchitez del pedúnculo de pimiento amarillo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Mientras que en la variedad roja, no se encontró diferencia significativa entre el control y los frutos irradiados para el parámetro marchitez del pedúnculo.

Los pimientos verdes presentaron diferencia significativa; los frutos que fueron irradiados a dosis de 750 Gy presentaron mayor marchitez que el control, tal y como se muestra en la Figura 3.13. Esta reducción estaría ligada a la pérdida de agua de los frutos irradiados, y por lo tanto relacionada con el incremento de la pérdida de peso de los frutos irradiados con respecto al control.

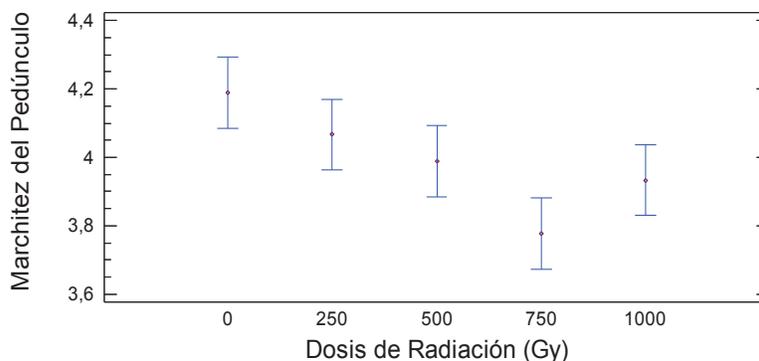


Figura 3.13. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la marchitez del pedúnculo de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

En % de patógenos, se observó una disminución significativa de este parámetro durante el período de almacenamiento, que indica que la presencia de patógenos incrementó conforme transcurrió el tiempo. Por otro lado, los frutos amarillos, rojos y verdes irradiados a dosis de 250, 500 y 750 Gy tuvieron una puntuación menor al control como se observa en la Figura 3.14, por lo tanto menor calidad. Sin embargo, en pimiento amarillo solo se tuvo diferencia significativa entre la dosis de 250 Gy y el control, en pimiento rojo entre 750 Gy y el control, y en pimiento verde no se tuvo diferencia significativa.

La dosis de 1 000 Gy y el control presentaron puntuaciones iguales, como se puede notar en la Figura 3.14. En pérdida de peso se encontró un comportamiento similar al de % de patógenos, las dosis de 250, 500 y 750 Gy incrementaron la pérdida de peso, mientras que la dosis de 1 000 Gy no tuvo diferencia respecto al control; por lo que se puede afirmar que el incremento de la pérdida de peso está relacionado a un mayor ataque de patógenos.

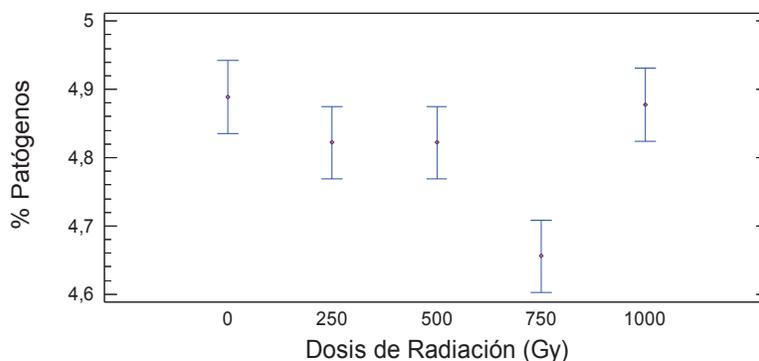


Figura 3.14. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el % de patógenos de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Durante el almacenamiento algunos patógenos afectaron la calidad del pimiento, se comparó las características estos microorganismos con las que se describen en algunas fuentes bibliográficas y se encontró que posiblemente se tuvo podredumbre húmeda, blanda y por alternaria; y que son causadas por los hongos *Rhizopus stolonife*, *Erwinia carotovora* y *Alternaria tenuis*, respectivamente (Suquilanda, 2003, p. 91-94).

En la Figura 3.15 se pueden observar algunas fotografías de estos patógenos. Además se encontró que fue “podredumbre gris” o “moho gris” causada por el hongo *Botrytis cinérea*, la que se presentó con mayor frecuencia y la que mayor daño produjo en el pimiento.

Mercier, Baka, Reddy, Corcuff y Arul (2001) reportaron que el deterioro microbiológico de pimiento que se produce durante el almacenamiento es provocado por hongos grises de *Botrytis cinérea*, y esta es la enfermedad fúngica más común (p. 128).

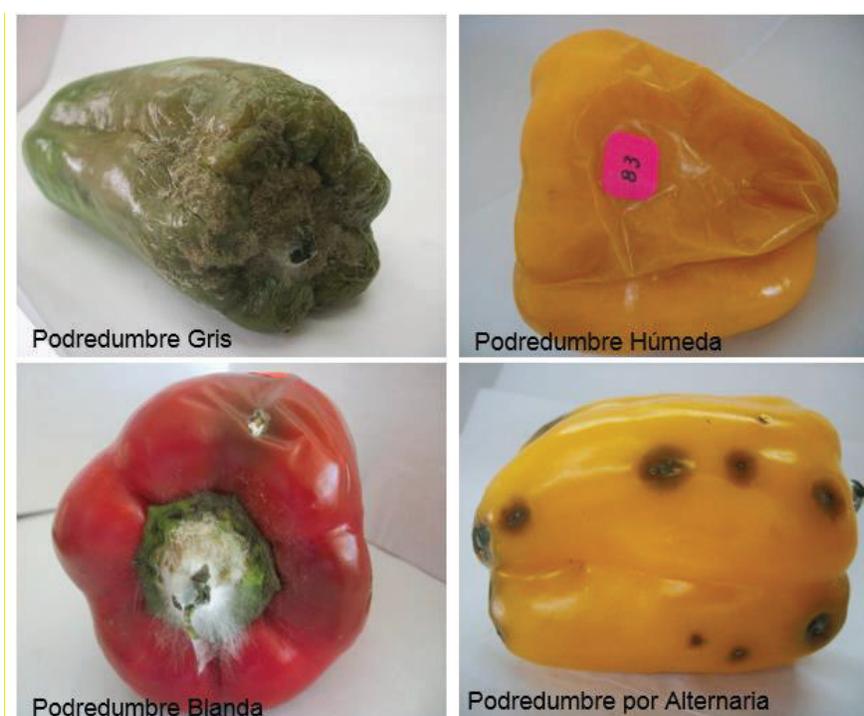


Figura 3.15. Daño Patológico en pimientos almacenados a 20 °C y 80 % de HR

Los hongos se presentaron tanto en los pimientos irradiados como en el control, por lo que se puede afirmar que la irradiación en las dosis aplicadas no eliminó estos microorganismos o que se tuvo algún tipo de recontaminación de los frutos irradiados con los no irradiados después de que se aplicó el tratamiento.

Los daños físicos de cada variedad presentaron diferencia estadística, y de igual manera que en los atributos ya descritos, se tuvo una reducción de esta propiedad durante el almacenamiento. Los pimientos amarillos y rojos irradiados no difirieron significativamente ($p>0,05$) con el control. Los daños físicos de la variedad verde si fueron afectados significativamente por las dosis de 500 y 750 Gy como se ve en la Figura 3.16. La presencia de mayores daños en frutos irradiados sería ocasionada por el debilitamiento de los tejidos del vegetal causados por la aplicación de radiación.

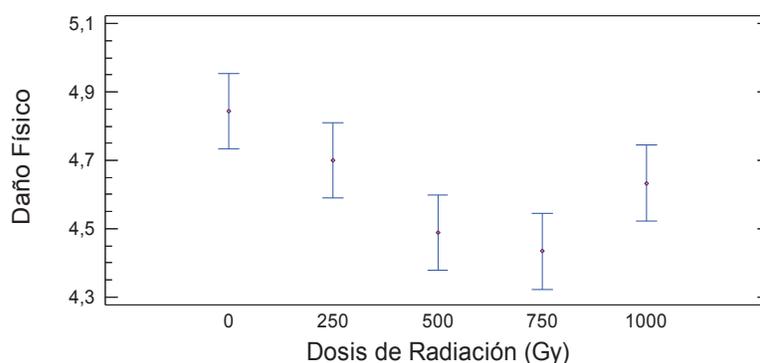


Figura 3.16. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el % de patógenos de pimiento verde irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Después de la irradiación se pudo identificar que las grietas en los lóbulos y ápices propios del vegetal, se intensificaron con la irradiación como se observa en la Figura 3.17; se debería a que la irradiación debilitó o provocó daños de los tejidos, permitiendo la pérdida de agua a través de las grietas y por tanto la marchitez en estas zonas.

Además, en la mayoría de los frutos los hongos atacaron desde el pedúnculo hacia el inicio de los lóbulos y en el ápice, es así que la intensificación de las grietas y los daños en el pedúnculo contribuyeron a la proliferación de patógenos. Por lo que la reducción de los parámetros de calidad visual debido a la aplicación de irradiación están relacionados entre sí, y es por ésta razón que los frutos irradiados a las dosis de 250, 500 y 750 Gy obtuvieron menores puntuaciones en cada parámetro, y provocó que éstas dosis presenten incrementos en la pérdida de peso comparados con el control.

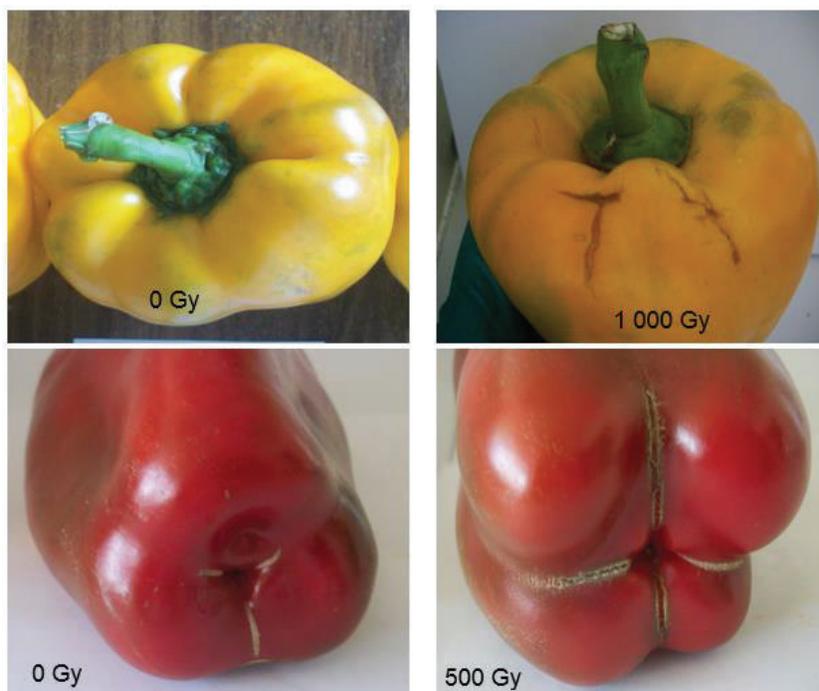


Figura 3.17. Profundización de grietas y marchitez del pedúnculo de pimientos almacenados a 20 °C y 80 % de HR

El estudio estadístico para % de coloración durante el almacenamiento mostró que existe diferencia significativa ($p < 0,05$) en pimientos amarillos y rojos, este parámetro incrementó durante los 14 días de almacenamiento como se observa en la Figura 3.18 (b). Este incremento es un indicador del progreso de los procesos de maduración. El factor dosis de radiación no fue significativo para los frutos de pimiento amarillo, a pesar de que los frutos irradiados presentaron mayor evaluación en cuanto a este parámetro se refiere.

Con la figura 3.18 (a) se comprueba que la radiación afectó significativamente el % de coloración de los frutos rojos, aquellos pimientos irradiados entre 250 a 750 Gy tuvieron mayor % de coloración que el control lo que indicaría que los procesos de maduración fueron acelerados. Además este comportamiento está relacionado con el incremento de la pérdida de peso provocada por estas dosis de radiación, ya que durante la maduración los componentes del vegetal son usados como fuente de

energía y transformados mediante reacciones complejas en CO₂ y agua generando la pérdida de peso del vegetal (Mishra y Gamage, 2007, p. 27).

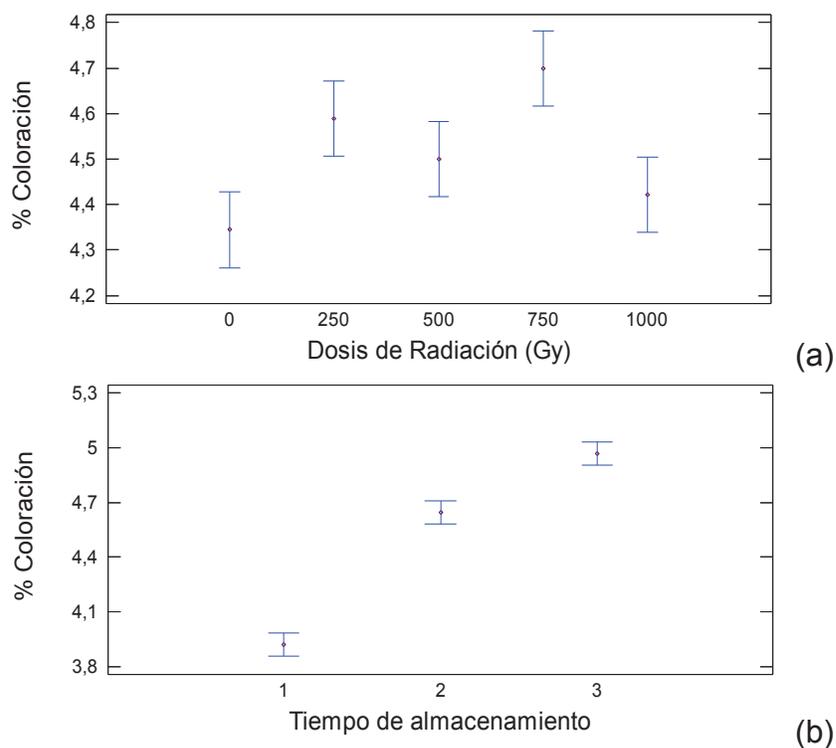


Figura 3.18. Gráfico de medias e intervalos LSD de los factores dosis de radiación y tiempo de almacenamiento para el % de coloración de pimiento rojo irradiado entre dosis de 0 a 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

3.2.4. CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

Se realizó la evaluación sensorial global de los pimientos de tres variedades de cada uno de los tratamientos con la escala de la Tabla 2.3. A continuación en la Tabla 3.10 se muestran los valores promedios obtenidos.

Tabla 3.10. Calidad Sensorial Global de tres variedades de pimiento irradiados a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Variedad	Días de almacenamiento	Dosis (Gy)				
		0	250	500	750	1 000
Pimiento Amarillo	0	3,90 ± 0,31	3,93 ± 0,25	3,83 ± 0,38	3,77 ± 0,43	3,90 ± 0,31
	7	3,63 ± 0,61	3,67 ± 0,71	3,60 ± 0,72	3,77 ± 0,63	3,63 ± 0,61
	14	3,40 ± 0,86	3,73 ± 0,78	3,73 ± 0,64	3,53 ± 0,68	3,40 ± 0,86
Pimiento Rojo	0	4,00 ± 0,00	3,87 ± 0,35	3,97 ± 0,18	4,00 ± 0,00	3,93 ± 0,25
	7	3,63 ± 0,93	3,87 ± 0,35	3,87 ± 0,35	3,73 ± 0,52	3,77 ± 0,50
	14	3,38 ± 1,05	3,40 ± 0,89	3,03 ± 0,93	2,73 ± 1,20	3,28 ± 0,88
Pimiento Verde	0	3,93 ± 0,25	3,90 ± 0,31	3,80 ± 0,41	3,87 ± 0,43	3,87 ± 0,35
	7	3,90 ± 0,31	3,97 ± 0,18	3,93 ± 0,25	3,83 ± 0,46	3,77 ± 0,63
	14	3,73 ± 0,58	3,63 ± 0,72	3,43 ± 0,90	3,13 ± 1,22	3,43 ± 0,90

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

Para cada variedad y para cada tratamiento, los valores al día 0 de almacenamiento muestran que los pimientos tuvieron sabor y aroma propios del vegetal, mientras que durante los 7 y 14 días presentaron alteraciones leves a moderadas. Con el análisis estadístico se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0,05$) para el factor dosis de radiación. Es así que se puede afirmar que la irradiación no produjo cambios en el sabor y aroma de los frutos, y que las alteraciones provocadas durante el almacenamiento serían ocasionadas por los procesos naturales de descomposición.

De acuerdo a Rossi et al. (2009) justo después de que la fruta o vegetal haya sido irradiado se generan olores y sabores típicos que van desapareciendo en el almacenamiento (p. 320). En esta investigación no se identificó ningún olor y sabor típico ya que las dosis aplicadas al pimiento son relativamente bajas, y el efecto descrito se produce a dosis entre 1 y 10 kGy.

Los efectos encontrados en este experimento fueron variados y dependieron significativamente de la variedad de pimiento. Sin embargo en cada una de estas

propiedades se encontró que la dosis de 1 000 Gy mejoró y/o mantuvo los atributos de calidad físicos, químicos, visuales y sensoriales; además, uno de los factores comerciales más importantes es la pérdida de peso de los productos vegetales y fue la dosis de 1 000 Gy la que redujo este parámetro. Por lo tanto, se decidió que la dosis que preservó de mejor manera a cada variedad de pimiento fue la de 1 000 Gy. Un resultado similar se obtuvo al estudiar el efecto de las dosis de radiación en tomate cherry, donde se indicó que las dosis que preservaban de mejor manera el vegetal estaban entre 1 000 a 1 500 Gy (Shurong, Meixu y Chuanyao, 2006, p. 100).

3.3. EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE IRRADIACIÓN GAMMA Y ALMACENAMIENTO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA EN LA EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO

Para determinar el efecto de la combinación de irradiación gamma y el almacenamiento bajo condiciones controladas en la vida útil de pimiento se prepararon 120 bandejas de cada variedad. A 60 bandejas de cada variedad se les irradió a la dosis seleccionada en el estudio anterior (1 000 Gy) mientras que las otras 60 bandejas no se irradiaron. Se almacenó todas las bandejas en una cámara de refrigeración a 8° C y 95 % de HR durante 28 días. Cada 7 días se retiraron 12 bandejas de cada tratamiento para evaluar la calidad de los frutos, realizando pruebas físicas, químicas, visuales y sensoriales, antes ya descritas en el segundo capítulo.

3.3.1. ANÁLISIS FÍSICOS

3.3.1.1. Pérdida de Peso

Entre los efectos provocados por la irradiación de frutas y vegetales está la disminución o retraso de los procesos metabólicos de senescencia y como evidencia de este efecto se tiene la reducción de la pérdida de peso. En esta investigación se logró disminuir la pérdida de peso de las tres variedades de pimiento debido a la aplicación de irradiación; en pimiento amarillo las reducciones obtenidas respecto al control fueron de hasta el 2,81%. Para pimiento rojo fue de 13,73 %, 8,65 %, 7,57 % y 6,31 % para los 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento respectivamente; para la variedad verde fue de 4,44 %, 7,07 %, 8,52 % y 50,80%. De acuerdo a estos porcentajes, se puede notar que el efecto fue mayor para pimiento rojo y verde.

Del análisis estadístico se obtuvo el ANOVA que se presenta en la Tabla 3.11, la cual indica que el tiempo de almacenamiento fue el factor que más influyó sobre la pérdida de peso. Mientras que la aplicación del tratamiento de irradiación no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable en las tres variedades de pimiento.

Tabla 3.11. Tabla ANOVA del factor irradiación para la pérdida de peso de pimiento rojo almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	f-ratio	p-value
Efectos principales					
Irradiación	0,340605	1	0,340605	1,64	0,2047
Tiempo de Almacenamiento	26,982	3	8,99401	43,23	0,0000
Residual	15,6033	75	0,208045		
Total	42,926	79			

La refrigeración y el empaque en atmósfera modificada tuvo una elevada contribución en la reducción de la pérdida de peso; ya que en este experimento se registró pérdidas

de peso mucho menores a las que se tuvo en el estudio de dosis de irradiación en el que los pimientos se almacenaron a 20°C y 80 % de HR y sin ser empacados.

Cuando los vegetales se almacenan bajo condiciones de temperaturas bajas y mayores a las de congelación, las enzimas que catalizan reacciones de deterioro son inactivadas, la tasa de respiración del vegetal se reduce y la actividad metabólica es menor (Parzanaze, 2009, p.34). La refrigeración junto con el empaque en atmósferas modificadas tienen un efecto sinérgico que contribuye en la disminución de la pérdida de peso (Artés, 2006, p. 64). En el estudio realizado por Kehr (2002) se encontró diferencias significativas entre el uso de empaques con películas plásticas de PVC y únicamente el almacenamiento en frío de pimiento, siendo los pimientos empacados los que menor pérdida de peso registraron. El efecto beneficioso de la película plástica de PVC en pimiento se debe a que retrasa el deterioro fisiológico, incrementa la humedad, reduce el O₂ y acumula el CO₂ en la envoltura que contribuye a la inhibición del crecimiento microbiano (p.9).

Se estima que cuando se tiene un 7% de pérdida de peso, el deterioro de los pimientos es tal que se hace imposible su comercialización (Fernández et al., 2000, p. 15). Si se considera esta afirmación, se puede decir que los pimientos de las tres variedades hasta los 28 días serían aptos para ser comercializados; sin embargo esta no es la única variable a considerarse y es necesario el análisis de las propiedades que a continuación se detallan.

3.3.1.2. Firmeza

La firmeza de las tres variedades de pimiento fueron reducidas significativamente durante el tiempo de almacenamiento, y fue este factor el que más influyó sobre esta propiedad. Mientras que la irradiación causó que los pimientos redujeran su firmeza en cada período de almacenamiento; pero únicamente se encontró diferencia significativa en los frutos de la variedad amarilla, tal como se puede ver en la

Figura 3.19. La prueba de contrastes múltiples confirmó que existe diferencia significativa entre los frutos irradiados y sin irradiar.

Entre los cambios más importantes que se han encontrado debido a la irradiación están las alteraciones en la textura, firmeza y apariencia de los alimentos; dosis entre 1-3 kGy pueden acelerar el ablandamiento del vegetal incluso provocando que el producto no pueda ser comercializado (Pradell, 2003, p. 18). En la mayoría de las investigaciones al igual que en este estudio, se ha encontrado una disminución de firmeza con la irradiación, por ejemplo, tomates cherry (*Solanum lycopersicum L.*) irradiados a dosis de 1,5 y 3 kGy tuvieron una reducción significativa de firmeza (Horak, Adeil, Malvicini, Narvaiz, González y Kairiyama, 2006, p. 33). Así como también Thomas (2001) reportó disminución de firmeza en varias frutas como la frutilla (*Fragaria vesca*) (p. 226). Los efectos sobre la firmeza son ocasionados por el acortamiento de las cadenas grandes de polisacáridos, la degradación del almidón y de la celulosa en azúcares simples, y la formación de ácidos, cetonas y otros a partir de los monosacáridos (Maraver et al., 2007, p. 9).

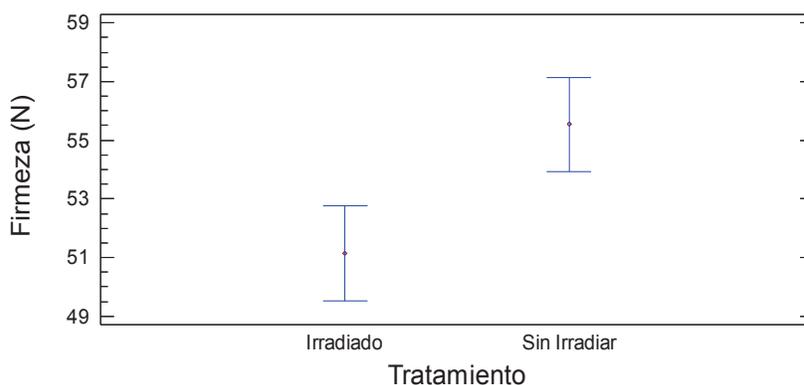


Figura 3.19. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para la firmeza de pimiento amarillo almacenado hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

3.3.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

3.3.2.1. Sólidos Solubles Totales (°Brix), Acidez Titulable y pH

La cantidad de sólidos solubles, acidez y pH de las tres variedades almacenados bajo condiciones de refrigeración se muestran en las Tabla 3.12, 3.13 y 3.14.

Tabla 3.12. Sólidos Solubles Totales de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Variedad	Tratamiento	Días de almacenamiento (días)			
		7	14	21	28
Pimiento Amarillo	Irradiado	7,48 ± 0,48	5,72 ± 0,46	6,80 ± 0,60	6,52 ± 0,52
	Sin Irradiar	7,36 ± 0,64	6,56 ± 0,59	6,92 ± 0,73	6,52 ± 0,41
Pimiento Rojo	Irradiado	7,32 ± 0,23	7,12 ± 0,91	7,04 ± 0,17	6,80 ± 0,42
	Sin Irradiar	7,04 ± 0,52	6,76 ± 0,30	6,92 ± 0,41	6,08 ± 0,18
Pimiento Verde	Irradiado	4,08 ± 0,23	4,08 ± 0,23	4,20 ± 0,47	4,08 ± 0,41
	Sin Irradiar	4,28 ± 0,23	4,32 ± 0,41	4,04 ± 0,26	4,16 ± 0,52

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 5)

Tabla 3.13. pH de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Variedad	Tratamiento	Días de almacenamiento (días)			
		7	14	21	28
Pimiento Amarillo	Irradiado	4,90 ± 0,08	5,00 ± 0,08	4,95 ± 0,25	4,52 ± 0,15
	Sin Irradiar	4,94 ± 0,02	4,91 ± 0,04	4,85 ± 0,17	4,67 ± 0,16
Pimiento Rojo	Irradiado	4,64 ± 0,04	4,80 ± 0,06	4,74 ± 0,12	4,69 ± 0,10
	Sin Irradiar	4,74 ± 0,05	4,79 ± 0,03	4,76 ± 0,03	4,42 ± 0,10
Pimiento Verde	Irradiado	5,27 ± 0,13	5,30 ± 0,13	5,42 ± 0,07	5,16 ± 0,30
	Sin Irradiar	5,58 ± 0,16	5,45 ± 0,08	5,74 ± 0,33	5,38 ± 0,23

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 5)

Tabla 3.14. Acidez Titulable de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Variedad	Tratamiento	Días de almacenamiento (días)			
		7	14	21	28
Pimiento Amarillo	Irradiado	0,35 ± 0,02	0,31 ± 0,04	0,33 ± 0,04	0,39 ± 0,05
	Sin Irradiar	0,33 ± 0,05	0,35 ± 0,04	0,33 ± 0,04	0,37 ± 0,02
Pimiento Rojo	Irradiado	0,43 ± 0,05	0,39 ± 0,03	0,37 ± 0,04	0,37 ± 0,04
	Sin Irradiar	0,41 ± 0,06	0,38 ± 0,02	0,38 ± 0,03	0,40 ± 0,04
Pimiento Verde	Irradiado	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,19 ± 0,03
	Sin Irradiar	0,15 ± 0,03	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,13 ± 0,02

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 5)

Con los valores presentados en las tablas anteriores, se realizó el estudio estadístico para determinar el efecto de la irradiación en las tres variedades de pimiento. Los resultados fueron variados, por lo que a continuación se discutirá por separado los efectos en cada variedad.

Las propiedades químicas del pimiento amarillo no tuvieron diferencias significativas en cuanto a la variable irradiación, fue el tiempo de almacenamiento el que si influyó sobre el pH, °Brix y acidez titulable.

En pimiento rojo, el pH y la acidez titulable no cambiaron significativamente con respecto a la irradiación pero si con respecto al tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$). Los sólidos solubles totales si fueron alterados por la irradiación, los frutos irradiados presentaron mayor SST como se observa en la Figura 3.20. Este resultado también obtuvo Shurong et al. (2006) cuando irradió tomates (*Solanum lycopersicum*) a dosis de hasta 2 kGy y los almacenó en refrigeración (p.99). El incremento de los SST es un proceso normal que se da durante la senescencia de las frutas y vegetales, y que por tanto su incremento debido a la aplicación de la irradiación permite afirmar que los procesos de senescencia fueron acelerados (Ramana et al., 2011, p. 21).

Para la variedad verde, no existió diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en el contenido de SST durante todo el período de almacenamiento, a pesar de que las muestras irradiadas tuvieron menor contenido de SST. Este resultado coincide con la investigación realizada por Trigo et al. (2006) en la que encontró que las dosis de radiación de hasta 2 kGy no afectaron los °Brix de cilantro (*Coriandrum sativum*), lechuga (*Lactuca sativa*), perejil (*Petroselinum crispum*), berro (*Nasturtium officinale*), nabo (*Brassica rapa*) así como también de melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus lanatus*) (p. 237).

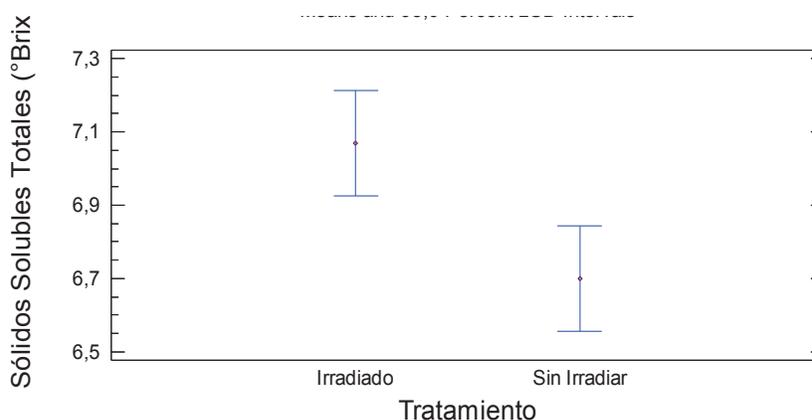


Figura 3.20. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para los SST de pimienta roja almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

El pH y la acidez titulable fueron afectados por la irradiación y el tiempo de almacenamiento, el efecto de la irradiación fue mayor que el provocado por el tiempo de almacenamiento como se muestra en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Tabla ANOVA del factor irradiación para la acidez titulable de pimienta verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	f-ratio	p-value
Irradiación	0,0112225	1	0,0112225	24,51	0,0000
Tiempo de Almacenamiento	0,0040275	3	0,0013425	2,93	0,0470
Residual	0,0160275	35	0,000457929		
Total	0,0312775	39			

La acidez titulable del pimiento verde irradiado fue significativamente mayor durante todo el almacenamiento ($p < 0,05$), como se representa en la Figura 3.21. Mientras que el pH también tuvo diferencia significativa, y los frutos irradiados tuvieron menor pH que los no irradiados como se observa en la Figura 3.22.

Considerando que el pH y la acidez titulable son índices químicos del progreso de senescencia y que el grupo de pimiento verde irradiado presentó menor pH y mayor acidez titulable, se puede deducir que el proceso de senescencia en esta variedad fue más lento que el control; por tanto la irradiación retardó la actividad metabólica.

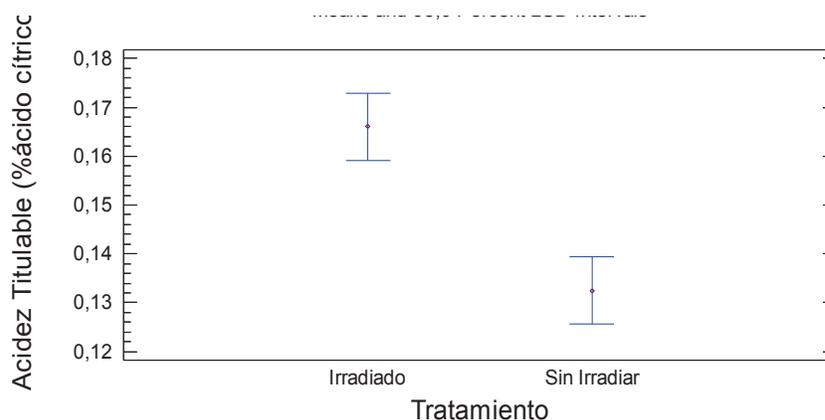


Figura 3.21. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para la acidez titulable de pimiento verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

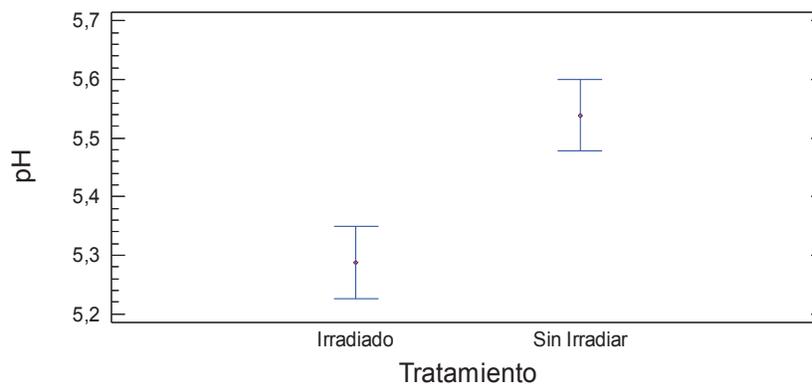


Figura 3.22. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor irradiación para el pH de pimiento verde almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

3.3.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Se analizó la apariencia de pimiento durante 28 días de almacenamiento bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Los parámetros que se evaluaron fueron turgencia, marchitez del pedúnculo, % patógenos y daño físico. La escala empleada en la valoración consta en la Tabla 2.1, donde el valor de 5 es el puntaje más alto que indica que no se tuvo daño. Los resultados se muestran en las tablas del Anexo XI.

La turgencia del pimiento amarillo, rojo y verde se mantuvo entre valores de 5 a 4 para los dos tratamientos hasta los 28 días de almacenamiento, que indican que los frutos estuvieron frescos a ligeramente secos. Para la tres variedades la turgencia fue la misma en frutos irradiados y no irradiados ($p>0,05$), y solo el tiempo de almacenamiento provocó reducciones significativas de este parámetro.

La puntuación de marchitez del pedúnculo en promedio disminuyó desde 4 hasta 3 después de 28 días como muestra la Figura 3.23 (b), es decir que se tuvo daños discretos a moderados. De acuerdo a los resultados, la irradiación disminuyó la marchitez del pedúnculo de pimiento amarillo, rojo y verde; ya que para cada variedad y en cada período de almacenamiento la puntuación fue menor para aquellos que no fueron irradiados. Además se encontró diferencia significativa ($p<0,05$) en las tres variedades como la Figura 3.23 (a). Es posible que la irradiación haya provocado que la rapidez con la que los tejidos del pedúnculo pierden agua se haya reducido y por tanto que la marchitez sea menor.

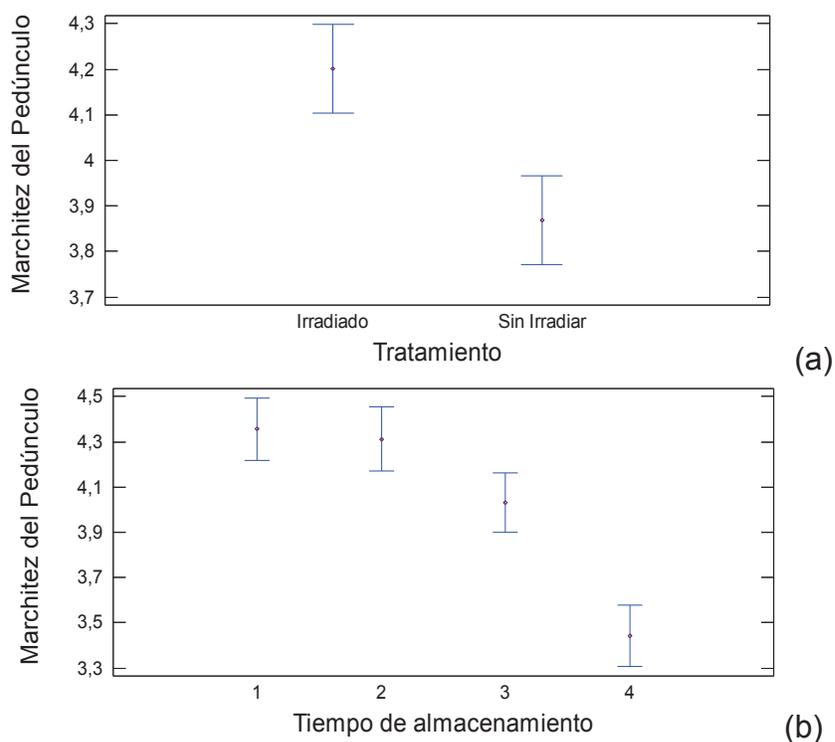


Figura 3.23. Gráfico de medias e intervalos LSD para marchitez del pedúnculo de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

La evaluación de % patógenos mostró que durante el almacenamiento este parámetro disminuyó (Figura 3.24 b). El 20 % del total de los pimientos tuvieron puntajes de 4, que indica que hasta el 20 % de su superficie total estaba cubierta por patógenos. En las tres variedades, los frutos irradiados tuvieron mejor puntuación que aquellos que no fueron irradiados, solo se tuvo diferencia significativa en las variedades de pimiento rojo y verde como se nota en la Figura 3.24 (a). Este resultado indicaría que la irradiación afectó el desarrollo de los patógenos al inhibir sus funciones metabólicas.

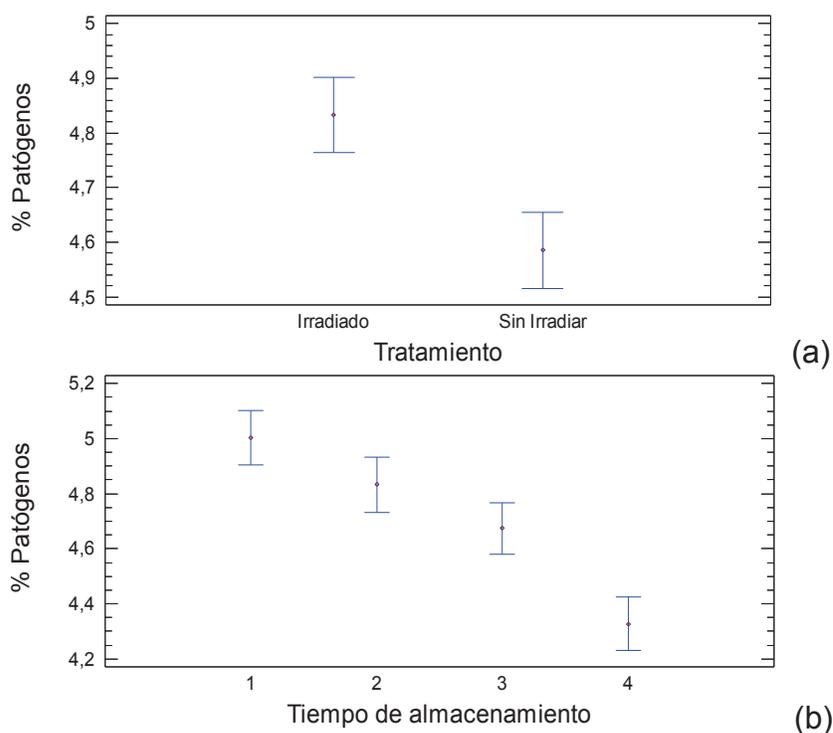


Figura 3.24. Gráfico de medias e intervalos LSD para % patógenos de pimiento verde irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

El patógeno que se encontró nuevamente durante el almacenamiento fue podredumbre gris o moho gris (*Botrytis cinérea*), y como evidencia de la presencia de este patógeno se encontró formaciones compactas duras de color negro de 1 a 15 mm conocidas como esclerocios de *botrytis*, como se observa en la Figura 3.25. Los esclerocios son los micelios del hongo, son inóculos y por tanto son capaces de contaminar los pimientos que estén en contacto.



Figura 3.25. Formación de esclerocios de *Botrytis cinérea*

El moho gris estuvo presente tanto en frutos sin irradiar como en aquellos que fueron irradiados. Las frutillas (*Fragaria vesca L.*) son frecuentemente atacadas por el hongo *botrytis*, la irradiación de esta fruta con dosis de 2 a 4 kGy y el almacenamiento refrigerado logró extender su vida útil debido a la eliminación de este hongo (Suarez, 2001, p. 17). Jung (2014) demostró que la dosis de 1 000 Gy no tiene actividad antifúngica sobre *botrytis*, dosis de 2 000 Gy provoca el 25 % de la inhibición del crecimiento, mientras que la irradiación a 4 000 Gy produjo el 100 % de inhibición (p.14-16). Por lo tanto la irradiación a dosis de 1 000 Gy no fue suficiente para eliminar la carga microbiana que tuvo la materia prima desde el cultivo.

Los frutos de pimiento presentaron daños físicos discretos a moderados, y para cada variedad los puntajes para este parámetro fueron mayores para pimiento irradiado. Únicamente en la variedad roja se tuvo diferencia significativa de acuerdo a la Figura 3.26; además la prueba de contrastes múltiples ratificó que si hay diferencia.

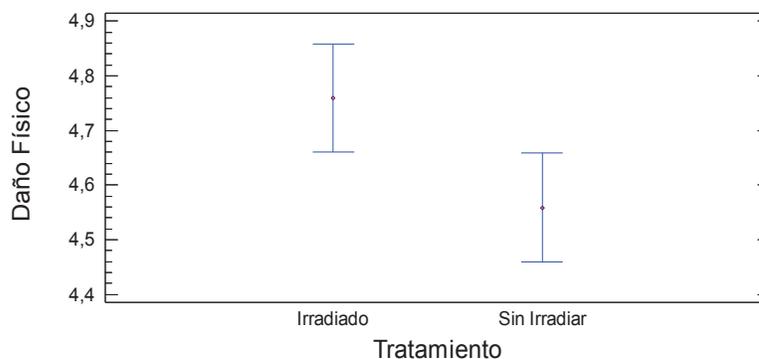


Figura 3.26. Gráfico de medias e intervalos LSD para daño físico de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

El porcentaje de coloración de los frutos amarillos en promedio fue de 4,1 para el inicio del experimento y 4,8 luego de 28 días; para pimiento rojo de 4,3 y 4,9. Estos valores indican que durante el almacenamiento el color de los frutos fue incrementándose, lo cual indica el progreso de la maduración durante el almacenamiento. La irradiación no provocó un incremento en el desarrollo de color amarillo y rojo en los frutos; Thomas

(2001) también señaló que el desarrollo de color en frutos irradiados no se ve afectado por la radiación (p. 224).

A continuación, en la Tabla 3.16 se resume la evaluación final de la calidad visual de las tres variedades de pimiento, que se obtuvieron a partir de los valores de índices de calidad calculados con la ecuación [2.2]. En los dos primeros períodos de almacenamiento (7 y 14 días) presentaron calidad A, mantiene características iniciales; a partir de los 21 días de almacenamiento ya se tiene deterioro de calidad, y a los 28 días la marchitez del pedúnculo indica que los frutos sin irradiar son no comerciables.

Tabla 3.16. Evaluación de calidad visual de tres variedades de pimiento irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Atributo	Días de almacenamiento	Pimiento amarillo		Pimiento Rojo		Pimiento verde	
		I	SI	I	SI	I	SI
Turgencia	21	A	A	A	A	A	A
	28	A	A	A	A	A	A
Marchitez del Pedúnculo	21	B	B	A	B	A	A
	28	B	C	B	C	B	B
% Patógenos	21	A	A	A	A	A	A
	28	A	B	A	B	A	A
Daño Físico	21	A	A	A	A	A	A
	28	A	B	A	B	A	B

I = Irradiado; SI = Sin Irradiar

A = Mantiene características propias del vegetal

B = Es apto para el consumo pero presenta deterioro

C = No comerciable

La calidad visual del pimiento fue el principal parámetro que limitó el tiempo de vida del vegetal, especialmente marchitez del pedúnculo, % patógenos y daños físicos. El tratamiento de irradiación mejoró estos parámetros comparados con el grupo sin irradiar, por ejemplo el pimiento amarillo y rojo sin irradiar fueron no comerciables al final del almacenamiento, mientras que los irradiados presentaron deterioro pero fueron aptos para el consumo.

3.3.4. EVALUACIÓN SENSORIAL

Se evaluó la calidad sensorial de pimientos amarillos, rojos y verdes irradiados y sin irradiar con un panel semientrenado. Cada panelista calificó apariencia general, aroma, dureza, color, y presencia de sabores-olores extraños en una escala no estructurada; los valores promedios resultantes de la evaluación se muestran en el Anexo XII.

La evaluación de la apariencia general al inicio del experimento tuvo una calificación entre 7 y 8 que indican que los frutos tuvieron buena apariencia, mientras que al final del almacenamiento la calificación estuvo entre 5 y 6; lo cual indica que los panelistas si percibieron el deterioro de los frutos durante el almacenamiento y se corroboraría con la disminución de los parámetros de calidad visual. La irradiación no produjo cambios significativos ($p>0,05$) en la apariencia general de las tres variedades, pero se calificó con una mayor puntuación a los frutos irradiados así por ejemplo los frutos irradiados rojos tuvieron un puntaje promedio de 6,03 y los no irradiados de 5,60.

La evaluación sensorial del parámetro aroma indica que en las tres variedades de pimiento no se tuvo alteraciones significativas provocadas por la irradiación.

Según la percepción de los panelistas, en los dos últimos períodos de almacenamiento los frutos irradiados presentaron menor dureza que aquellos que no fueron irradiados, pero no se tuvo diferencia significativa. Así por ejemplo en el último período de almacenamiento, el puntaje para dureza de pimiento amarillo fue de 5,38 y 5,83 ($p>0,05$) para irradiado y sin irradiar, respectivamente. Para pimiento rojo fue de 5,08 y 6,38, para la variedad verde de 6,78 y 6,84. Este resultado se justificaría con el posible debilitamiento del tejido vegetal.

La aplicación de irradiación en pimiento de las variedades amarilla y roja en los últimos períodos de almacenamiento provocó que los panelistas perciban mayor coloración en los frutos irradiados, pero no se encontraron diferencias significativas.

Los panelistas reportaron la presencia de sabores y olores extraños tanto en muestras irradiadas como en no irradiadas. La puntuación al inicio y al final del almacenamiento (7-28 días) de pimiento amarillo, rojo y verde irradiados fueron de 0,83-1,03, 0,68-1,41, y 0,63-1,53; respectivamente. Mientras que para los pimientos no irradiados fue de 1,33-1,23 para amarillo, 0,69-1,48 para rojo y 0,9-2,11 para pimiento verde.

Estos puntajes indican que en todos los tratamientos se detectó el incremento o generación de sabores y olores extraños con el progreso del tiempo, y es provocado por los procesos metabólicos de senescencia del vegetal.

En general el puntaje de sabores y olores extraños de pimiento sin irradiar fue mayor que para aquellos que fueron irradiados, aunque este efecto no tuvo diferencia estadísticamente significativa.

Varias investigaciones han mostrado resultados similares, en los que no se encuentra cambios en los parámetros de evaluación sensorial. Así por ejemplo, Arvanitoyannis (2010) reporta que dosis de irradiación de 1 000 y 2 000 Gy en pepino (*Cucumis sativus*) y zanahoria (*Daucus carota*) no provocaron cambios significativos en propiedades organolépticas (p. 488). También brócoli (*Brassica oleracea itálica*) irradiado a 1 000 Gy y almacenados durante 7 días no sufrieron cambios en apariencia, sabor, textura y color (p. 496).

3.4. EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE TRES COMPUESTOS BIOACTIVOS: VITAMINA C, β -CAROTENO Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO, ALMACENADOS EN REFRIGERACIÓN

Para determinar el efecto de la irradiación sobre tres compuestos bioactivos se cuantificó el contenido de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos en muestras de pimiento de cada variedad que fueron irradiados a dosis de 0, 250, 500, 750 y 1 000 Gy. Se cuantificó también el contenido de estos tres compuestos bioactivos del

pimiento que fue empacado, irradiado (1 000 Gy) y almacenado hasta 28 días en refrigeración.

3.4.1. VITAMINA C

Los resultados del contenido de vitamina C de las tres variedades de pimiento después de ser irradiados a dosis entre 0 y 1 000 Gy se muestra en la Figura 3.27.

Para la muestra control de pimiento amarillo o aquella que no fue irradiada (0 Gy), el contenido de vitamina C fue de 151,38 mg/100 g de peso fresco. Mientras que el contenido de vitamina en muestras irradiadas a 250, 500, 750 y 1 000 Gy fue de 115,71, 125,61, 153,93 y 140,86 mg/100 g de p.f., respectivamente. Se analizó estadísticamente estos datos mediante gráfico de medias con un 95 % de confianza, que indicó que las dosis de radiación no produjeron un efecto significativo sobre el contenido de vitamina C en pimiento amarillo.

Las diferencia en el contenido de vitamina C entre el control (0 Gy) y las muestras irradiadas se debería a las variaciones propias que presenta el vegetal en el contenido vitamínico de un fruto a otro y también al muestreo compuesto que se realizó.

La Figura 3.27 muestra el contenido de vitamina C de pimiento rojo, y los valores promedios fueron 118,20, 113,85, 106,35, 99,19 y 106,28 mg de vitamina C/100 g de peso fresco para muestras irradiadas a 0, 250, 500, 750 y 1 000 Gy; respectivamente. Deepa et al. (2006) reportó que el contenido de vitamina C en varios cultivares de pimiento rojo estaba entre el rango de 48,23 a 192,63 mg/100g (p. 575), valores que coinciden con lo que se reporta en la presente investigación.

El control y las muestras irradiadas no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$), por lo que las dosis de radiación en estudio no provocaron alteraciones en el contenido de esta vitamina.

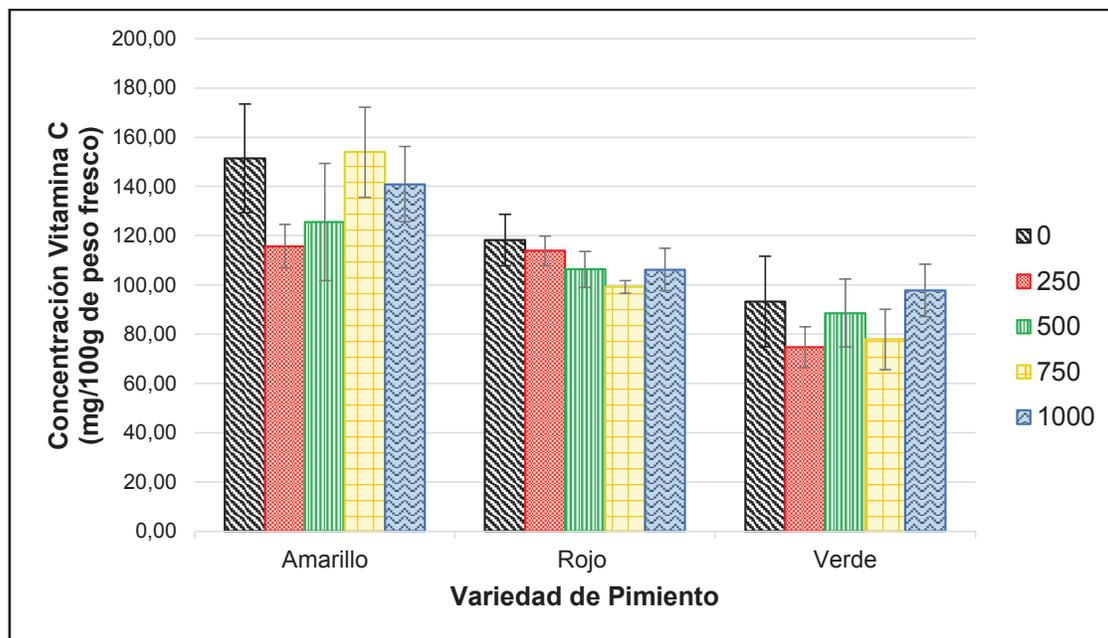


Figura 3.27. Contenido de vitamina C de pimiento amarillo, rojo y verde irradiados a dosis entre 0 y 1 000 Gy

Los resultados del contenido de vitamina C obtenidos de los análisis de pimiento verde coinciden con lo reportado en bibliografía (80,4 mg /100 g de peso fresco) (USDA, 2015). Los valores son de 93,29 mg/100 g de peso fresco para el control, 74,73 para la dosis de 250 Gy, 88,58 para 500 Gy, 77,87 para 750 Gy y 97,78 para 1 000 Gy; y están representados en la Figura 3.27, y estadísticamente no difieren entre sí.

Se afirma que cuando los alimentos se irradian son susceptibles a perder su contenido de vitaminas debido al ataque de radicales libres o productos radiolíticos y a la combinación de estos radicales con las vitaminas que provocan la pérdida de su actividad biológica (Maraver et al., 2007, p. 633). En este estudio no se identificaron cambios significativos en el contenido de Vitamina C provocado por la aplicación de dosis de radiación entre 250 a 1 000 Gy en las tres variedades de pimiento. En otros estudios también se encontró que no se produce efectos en el contenido de vitamina C hasta dosis de 1 000 Gy (Roberts, 2014, p. 3). Pradell (2003) también afirma que de forma general las dosis entre 1 000 a 2 000 Gy no provocan pérdidas nutricionales, incluyendo las vitaminas (p.16). Así también la aplicación de radiación gamma a dosis

de 500, 750 y 1 000 Gy en lechuga (*Lactuca sativa*), col (*Brassica oleracea*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y apio (*Apium graveolens*) no redujo el contenido inicial de ácido ascórbico (Arvanitoyannis, 2010, p. 469).

Se cuantificó también el contenido de vitamina C al final del almacenamiento de pimiento que fue empacado, irradiado (1 000 Gy) y almacenado a 8°C y 95% de HR; y los resultados están representados en la Figura 3.28.

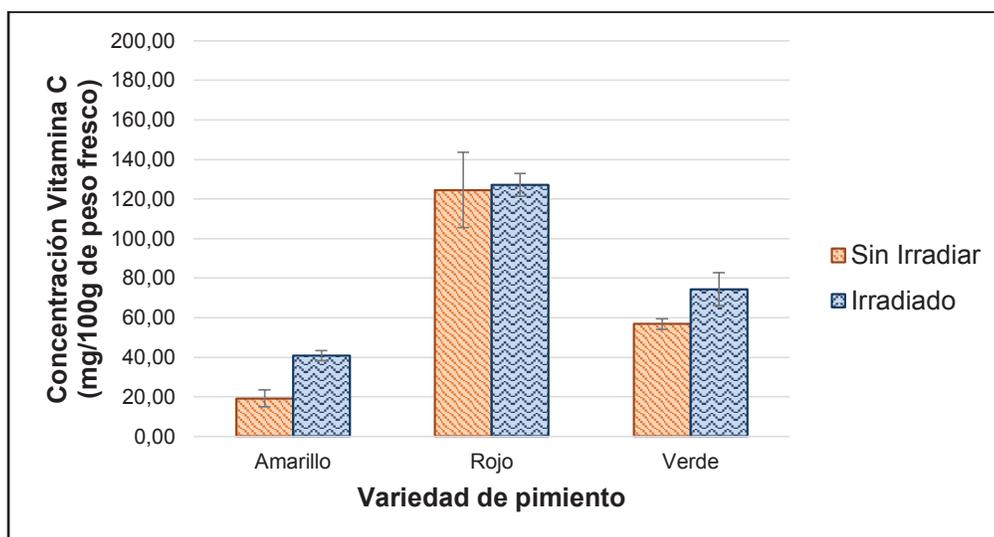


Figura 3.28. Contenido de vitamina C de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8° C y 95 % de HR

El contenido inicial de vitamina C de pimiento amarillo sin irradiar fue de 151,38 mg/100g de p.f. y para aquellos que fueron irradiados a 1 000 Gy fue de 140,86 mg/100 g de p.f.; mientras que el contenido después de 28 días de almacenamiento de la muestra sin irradiar fue de 19,25 mg/100 g de p.f. y 40,78 mg/100 g p.f. para aquella que fue irradiada a 1 000 Gy; lo que implica que se tuvo una reducción significativa de vitamina C durante el almacenamiento. Se tuvo un 87,28 % de pérdida de vitamina C durante el almacenamiento para el control y de 71,05 % para el grupo irradiado a 1000 Gy. En pimiento rojo no se tuvo pérdidas de vitamina C durante el almacenamiento. Mientras que para pimiento verde se tuvo pérdidas de 39,05 % para el control y de 23,83 % para el pimiento irradiado a 1 000 Gy.

Asnin y Park (2015) también reporta pérdidas del 30 % de vitamina C al almacenar los frutos hasta 10 °C (p. 277).

Las variedades amarilla y verde presentaron pérdidas de vitamina C, mientras que la variedad roja no presentó pérdidas. Este efecto se puede justificar con el efecto sinérgico que existe entre la vitamina C y el β -caroteno, es decir que el alto contenido de compuestos carotenoides en el pimiento rojo ayudan a la preservación de la vitamina C durante el almacenamiento (Sabliov y Astete, 2008, p.303).

Yahia, Contreras-Padilla y González-Aguilar (2001) encontraron que un cultivar de pimiento alcanzó su contenido máximo de vitamina C de 136,1 mg/100g p.f. y un mínimo de 65,5 mg/100g p.f. durante el almacenamiento, estas variaciones las asociaron con el progreso de la maduración del pimiento, determinando así que las pérdidas de vitamina C ocurren mucho antes de llegar al estado de máxima intensidad de color o sobremadurez (p. 454). Además las pérdidas de vitamina C estarían también relacionadas con el incremento de la actividad de la enzima ácido ascórbico oxidasa, y es acelerado por las pérdidas de agua (Artés, 2007, p. 179).

Las pérdidas de vitamina C ocurren debido a la reacción de oxidación reversible a ácido deshidroascórbico, éste ácido se oxida nuevamente a ácido 2-3 dicetogulónico que no tiene actividad biológica. Este ácido se cicla y forma anhídrido carbónico y furfural que se polimeriza y forma melanoidinas similares a las del oscurecimiento no enzimático. Este conjunto de reacciones dependen del oxígeno presente, temperatura, pH, actividad del agua, pérdidas de agua, peróxidos y la acción de la enzima ácido ascórbico oxidasa (Bardui, 2006, p. 389).

De acuerdo a los valores de pérdidas de vitamina C mencionadas, éstas fueron mayores en aquellos frutos que no fueron irradiados. En la Figura 3.28 también se puede notar que el contenido de vitamina C en las tres variedades de pimiento fue mayor para las muestras irradiadas, y se tuvo diferencia significativa en la variedad amarilla como se muestra en la Figura 3.29.

Un efecto similar se tuvo en patatas (*Solanum tuberosum*) irradiadas y almacenadas a 15 °C, donde la pérdida de ácido ascórbico fue menor para las muestras irradiadas al compararlas con el control (Patil, 2004, p. 128). Manzanas (*Malus domestica*) almacenadas en refrigeración e irradiadas a 600 Gy presentaron también niveles más altos de vitamina C durante los seis meses de almacenamiento (Thomas, 2001, p.222).

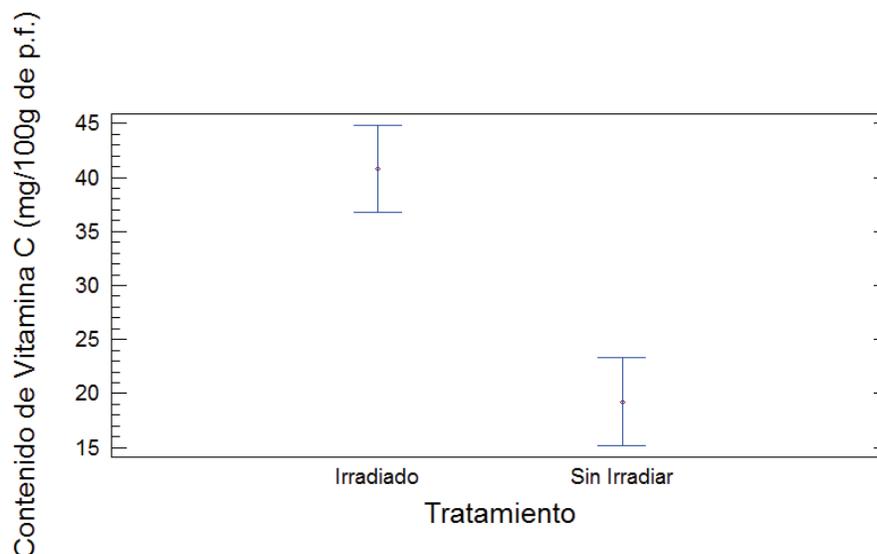


Figura 3.29 Gráfico de medias e intervalos LSD para el contenido de vitamina C de pimiento amarillo sin irradiar e irradiado (1 000 Gy) y almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

La disminución de pérdidas de vitamina C debido a la radiación, se podrían justificar con una posible inactivación de la enzima ácido ascórbico oxidasa, y estaría asociado a la reducción de la pérdida de agua del vegetal. En consecuencia la aplicación de irradiación en pimiento sería una opción tecnológica recomendable para mantener la elevada cantidad de vitamina C que los frutos contienen.

La vitamina C es uno de los nutrientes más sensibles a la radiación y se afirma que si no sufre alteraciones debido a la aplicación del tratamiento, los demás nutrientes tampoco serán afectados (Pradell, 2003, p. 16). Por tanto, se espera que los demás compuestos bioactivos que se analizan en esta investigación no presenten reducciones en su contenido.

3.4.2. β -CAROTENO

En la Figura 3.30 se presenta el contenido de β -caroteno después de que los frutos de pimiento de tres variedades fueron irradiados a dosis entre 0 a 1 000 Gy.

Los resultados de pimiento rojo confirman lo expuesto por Deepa et al. (2006, p. 575), quien afirma que esta variedad tiene elevado contenido de β -caroteno. Además la concentración de β -caroteno de pimiento rojo fue mayor a la del verde y amarillo; y la variedad amarilla presentó niveles más bajos tal y como lo afirma Sun et al. (2007, p. 100). Los valores de concentración según Hernández-Carrión et al. (2014) son de 7,724 mg/100 g de peso fresco, similares a lo reportado en esta investigación.

En los resultados que se reportan se puede notar que la desviación que se tuvo fue elevada, debido a la variabilidad biológica de las muestras analizadas y a la tonalidad de la región del pimiento de donde se tomó la muestra (cambios de color verde a amarillo o rojo debido a la maduración) ya que no se tuvo coloraciones uniformes en cada fruto. Bardui (2006, p. 383) y Sun et al. (2007, p. 101) también encontraron que el contenido de β -caroteno en pimiento varía considerablemente entre cultivares, tipos, estados de madurez, y entre otros factores.

Para la variedad amarilla, roja y verde, el contenido de β -caroteno mostró variaciones entre las muestras irradiadas y el control; pero no fueron estadísticamente diferentes ($p>0,05$).

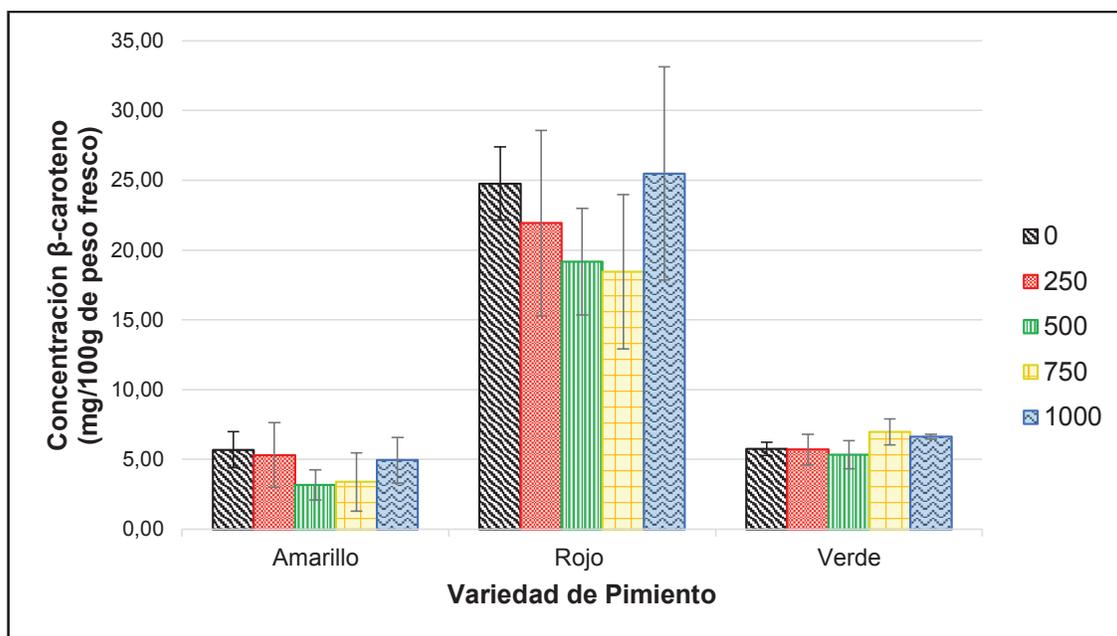


Figura 3.30 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo, rojo y verde irradiados a dosis entre 0 a 1 000 Gy

Por lo tanto, la aplicación de radiación a las dosis en estudio no generó efecto alguno sobre el contenido de β -caroteno en cada variedad. Algunas investigaciones también reportan el mismo efecto, así por ejemplo Arvanitoyannis (2010) reportó que no se tuvo pérdidas cuando se irradió pepino (*Cucumis sativus*) y zanahoria (*Daucus carota*) hasta 2 kGy y en frutas como el mango tampoco existió pérdidas de β -caroteno al irradiarlos a 750 Gy (p. 474, 488).

Al final del almacenamiento el pimiento empacado e irradiado a 1 000 Gy presentó mayor contenido de β -caroteno que las muestras sin irradiar como se observa en la Figura 3.31, pero este incremento no fue estadísticamente significativo.

Por otro lado, si se compara y analiza el contenido inicial de β -caroteno de la muestra control e irradiada a 1 000 Gy que se muestra en la Figura 3.30, con los valores al final del almacenamiento de la Figura 3.31, se puede notar que en pimiento rojo y verde se tuvo un incremento significativo de este compuesto durante el almacenamiento.

Este incremento se debe a que durante la maduración la clorofila empieza a degradarse, pero inicia también la generación de carotenoides responsables de la coloración del fruto tales como el β -caroteno (Vaclavik, 2008, p. 122). También otros carotenoides como la capsantina y capsorubina, principales pigmentos presentes en pimiento rojo y violaxantina, zeaxantina en pimiento amarillo (Rodríguez-Burruezo, González-Mas y Nuez, 2010, p. 451; Sun et al., 2007, p. 98).

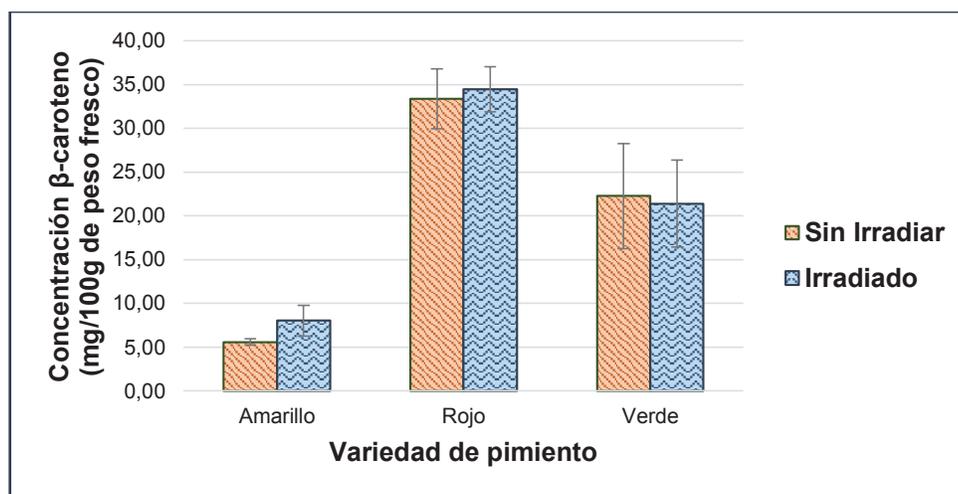


Figura 3.31. Contenido de β -caroteno de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8° C y 95 % de HR

3.4.3. COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

Los resultados del análisis del contenido total de compuestos fenólicos realizados a pimiento amarillo, rojo y verde se presentan en la Figura 3.32.

La concentración de compuestos fenólicos en la variedad amarilla y roja fueron similares, pero mayores que el verde. Un resultado análogo encontró Sun et al. (2007) cuando cuantificó y comparó la cantidad de fenoles de cinco variedades de pimiento diferenciados por su coloración (p. 100).

Los resultados de compuestos fenólicos que se reportan en este estudio difieren con los resultados de Ghasemnezhad et al. (2011), quien reporta 120 mg/100 g p.f. para pimiento rojo y 130 mg/100 g p.f. para pimiento amarillo. Dichas diferencias se atribuyen a que las variedades de cada estudio son diferentes a pesar de que los frutos sean de la misma coloración.

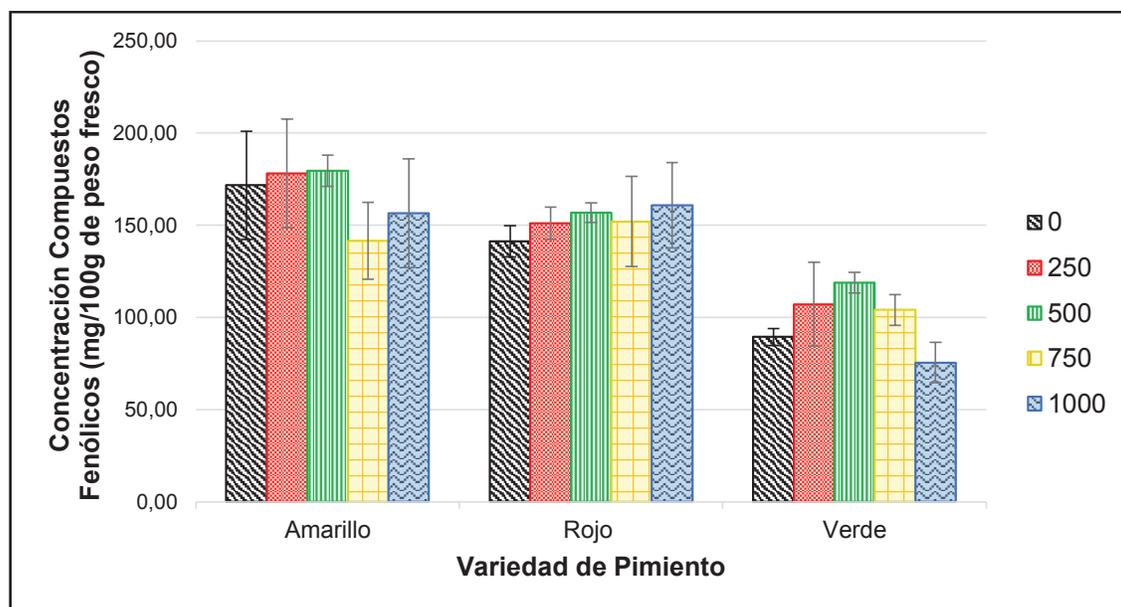


Figura 3.32 Contenido de compuestos fenólicos totales de pimiento amarillo, rojo y verde irradiado a dosis entre 0 a 1 000 Gy

En pimiento amarillo, rojo y verde, se tuvo variaciones del contenido fenólico entre el grupo de vegetales irradiados y el control. Estas variaciones no representaron un efecto significativo, es decir que la aplicación de irradiación no produjo alteraciones en el contenido de compuestos fenólicos totales de las tres variedades de pimiento después de aplicar el tratamiento.

Después de 28 días de almacenamiento bajo condiciones controladas de humedad y temperatura se cuantificó el contenido de fenoles y los resultados se representan en la Figura 3.33.

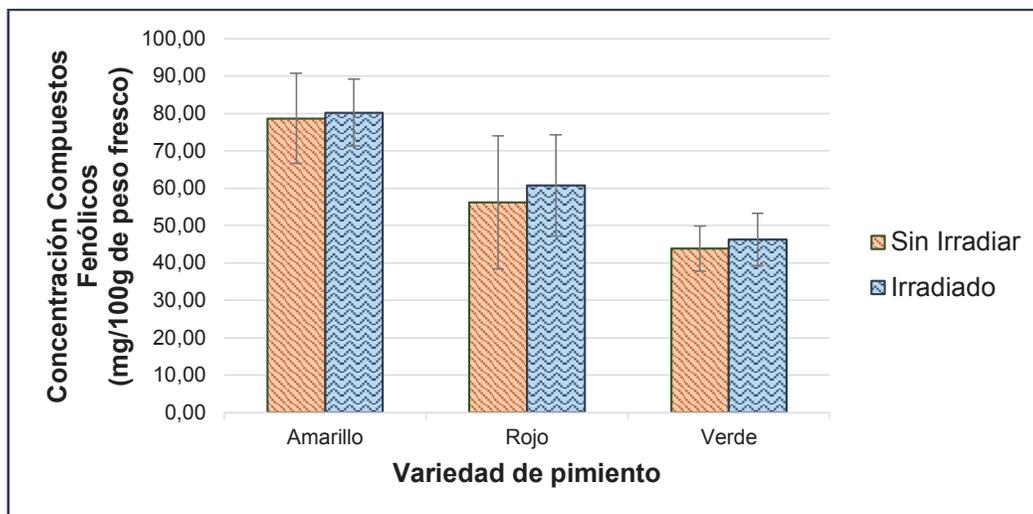


Figura 3.33 Contenido de compuestos fenólicos totales de tres variedades de pimiento empacado, irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar almacenados durante 28 días a 8° C y 95 % de HR

Cada variedad sufrió una reducción del contenido de fenoles durante el almacenamiento, por ejemplo el pimiento amarillo registró valores promedio de 172,73 mg/100 g de p.f. al inicio del experimento mientras que al final del almacenamiento presentó 80,22 mg/100 g de p.f. Ghasemnezhad et al. (2011) también reportó pérdidas de fenoles durante el almacenamiento de cinco variedades de pimiento diferenciados por su color, y encontró que estas pérdidas inician con el progreso de la maduración y por tanto con el avance del color del fruto (p. 47).

De acuerdo a la Figura 3.33 se puede observar que la concentración de compuestos fenólicos de cada variedad de pimiento irradiados a 1 000 Gy fue mayor que aquellos que no fueron irradiados, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$).

Algunas evidencias han indicado que una de las respuestas del vegetal frente al tratamiento de irradiación puede ser la activación de las enzimas responsables de la biosíntesis de compuestos fenólicos (Lacroix, 2011, p. 500; Prakash y Foley, 2004, p. 104). Es importante mencionar que el incremento de compuestos fenólicos debido a la radiación es un factor trascendente sobre la preservación de los vegetales; ya que

éstos compuestos protegen las frutas y vegetales de la contaminación microbiológica y de la infestación, y además son responsables de la calidad organoléptica (Prakash y Foley, 2004, p. 104). Estudios en cítricos híbridos mostraron un incremento significativo de flavonas después de 14 días de almacenamiento, en mango (*Mangifera indica*) también se encontró un incremento de flavonoides y ácidos fenólicos debido a la radiación (Prakash y Foley, 2004, p. 125). La aplicación de radiación de hasta 2 kGy en lechuga (*Lactuca sativa*) y endivia (*Cichorium endivia*) concluyeron un incremento del contenido de fenoles y capacidad antioxidante (Lacroix, 2011, p. 501). Durante el período de almacenamiento de hongos comestibles (*Agaricus Bisporus*) irradiados a 2 kGy el contenido de fenoles totales también fue significativamente más alto que el control cuando la tasa de dosis de radiación fue baja (Beaulieu, D'Aprano y Lacroix, 2002, p. 2540). En esta investigación no se encontró incrementos significativos de compuestos fenólicos totales y es posible que se deba a que las dosis de radiación en estudio sean muy bajas para producir dicho efecto.

3.5. DISEÑO PARCIAL DE LAS ETAPAS DE EMPAQUE Y REFRIGERACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO ENTERO

3.5.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO, MATERIA PRIMA E INSUMOS Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Se planteó el diseño parcial de las etapas de empaque y refrigeración para la obtención de pimiento entero fresco amarillo, rojo y verde empacados en bandejas de poliestireno y recubiertos con film retráctil de PVC para alimentos.

La materia prima que se emplearía es pimiento fresco entero de las variedades "California wonder", "Lamuyo" e "Italian sweet" (pimiento amarillo, rojo y verde, respectivamente) proveniente de invernaderos ubicados en Atuntaqui, provincia de Imbabura. Los pimientos deberán cumplir con los requisitos establecidos por la norma

NTE INEN 1996:2012 (INEN, 2012), la variedad amarilla y roja deberán presentar al menos el 60 % de coloración deseada y la variedad verde deberá presentar forma y tamaño adecuados. Se emplearán también bandejas de poliestireno de dimensiones 23*17*3 cm y film retráctil de PVC para alimentos que serán adquiridos en comercializadoras locales.

La producción promedio diaria de los invernaderos ubicados en Atuntaqui, es aproximadamente 100 kg diarios de cada variedad de pimiento, este valor se ha considerado como base para definir la capacidad de procesamiento.

3.5.2. INGENIERÍA BÁSICA: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

A continuación se detallan en orden las operaciones unitarias requeridas para la obtención de pimiento entero empacado. Además en cada operación unitaria se mencionan los equipos requeridos con su codificación asignada, y mayor detalles técnicos de los equipos seleccionados se encuentra en las hojas de especificaciones que se muestran en el Anexo XVII.

- Recepción de la materia prima:

En esta etapa se receptorá y pesará la materia prima con una balanza industrial (codificación: BA-101). Se verificará que el pimiento fresco cumpla con la norma NTE INEN 1996:2012 (INEN, 2012).

- Lavado y Desinfección:

Los pimientos son lavados y desinfectados con agua clorada a 200 ppm. Tanto el lavado como la desinfección no se realizarán por inmersión, sino por rocío de agua o conocido también como “lluvia de agua”.

Para el lavado y desinfección se ha seleccionado una lavadora tipo cepillos cuya codificación es LDS-201, la máquina aplica chorros de agua recirculada y enjuaga el

producto con agua limpia clorada al mismo tiempo que avanza sobre una cama de 8 cepillos de nylon que eliminan los residuos de tierra y material extraño. A continuación, los frutos atraviesan por “donuts” en la parte superior y rodillos exprimidores por la parte inferior que retiran el agua superficial del fruto; también se puede accionar un ventilador para ayudar al secado.

- **Secado:**

Esta operación retirará el agua de la superficie del pimiento, se podría realizar usando superficies absorbentes (rodillo de esponja) y la aplicación de aire forzado.

Esta operación unitaria la realiza el equipo seleccionado para el lavado y desinfección, pero para garantizar el secado también se decidió colocar una banda transportadora (BT-301) que permitirá el secado por ventilación natural.

- **Empacado:**

De forma manual se colocarán dos o tres frutos de pimiento en una bandeja de poliestireno y se sellarán con film retráctil de PVC. Para un mejor sellado se emplearán envolventoras de bandejas (EB-401) que aplican calor en la unión entre la bandeja y el film.

Dentro de esta etapa también se ha considerado necesario utilizar mesas de acero inoxidable (MT-403) para facilitar el empaque y distribución de éstas en kavetas plásticas para su transporte y almacenamiento. Se pesará cada bandeja y se etiquetará con una balanza etiquetadora (BE-402)

- **Irradiación:**

Las bandejas de pimiento de cada variedad se irradian a una dosis de 1 000 Gy en la fuente de Co^{60} de la Escuela Politécnica Nacional. Esta operación se consideraría como un servicio industrial.

- **Refrigeración:**

Las bandejas irradiadas deberán ser almacenadas en una cámara de refrigeración a 8 °C y 95 % de HR hasta su posterior comercialización en los supermercados

nacionales. Para esta operación unitaria se diseñó una cámara de refrigeración (CR-501), como se describe a continuación.

3.5.2.1. Diseño de una cámara de refrigeración para el almacenamiento de bandejas de pimiento entero

Se diseñó una cámara de refrigeración para almacenar 881 bandejas de pimiento diariamente. Las bandejas se colocarán en kavetas plásticas de 60*40*25 cm. En el Anexo XVIII se detallan los cálculos realizados para el diseño y en la Tabla 3.17 se muestran los principales parámetros obtenidos. Se calculó que el calor total a retirar es de 117 725 kJ para enfriar los frutos hasta 8 °C, y se consideró la carga del producto, calor de respiración, calor ganado en paredes, techo y suelo, calor por cambio de aire, generado por personas, alumbrado, y materiales de empaque.

Tabla 3.17 Especificaciones de diseño de la cámara de refrigeración para almacenar bandejas de pimiento entero

Parámetro	Valor
Dimensiones de cuarto frío	Largo: 5m, ancho: 3m y alto: 3m
Capacidad máxima	196 kavetas de 60*40*25 cm
Temperatura de operación	8 °C
Tiempo de almacenamiento	24 h
Materiales de construcción	
Paredes	Ladrillo, espuma de poliuretano (espesor: 0,0208m), acero inoxidable AISI 304, cemento para el enlucido
Techo	Hormigón, acero inoxidable AISI 304, teja, poliuretano (espesor: 0,021m)
Piso	Hormigón, acero inoxidable AISI 304
Componentes sistema de refrigeración	
Calor del evaporador	165 kJ/kg
Flujo del Refrigerante R-134a	29,73 kg/h

Tabla 3.17 Especificaciones de diseño de la cámara de refrigeración para almacenar bandejas de pimienta entero (continuación...)

Potencia del compresor	0,19 hp
Potencia a disipar en el condensador	2,01 hp
Dimensiones del Evaporador*	Ancho: 0,61 m, Largo: 4m, Numero de tubos: 8 Evaporador modelo L-18

*Determinado con el método descrito por Dossat (1978, p. 247)

Con los parámetros de diseño encontrados, se han seleccionado en catálogos las unidades que conforman el sistema frigorífico tales como condensador, evaporador, y compresor. En la hoja de especificación 5 del Anexo XVII se detalla las características de cada unidad.

3.5.2.2. Balance de masa

Con el proceso de producción descrito y tomando como base la cantidad a procesar de 100 kg diarios de pimienta entero de cada variedad (300 kg diarios) se realizó el balance de masa. Se encontró que el número de bandejas diarias de cada variedad que se obtendrían serían 270 bandejas de pimienta amarillo, 278 de pimienta rojo y 333 de pimienta verde.

También se determinó que la cantidad de agua clorada (200 ppm) necesaria para la desinfección diaria de toda la materia prima fue de 18 240 kg, además se calculó la cantidad de empaques y film requeridos.

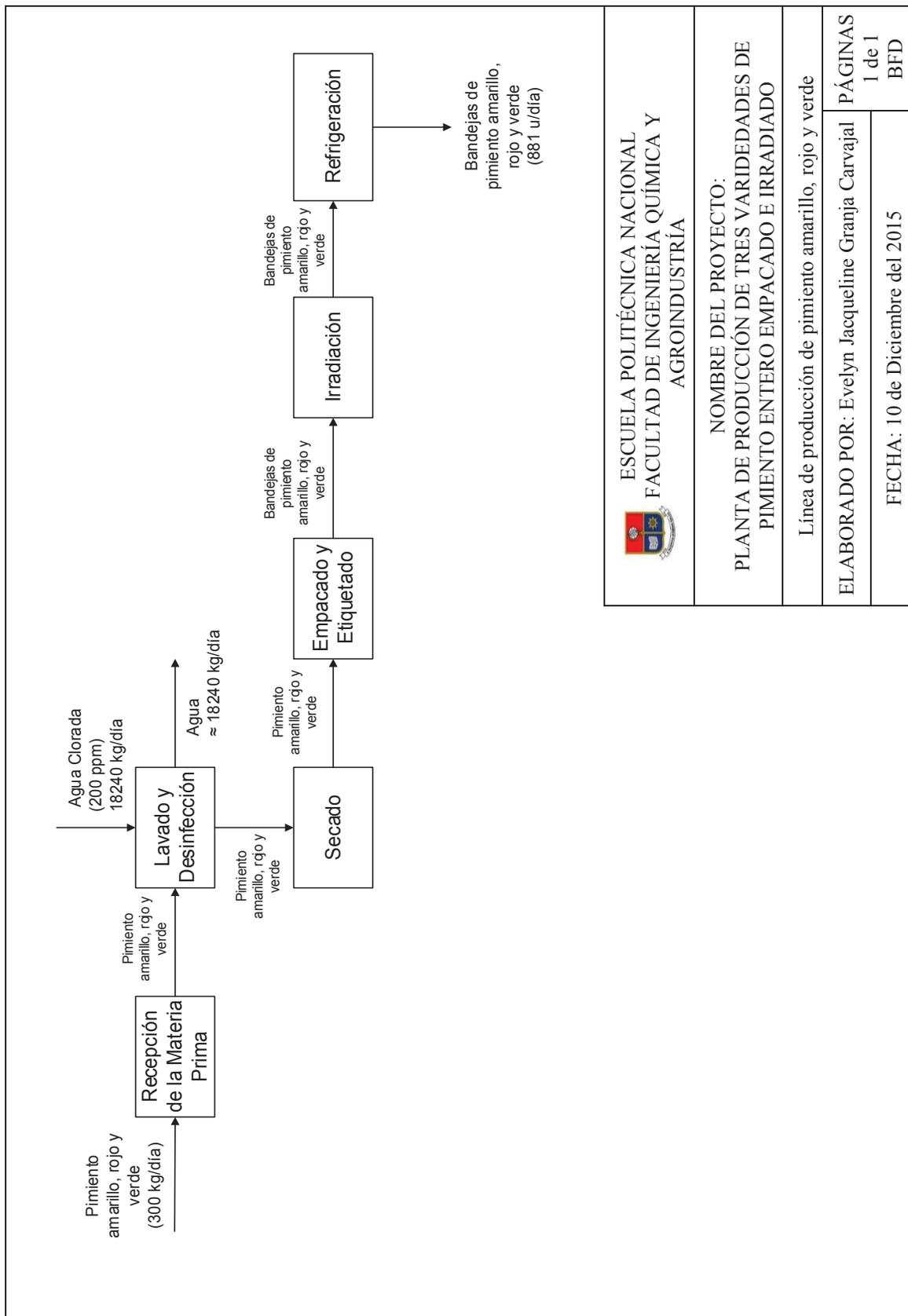
3.6. DIAGRAMAS BFD Y PFD

A partir de la descripción del proceso, la selección de equipos y el balance de masa, se definió el diagrama de bloques BFD y el diagrama de flujo PFD que a continuación se presentan en la Figura 3.34 y 3.35; respectivamente.

En el BFD se muestran las operaciones unitarias a llevarse a cabo en el proceso de producción de bandejas de pimiento entero, junto con los flujos másicos de entrada y salida del proceso. En el diagrama de flujo se muestran los equipos principales y auxiliares representados por símbolos, los mismos que tienen la codificación asignada anteriormente. Se detalla también flujo másicos de cada una de las corrientes.

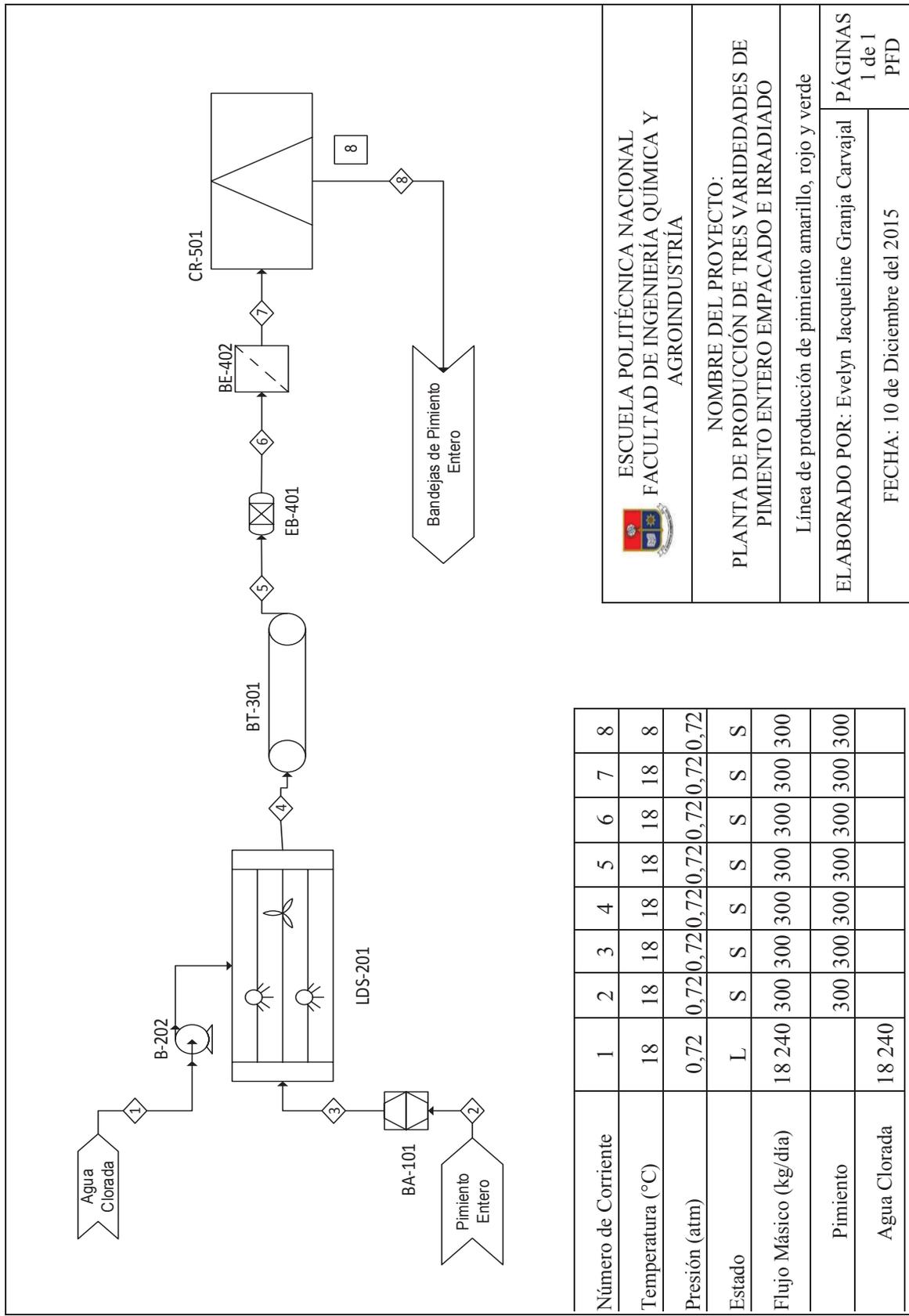
3.7. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Se realizó la distribución en planta en forma de “L”, con las dimensiones de los equipos seleccionados, área de oficinas, servicios higiénicos y bodega de insumos, como se puede observar en la Figura 3.36. De acuerdo a la distribución se obtuvo que el área requerida para las instalaciones es de 221 m² de construcción, y aproximadamente 400 m² de terreno.



 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA</p>	
<p>NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO EMPACADO E IRRADIADO</p>	
<p>Línea de producción de pimiento amarillo, rojo y verde</p>	
ELABORADO POR: Evelyn Jacqueline Granja Carvajal	PÁGINAS 1 de 1
<p>FECHA: 10 de Diciembre del 2015</p>	
<p>BFD</p>	

Figura 3. 34. Diagrama de Bloques del proceso de producción de pimiento entero empacado e irradiado



Número de Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura (°C)	18	18	18	18	18	18	18	18
Presión (atm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Estado	L	S	S	S	S	S	S	S
Flujo Másico (kg/día)	18 240	300	300	300	300	300	300	300
Pimiento		300	300	300	300	300	300	300
Agua Clorada	18 240							

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA</p>	
<p>NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE TRES VARIEDADES DE PIMIENTO ENTERO EMPACADO E IRRADIADO</p>	
<p>Línea de producción de pimiento amarillo, rojo y verde</p>	
ELABORADO POR: Evelyn Jacqueline Carvajal	PÁGINAS 1 de 1 PFD
<p>FECHA: 10 de Diciembre del 2015</p>	

Figura 3.35. Diagrama de Flujo del proceso de producción de pimiento entero empacado e irradiado

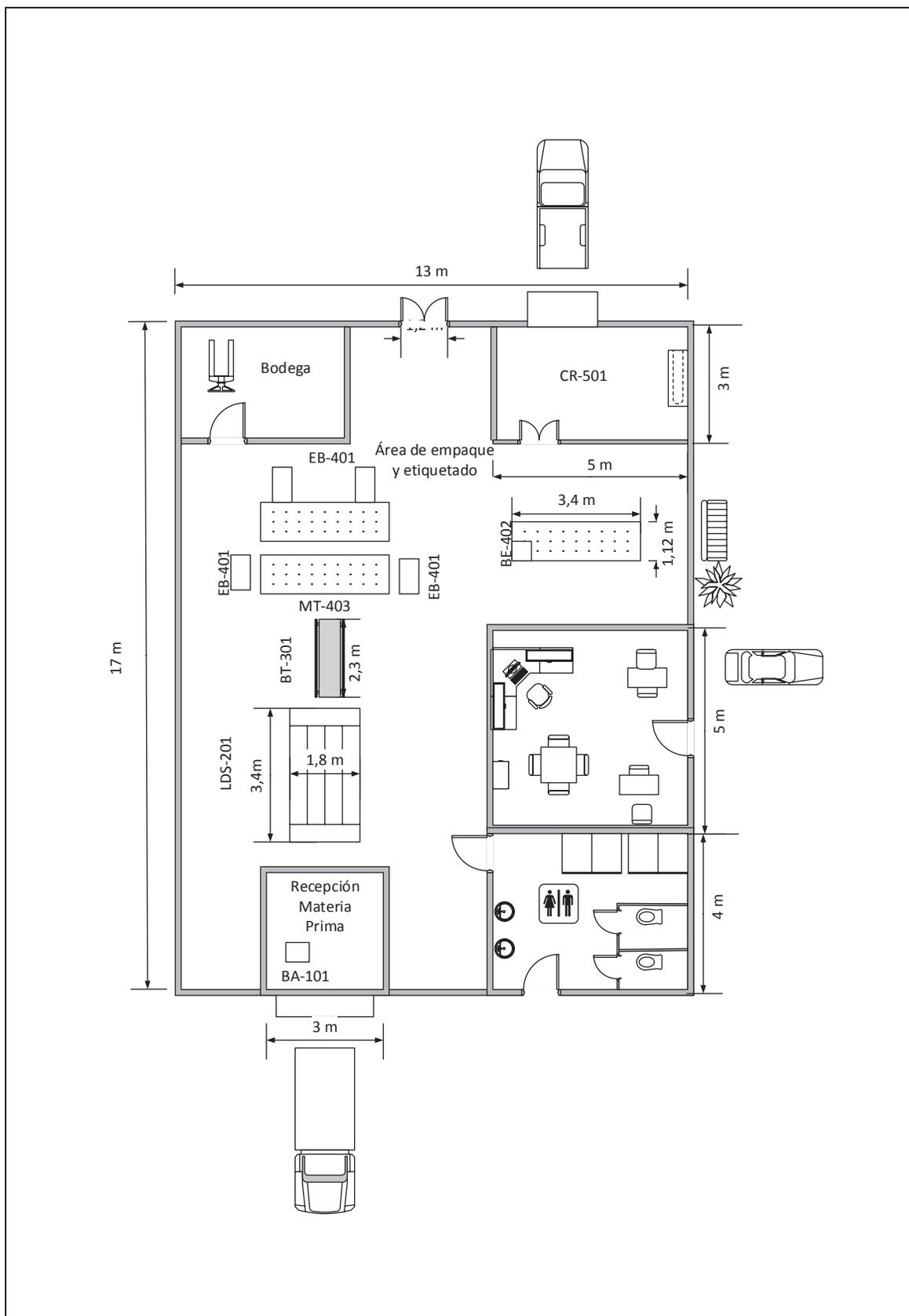


Figura 3.36 Diagrama Lay Out de la planta de producción de pimiento entero empaquetado e irradiado

3.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO QUE SE LE DARÁ AL PIMIENTO ENTERO PARA DETERMINAR SU FACTIBILIDAD

Para la estimación de costos del tratamiento que se le dará al pimiento entero se han considerado los parámetros señalados y obtenidos en el objetivo anterior, provenientes de los balances de masa, proceso de producción planteado, selección de equipos, entre otros. Por lo tanto, la estimación de costos se realizó en base a una capacidad de procesamiento de 100 kg diarios de cada variedad. Se obtiene como producto final 881 bandejas diarias de pimiento entero e irradiado con un peso neto aproximado de 500 g.

3.8.1. INVERSIÓN TOTAL FIJA

Para la construcción de la planta de procesamiento se adquirirá un terreno de 400 m² ubicado en Atuntaqui, con un área de construcción de 221 m² (datos obtenidos a partir del Lay Out). Se estimó la inversión en la adquisición del terreno y construcción, así como también los precios comerciales de maquinarias, equipos, y muebles de oficina. A continuación en la Tabla 3.18 se detalla la inversión requerida para cada ítem mencionado, el detalle del costo de la cámara de refrigeración diseñada se encuentra en la Tabla AXIII.1.

La inversión total para la implementación de la planta de producción es de 118 606, 10 USD. La contribución porcentual de la adquisición del terreno y la construcción es del 81,19 %, maquinaria y equipo 16,61 % y muebles de oficina del 2,19 %.

Tabla 3.18 Costos mensuales materia prima, insumos, servicios y mano de obra

Ítem	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total (USD)
Instalaciones			
Terreno	75,00 USD/m ²	400 m ²	30 000,00
Construcciones	300,00 USD/m ²	221 m ²	66 300,00
Maquinaria y Equipos (codificación)			
Máquina de Lavado (LDS-201)	7 500,00 USD/u	1	7 500,00
Banda Transportadora (BT-301)	1 000,00 USD/u	1	1 000,00
Máquina Envolvedora de Bandejas (EB-401)	160,00 USD/u	4	640,00
Mesas de Trabajo (MT-403)	300 USD/u	3	900,00
Balanza (BA-101)	170,00 USD/u	1	170,00
Balanza Etiquetadora-Preciadora (BE-402)	90,00 USD/u	2	180,00
Cámara de Refrigeración (CR-501)	8 238,10 USD/u	1	8 238,10
Kavetas	11,00 USD/u	98	1 078,00
Muebles de Oficina			
Escritorio	300,00 USD/u	2	600,00
Silla para escritorio	50,00 USD/u	2	100,00
Computador	800,00 USD/u	2	1 600,00
Silla estándar para oficina	25,00 USD/u	4	100,00
Archivador	100,00 USD/u	1	100,00
Mesa	100,00 USD/u	1	100,00

3.8.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Dentro de los costos de producción se han considerado costos de mano de obra directa, materia prima, insumos y servicios industriales; y los costos mensuales se presentan en la Tabla 3.19.

Los insumos y materias primas requeridos para el funcionamiento diario de la planta se obtuvieron del balance de masa. La cantidad de energía eléctrica requerida se calculó a partir del requerimiento energético de cada uno de los equipos, y de acuerdo al tiempo de funcionamiento diario. Para la estimación de los costos de mano de obra, se consideró que la planta operaría 5 días a la semana, con una jornada de trabajo de 8 h diarias y también se han incluido el pago de decimos terceros, decimos cuartos, y fondos de reserva.

Tabla 3.19. Costos mensuales materia prima, insumos, servicios y mano de obra

Ítem	Costo Unitario	Cantidad por mes	Costo por mes (USD)
Materia Prima			
Pimiento fresco amarillo	1,00 USD/kg	2 000 kg	2 000,00
Pimiento fresco rojo	1,00 USD/kg	2 000 kg	2 000, 00
Pimiento fresco verde	0,50 USD/kg	2 000 kg	1 000,00
Insumos y Servicios			
Etiquetas	0,01 USD/u	17 620 u	176,20
Bandejas de Poliestireno	0,08 USD/u	17 620 u	1 409,60
Film Retráctil de PVC	27,66 USD/u	3 u	82,99
Electricidad	0,08 USD/kWh	17 580 kWh	1 406,38
Agua	0,36 USD/m ³	364,8 m ³	131,33
Servicio de Irradiación	*0,38 USD/kg	6 000 kg	2 280,00
Mano de Obra			
	Salario		
Gerente General y de Producción	900 ,00	1	900,00
Contadora	600,00	1	600,00
Operarios	400,00	7	2 800, 00

*Abad, J., 2013, p. 105

El costo de producción total por unidad de bandeja fue de 1,02 USD. Además el costo de producción anual es de 216 020,90 USD, siendo la mano de obra directa el rubro más representativo con una inversión de 69 139,40 USD, materia prima con un valor de 60 420 USD e insumos 65 837,94 USD. Además se consideraron el mantenimiento

de maquinaria y equipo (5 % del valor de la maquinaria) e imprevistos con el 10% adicional del costo de producción total.

3.8.3. FLUJO DE CAJA E ÍNDICES FINANCIEROS

El flujo de caja se realizó considerando un tiempo de duración de proyecto de 10 años y se calculó a partir de la inversión total, costos de producción, ventas, depreciaciones de los equipos. En la Tabla AXIII.2 se muestra la depreciación de cada uno de los equipos e instalaciones. A continuación en la Tabla 3.20 se muestra el ingreso anual que se tendría por la venta de las bandejas de pimienta entero empacado e irradiado, calculado a partir de la producción mensual y del precio unitario comercial.

Tabla 3.20. Ventas anuales

Tipo de producto:	Producción (u/mes)	Producción (u/año)	Precio de venta (USD/ bandeja)	Ingresos anuales (USD)
Bandejas de pimienta amarillo	5 400	64 800	2,00*	129 600,00
Bandejas de pimienta rojo	5 560	66 720	1,50*	100 080,00
Bandejas de pimienta verde	6 660	79 920	0,80*	63 936,00
TOTAL INGRESOS POR VENTAS				293 616,00

*Fuente: Corporación Favorita, Supermaxi

En la Tabla 3.21 se muestra el flujo de caja obtenido, en donde se registra 68 528,29 USD de utilidad bruta y 34 133, 12 USD de flujo de caja anual, lo que indica que el proyecto no generaría pérdidas. Además, dentro del flujo de caja se ha considerado que toda la inversión total fija se obtendrá mediante un préstamo a 10 años plazo con un interés anual del 10,21 %, la tabla de amortización del préstamo se indica en el Anexo XIX.

Se obtuvo que el VAN fue de 46 367,05 y la TIR fue de 25,90 %. Estos índices financieros indican que la implementación de una planta de producción de pimiento entero de tres variedades empacado e irradiado es factible.

En la Figura 3.37 se presenta el punto de equilibrio, el cual indica que se deben producir y comercializar 84 369 bandejas anuales que corresponden a un ingreso total de 117 159 USD. De acuerdo a la Tabla 3.20 la producción total anual de bandejas es 211 440 que corresponden a 293 616 USD, valores mayores al punto de equilibrio. Por lo tanto, la producción estimada no generaría pérdidas anuales y confirmaría que el proyecto es viable.

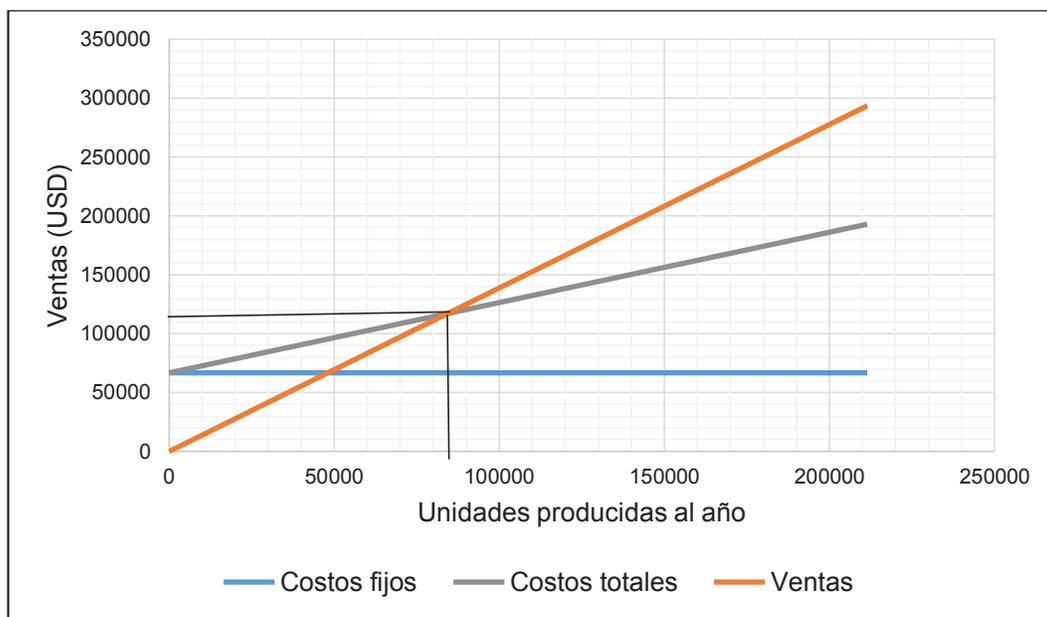


Figura 3.37. Punto de equilibrio para la producción de pimiento entero empacado e irradiado

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Los pimientos empleados en esta investigación presentaron buenas características físicas, visuales y sensoriales, cumplió con los requisitos exigidos por la norma INEN 1996:2012 y fue clasificado como frutos Tipo I (diámetro superiores a 50 mm) y grado I (sin defectos).
- La dosis de radiación que preservó de mejor manera la calidad de las tres variedades de pimiento fue la dosis de 1 000 Gy; ya que logra reducir la pérdida de peso, mantiene y/o mejora parámetros químicos, visuales y sensoriales.
- Durante el almacenamiento refrigerado la firmeza, pérdida de peso y calidad sensorial de los frutos irradiados no difirieron significativamente del control.
- La variable que limitó el tiempo de vida útil de las tres variedades de pimiento fue la calidad visual. La irradiación mejoró significativamente este parámetro.
- En las tres variedades de pimiento, no existieron cambios significativos en el contenido de vitamina C, β -caroteno y compuestos fenólicos después de ser irradiados a dosis entre 250 a 1 000 Gy.
- Después de 28 días de almacenamiento refrigerado, los pimientos de las tres variedades tuvieron mayor contenido de vitamina C que el control. Este efecto fue significativo para la variedad amarilla.
- La concentración de β -caroteno y compuestos fenólicos de los pimientos irradiados y sin irradiar al final del almacenamiento refrigerado, no representó

un efecto significativo; a pesar de que las concentraciones fueron mayores en relación al control.

- Se diseñó las etapas de empaque y refrigeración para producción de pimienta entero, con una capacidad de procesamiento de 300 kg/día, se planteó las operaciones unitarias de recepción, lavado y desinfección, secado, empaquetado, irradiación y refrigeración.
- La implementación de los procesos de producción de pimienta entero empaquetado e irradiado es factible, se encontró una TIR de 25,90% y VAN de 46 367,05 USD.

4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de la aplicación de otras técnicas de preservación en pimiento, como por ejemplo tratamientos térmicos leves o tratamientos químicos con cloruro de calcio.
- Realizar un estudio poscosecha en el que se prueben diferentes empaques o presentaciones que ayuden a la preservación del pimiento.
- Estudiar el perfil fenólico del pimiento y las posibles variaciones provocadas por la irradiación.
- Estudiar la composición de carotenoides de cada variedad de pimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abad, J. (2014). Estudio del efecto de la combinación de dos tratamientos no convencionales, irradiación con rayos gamma y recubrimiento comestible, en la calidad poscosecha del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). (Proyecto de titulación previo a la obtención de Ingeniero Químico): Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
2. Aguilar, J. (2012). Métodos de Consevación de Alimentos. (1era ed.). México, *Red Tercer Milenio*.
3. Alcérreca, M. (2009). Situación actual en infraestructura y tecnología de irradiadores gamma en América Latina. *Entorno Nuclear*, 12-23.
4. AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Arlington, USA
5. Araya, H., Clavijo, C. y Herrera, C. (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 361-365.
6. Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2003). Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. Departamento de Ingenieria de Alimentos, Universidad Politécnica de Cartagena. Murcia-España. 3-7.
7. Artés, F. (2006). El envasado en atmosfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Redalyc*, 7(2), 62-65.
8. Artés.F., Gómez, P. y Artés-Hernández, F. (2007). Physical, Physiological and Microbial Deterioration of Minimally Fresh Processed Fruits and Vegetables. Postharvest and Refrigeration Group, Technical University of Cartagena (p. 178-188).

9. Arvanitoyannis, I. (2010). *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. USA: ELSEVIER.
10. Asnin, L. y Park, S. (2015). Isolation and Analysis of Bioactive Compounds in Capsicum Peppers. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 55(2), 254-289. doi: 10.1080/10408398.2011.652316
11. Bardui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. (4ta. ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
12. Barthélemy, C., Cornago, P. y Esteban, S. (2013). *La química en la vida cotidiana*. España: UNED.
13. Beaulieu, M., D'Aprano, M. y Lacroix, M. (2002). Dose rate effect of irradiation on phenolics compounds, polyphenol oxidase and browning of Mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal Agriculture Food Chemistry*, 47, 2537-2543.
14. Berrios, M., Arredondo, C. y Tjalling, H. (2007). Guía de manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento. *Cropkit*, 10-104.
15. Bonilla, O. (2011). Material auxiliar para la cátedra de "Transferencia de Calor I". Quito, Ecuador.
16. Cammarata, G. (2010). *Conservación de alimentos por irradiación*. Departamento de Investigaciones de la Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina.
17. CODEX. (2003). CODEX Alimentarius International Food Standards. Norma General del CODEX para Alimentos Irradiados. CODEX STAN 106-1983, REV. 1-2003.

18. CODEX. (2003). CODEX Alimentarius International Food Standards. Código de Prácticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación. CAC/RCP 19-1979.
19. Colombo, M. (2002). Manejo de enfermedades en cultivos protegidos de pimiento. *INTA-Estación experimental agropecuaria Bella Vista, Corrientes, Argentina*. 1(5), 4-53.
20. Conesa, A. (2008). Innovación en la postrecolección y en el procesado mínimo del pimiento de carne gruesa de invernadero. (Disertación doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
21. Criado, C. y Moya, S. (2009). *Vitaminas y Antioxidantes*. (1era. ed.). Madrid, España: SANED.
22. Deepa, N., Kaur, C., Singh, B. y Kapoor, H. (2006). Antioxidant Activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 (2006), 572-578. doi: 10.1016/j.jfca.2005.03.005
23. DiabeTV (2015). Imágenes gratis. Recuperado de <http://blogesp.diabetv.com/> (Marzo, 2015).
24. Dickson, J. (2001). Radiation Inactivation of Microorganisms. En Molins, R. (Ed.). *Food Irradiation: Principles and Applications* (pp. 23-35). Estados Unidos, Wiley Interscience.
25. Domene, M., Gázquez, J., Segura, M. y Meca, D. (2014). Evaluación de la calidad interna en especialidades de pimientos: sustancias nutritivas y bioactivas. *Actas de Horticultura I Jornadas del grupo de alimentación y salud*, 1-9.
26. El-Ghorab, A., Javed, Q., Anjum, F., Hamed, S. y Shaaban, H. (2013). Pakistani Bell Pepper (*Capsicum annum* L.): Chemical Compositions and its

Antioxidant Activity. *International Journal of food Properties*, 16(1), 18-32, doi: 10.1080/10942912.2010.513616.

27. Ezziyani, M. (2005). *El cultivo de pimiento (Capsicum annum) en la región de Murcia y los efectos nocivos del uso de Bromuro de Metilo (II)*. Universidad de Murcia, Departamento de Fisiología Vegetal, España.
28. FAO. (2002). *El cultivo protegido en clima mediterráneo-Producción Vegetal. Pimiento*. Departamento de Agricultura.
29. FAO. (2006). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas-capítulo 1 cosecha*. Departamento de Agricultura.
30. Farkas, J. y Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2011), 121-126. doi:10.1016/j.tifs.2010.04.002
31. Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology: principles and practice*. (2da. ed.). Irradiation (pp. 196- 209). Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
32. Fernández, J., Liverotti, O. y Sánchez, G. (2000). *Manejo Poscosecha de Pimiento*. Control de Calidad, Argentina.
33. Fernández-Trujillo, J. (2007). Extracción convencional de oleoresina de pimentón dulce y picante: generalidades, composición, proceso e innovaciones y aplicaciones. *Universidad Politécnica de Cartagena*, 58(3), 252-263.
34. Fonseca, S., Oliveira, F. y Brecht, J. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of food Engineering*, 52(2002), 99-119.

35. Gálvez, J. y Buitimea, G. (2006). Uso de la radiación en la conservación de alimentos. Recuperado de <http://www.revistauniversidad.uson.mx/revistas/22-22articulo%207.pdf> (Abril, 2015).
36. Ghasemnezhad, M., Sherafati, M. y Ali, G. (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(2011), 44-49.
37. Giambanco, H. (2006). Recolección y Manipulación del pimiento. En Namesyn, A. (Ed). *Pimientos*. (pp. 81-84). Compendios de Horticultura.
38. Gil, R. (2006). Pimiento en Conserva. En Namesyn, A. (Ed). *Pimientos*. (pp. 99-103). Compendios de Horticultura.
39. González, G. y Rabin, C. (2010). *Para entender las radiaciones: Energía Nuclear, Medicina, Industria*. (1era. ed.). Montevideo, Uruguay: DIRAC.
40. Hanif, R., Iqbal, Z., Iqbal, M., Hanif, S. y Rasheed, M. (2006). Use of vegetables as nutritional food: role in human health. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1(1), 18-22.
41. Hernández-Carrión, M., Hernando, I. y Quiles, A. (2014). High hydrostatic pressure treatment as an alternative to pasteurization to maintain bioactive compound content and texture in red sweet pepper. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.004>
42. Herrera, F., Betancur, D. y Segura, M. (2014). Compuestos bioactivos en la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Redalyc, nutrición hospitalaria*, 29(1), 10-20.

43. Herrero, A. y Romero, M. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Rev Med Univ Navarra*, 50 (4), 71-74.
44. Higón, N. (2002). Un catálogo técnico El Pimiento. *Horticultura Internacional*, 78-83.
45. Horak, C., Adeil, M., Malvicini, M., Narvaiz, P., Gonzalez, M. y Kairiyama, E. (2006). Improvement of Hygienic Quality of fresh, pre-cut, ready-to-eat vegetables using gamma irradiation. *Proceedings of a final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*, 23-40.
46. Hough G. (2010). Sensory Shelf Life Estimation of Food Products. (1era. Ed.). New York, USA: Taylor and Francis Group.
47. INEC. (2000). Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, Resumen Nacional por Provincias, Sistema Estadístico Agropecuario nacional. Encuesta de superficie producción por muestreo de áreas, Quito-Ecuador.
48. INEN. (2012). Instituto de Normalización Ecuatoriano. Norma Técnica Ecuatoriana NTE: INEN 1996:2012. Hortalizas frescas. Pimiento o Pimentón. Requisitos. Primera Edición, Quito-Ecuador.
49. Jung, K., Yoon, M., Park, H., Lee, K., Jeong, R., Song, B. y Lee, J. (2014). Application of combined treatment for control of *Botrytis cinerea* in phytosanitary irradiation processing. *Radiation Physics and Chemistry*, 99(2014), 12-17.
50. Kehr, E. (2002). Susceptibility to post-harvest chilling damage in sweet peppers, and treatments to minimize its effects. *Agricultura Técnica*. 62(4), 1-14.

51. Kirkin, C., Mitrevski, B., Gunes, G. y Marriott, P. (2014). Combined effects of gamma-irradiation and modified atmosphere packaging on quality of some spices. *Food Chemistry*, 154-(2014), 255-261.
52. Lacroix, M. y Ouattara, B. (2000). Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of foods products – a review. *Food Research International*, 33(2000), 719-724.
53. Lacroix, M. (2011). Irradiación. En Da Wen-Sun (Ed.). *Handbook of Food Safety Engineering* (p. 497-593). Singapur: Wiley-Blackwell Ltd. Publication.
54. Leong, S. y Oey, I. (2012). Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 133(2012), 1577-1587.
55. López, M., López, H. y Olea, M. (2007). Las Vitaminas. En Cameán, A. y Repetto, M. (Ed.). *Toxicología Alimentaria* (pp. 539-552). España: Ediciones Díaz de Santos.
56. Lutz, M. (2012). ¿Podemos hablar de alimentos funcionales en Chile?. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(2), 211-216.
57. Mansour, N. (2006). *Cultive sus propios chiles*. Universidad de Oregon, Estados Unidos de Norteamérica.
58. Maraver, J., Moreno, I., Jos, A. y Cameán A. (2007). Irradiación de Alimentos. En Cameán, A. y Repetto, M. *Toxicología Alimentaria* (pp. 623-641). España: Ediciones Díaz de Santos.
59. Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. y Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 54(2), 149-154.

60. Melgarejo, P. (2003). Cámara Frigorífica y Túneles de Enfriado Rápido. (2da edición). España: editorial mundi prensa libros S.A.
61. Mercier, J., Baka, M., Reddy, B., Corcuff, R, y Arul, J. (2001). Shortwave Ultraviolet Irradiation for Control of Decay Caused by *Botrytis cinerea* in Bell Pepper: Induced Resistance and Germicidal Effects. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* , 126(1), 128-133.
62. Milla, A. (2006). Capsicum de Capsa, cápsula: el pimiento. En Namesyn, A. (Ed). *Pimientos*. (pp. 21-31). Compendios de Horticultura.
63. Mínguez, M., Pérez, A. y Hornero, D. (2005). Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples “colorantes” naturales. *Agroscic departamento de Biotecnología de Alimentos*, 1-7.
64. Mishra, V. y Gamage T.V., (2007). Postharvest Physiology of fruit and vegetables. En Rahman, M. (Ed). *Handbook of Food Preservation*. (pp. 19-48). CRC Press, 2nd edition.
65. Morales-Zoto, A., Gómez-Caravaca, A., García-Salas, P., Segura-Carretero, A. y Fernández-Gutiérrez, A. (2013). High Performance liquid chromatography coupled to diode array and electrospray time-of-flight mass spectrometry detectors for a comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in three pepper (*Capsicum annum*L.) samples. *Food Research International*, 51 (2013), 977-984.
66. Muñoz, A. y Ramos, F. (2007). Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Revista horizonte médico*, 7(1), 23-31.
67. Namesyn, A. (2006). El pimiento en el mundo. En Namesyn, A. (Ed). *Pimientos*. (pp. 21-31). Compendios de Horticultura.

68. Narvaiz, P. (2000). Irradiación de los Alimentos. Nutrinfo. Unidad de aplicaciones tecnológicas y agropecuarias, Buenos Aires, Argentina.
69. ONLYIMAGE. (2015). Pimientos. Recuperado de :<http://es.onlyimage.com/> (marzo, 2015).
70. Parzanaze, M. (2009). Vegetales Mínimamente Procesados. *Alimentos Argentinos, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca*, 32-39.
71. Patil, B. (2004). Irradiation Applications to Improve Functional Components of Fruits and Vegetables. En Komolprasert, V. y Morehouse, K. *Irradiation of Food Packaging* (p. 117-137). Washington D.C., USA.
72. Patterson, M. (2001). Irradiation of fruits and vegetables. En Molins, R. (Ed.). *Food Irradiation Principles and Applications* (p. 313-327). Canada: John Wiley & Sons.
73. Pelayo, C. y Castillo, D. (2002). Técnicas de Manejo Poscosecha a Pequeña Escala: Manual para los productos Hortofrutícolas. (4ta. ed.). México, Iztapala: UC Davis.
74. Pelayo, C. (2003). Las frutas y hortalizas como alimentos funcionales. *Departamento de Biotecnología, división de CBS, UAM-I*, 12-19.
75. Pérez, M., Torregrosa, A. y Palau, (2006). Recolección mecánica del pimiento para pimentón. En Namesyn, A. (Ed). *Pimientos*. (pp. 93-98). Compendios de Horticultura.
76. Porras-Loaiza, A. y López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 3(1), 121-134.

77. Pradell, T. (2003). Irradiación de alimentos. En Raventós, M. (Ed.). *Industria Alimentaria. Tecnologías Emergentes* (pp. 4.1-4.30). Catalonia, España: Editorial Universidad Politecnica de Catalonia.
78. Prakash, A. y Foley, D. (2004). Improving safety and extending shelf life of fresh fruits and vegetables using irradiation. En Komolprasert, V. y Morehouse, K. (Ed). *Irradiation of Food and Packaging* (pp. 90-106). Washington, Estados Unidos: Library of congress cataloging-in-piblication data.
79. PRO ECUADOR, Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones (2013), Ficha Producto-Mercado. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/pubs/pimiento-union-europea/> (Julio, 2014).
80. Raimondo, E. y Espejo, C. (2002). Envases para frutas y hortalizas frescas. Universidad de Cuyo, Argentina, 1(XXXIV), 93-98.
81. Ramana, T., Gol, N. y Shah, K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum L.*). *Scientia Horticulturae, Science Direct*, 132(2011), 18-26.
82. Rivera D., Gardea A., Martínez M., Rivera, M. y González G. (2007). Efectos Bioquímicos Postcosecha de la Irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(004), 361-372.
83. Roberts, P. (2014). Food Irradiation is safe: Half a century of studies. *Radiation Physics and Chemistry*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.05.016i> (Mayo,2015).
84. Rodríguez-Burruezo, A., González-Mas, M. y Nuez, F. (2010). Carotenoid Composition and Vitamin A Value Ají (*Capsicum baccatum L.*) and Rocoto (*C.pubescens R.&P.*), 2 pepper species from the Andean Region. *Journal of Food Science*, 75(8), 446-453.

85. Rossi, L., Watson, D., Escandarani, S., Miranda A. y Troncoso, A. (2009). La radiación a la mesa. *Infectología al día*, 26(4), 318-330.
86. Sabliov, C. y Astete, C. (2008). Encapsulation and controlled release of antioxidants and vitamins. En Gartin, N. (Ed.). *Delivery and controlled release of bioactives in foods and nutraceuticals* (pp. 299-330). Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
87. Saltveit, M. (2005). Respiratory Metabolism. Department of vegetable crops. University of California, Davis, CA.
88. Sendra, E., Capellas, M. y Guamis, B. (2001). Alimentos Irradiados. *ARBOR*, 661(2001), 129-153.
89. Sgroppo, S. y Chaves, A. (2009). Pimientos frescos cortados. En González, G., Álvarez, E., De la Rosa, L., Olivas, I. y Ayala, J. (Ed). Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados (pp. 96-119). Mexico, Argentina, España, Colombia, Puerto Rico y Venezuela: Editorial Trillas.
90. Shurong, L., Meixu, G. y Chuanyao, W. (2006). Use of irradiation to ensure hygienic quality of fresh, pre-cut and blanched vegetables and tofu. *Proceedings of a final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*, 94-105.
91. Suárez, R. (2001). Conservación de Alimentos por Irradiación. *INVENIO*, 85-124.
92. Sun, T., Xu, Z., Wu, C. Janes, M., Prinyawiwatkul, W. y No, H. (2007). Antioxidant Activities of Different Colored Sweet Bell Peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, 72(2), 98-102.

93. Suquilanda, M. (2003). Producción Orgánica de Hortalizas en Sierra Norte y central del Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador: Publi asesores.
94. Thomas, P. (2001). Irradiation of fruits and vegetables. En Molins, R. (Ed.). Food Irradiation Principles and Applications (p. 213-240). Canada: John Wiley & Sons.
95. Trigo, M., Ferreira, A., Sapata, M., Sousa, M., Curado, T., Andrada, L., Erreira, E., Botelho, M., Veloso, M. (2006). Improving Quality and safety of fresh, minimally processed fruits and by gamma irradiation. *Proceedings of a final research coordination meeting organized by the Joint FAO/IAEA programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*, 225-242.
96. Umar, S. y Xia, W. (2012). Phytochemicals and Bioactive Compounds in Tropical and Subtropical Fruits. En Siddiq, M. (Ed.). *Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology and Packaging* (pp. 53-66). New Delhi, India: John Wiley & Sons.
97. Uroz, S. (2012). *Caracterización de variedades locales de solanáceas: cuatro de tomate y tres de pimiento*. Agricultura Ecológica.
98. USDA. (2015). Basic Report 11333, Peppers, sweet, green, raw. National Nutrient Database for Standard Reference.
99. Vaclavik, V. y Christian, E. (2008). *Essentials of Food Science (3era. ed.)*. Dallas, Estados Unidos: Springer Science.
100. Vasco C. (2009). Phenolics Compounds in Ecuadorian Fruits. (Disertación doctoral). Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, Suecia.
101. Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, M., Monforte-González, G., Velásquez-García, C. y Nieto-Pelayo, Y. (2007). La Biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Rev. Fitotec. Mex.*, 30(4), 353-360.

102. Yahia, E., Contreras-Padilla, M. y González-Aguilar, G. (2001). Ascorbic Acid Content in Relation to Ascorbic Acid Oxidase Activity and Polyamine Content in Tomato and Bell Pepper Fruits During Development, Maturation and Senescence. doi:10.1006/fstl.2001.0790.

ANEXOS

ANEXO I

INVERNADERO DE PIMIENTO



Figura AI.1 Invernaderos de plántulas de pimiento



Figura AI.2 Plantas de pimiento

ANEXO II
PIMIENTO AMARILLO, ROJO Y VERDE EMPACADO CON
BANDEJAS DE POLIESTIRENO Y FILM DE PVC



Figura AII.1 Bandejas de pimiento amarillo, rojo y verde empacados en bandeja de poliestireno y recubiertos con film de PVC

ANEXO III
FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL
PRUEBA DESCRIPTIVA DE ESCALAS NO ESTRUCTURADAS

PRUEBA DESCRIPTIVA DE ESCALAS NO ESTRUCTURADAS



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
 EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL

PRODUCTO: PIMIENTO R () V () A ()
 NOMBRE: FECHA: HORA:

Usted está recibiendo dos 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.

FOTOGRAFÍAS PANEL SENSORIAL



Figura AIII.1 Panel Sensorial



Figura AIII.2 Panelistas

ANEXO IV

DETERMINACIÓN DE VITAMINA C

Extracción

- Pesar 10 g de pimiento congelado y moler en un mortero.
- En un matraz de 100 mL colocar el pimiento con 30 mL de ácido metafosfórico al 3 % y 5 mL de homocisteína al 0,2 %. Colocar el matraz en un baño ultrasonido durante 15 min.
- Filtrar el extracto y aforar a 50 mL con agua HPLC.
- Centrifugar a 5500 rpm durante 10 min y recoger el sobrenadante.

Durante la extracción y en todos los procedimientos mantener la muestra fría y protegida de la luz.

Cuantificación

- Aproximadamente 1 mL del extracto filtrar a 0,45 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: 0,3 mL/min
 - Detección: 240 nm
 - Volumen de Inyección: 0,7 μL
 - Temperatura: 20 °C
 - Tiempo de corrida: 1 min
 - Columna ACQUITY UPLC® C18 (2,1 mm * 50 mm * 1,7 μm)

Curva de Calibración:

Para la construcción de la 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 las soluciones se seguirá el mismo proceso de cuantificación 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 β -CAROTENO

Extracción

Pesar 20 g de pimiento congelado y moler en un mortero.

- En un matraz de 250 mL colocar la muestra junto con 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 decoloración (5 extracciones para pimiento verde y amarillo, y 7 para pimiento rojo).
- Filtrar los sobrenadantes y colocarlos en un embudo de separación. Añadir 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 el proceso de extracción se recomienda proteger los extractos de la luz.

Cuantificación

- Aproximadamente 1 mL del extracto filtrar a 0,45 μ m 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: 1 mL/min

Detección: 450 nm

Volumen de Inyección: 10 μ L

Temperatura: 20 °C

Tiempo de corrida: 25 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 las soluciones se seguirá el mismo proceso de cuantificación descrito anteriormente. Determinar la ecuación de la curva con las áreas y concentraciones.

ANEXO VI

DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS

Extracción

- Pesar 1 g de pimiento congelado y moler en un mortero.
- En un matraz de 250 mL colocar el pimiento con 20 mL de metanol:agua (50:50 v/v) y agitar durante 1 h en el agitador mecánico.
- Centrifugar a 4000 rpm durante 15 min y recoger el primer sobrenadante.
- Adicionar 20 mL de acetona:agua (70:30 v/v) y agitar durante 1h.
- Centrifugar nuevamente a 4000 rpm durante 15 min y recoger el sobrenadante.
- Los sobrenadantes recogidos aforar con agua destilada a 50 mL.

Cuantificación

- Tomar 0,5 mL del extracto y adicionar 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu 2N.
- Agitar durante 3min 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 750 nm de longitud de onda en el espectrofotómetro.
- Los resultados se expresan en mg de Ácido Gálico/100 g de pimiento fresco.

Curva de Calibración:

Para la construcción de la curva de calibración preparar soluciones de Ácido Gálico a concentraciones de 12,5, 25, 50 y 100 ppm. Adicionalmente se tendrá el blanco que será agua destilada. Para las soluciones y el blanco se seguirá el mismo proceso de cuantificación descrito anteriormente.

Con las absorbancias y concentraciones de las soluciones se trazará la curva de calibración y se determinará la ecuación de la curva.

ANEXO VII
CROMATOGRAMAS DE VITAMINA C Y β -CAROTENO

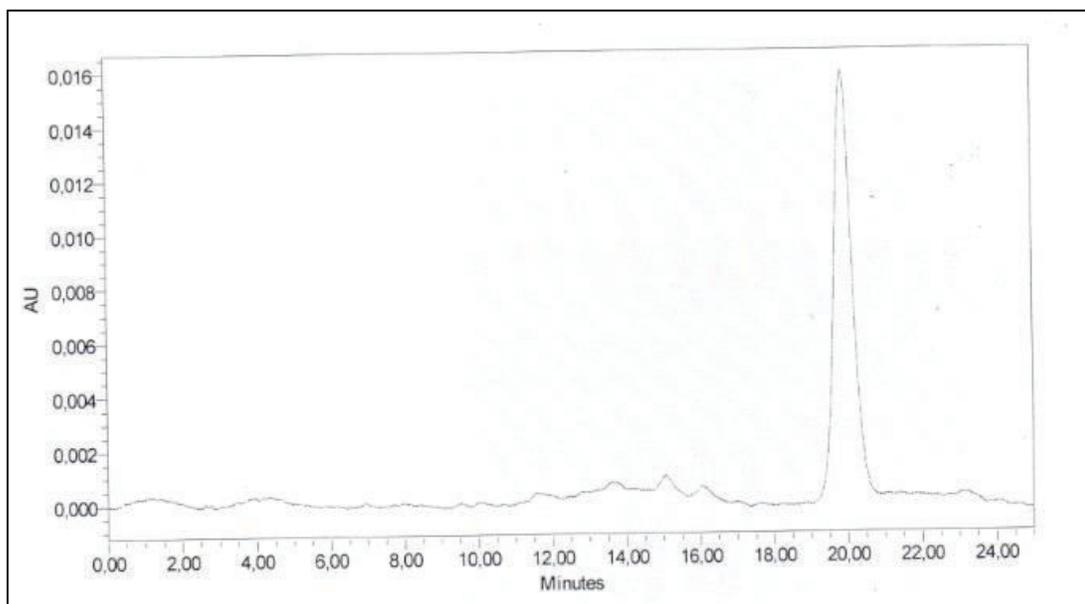


Figura VII.1 Cromatograma de β -caroteno para pimiento

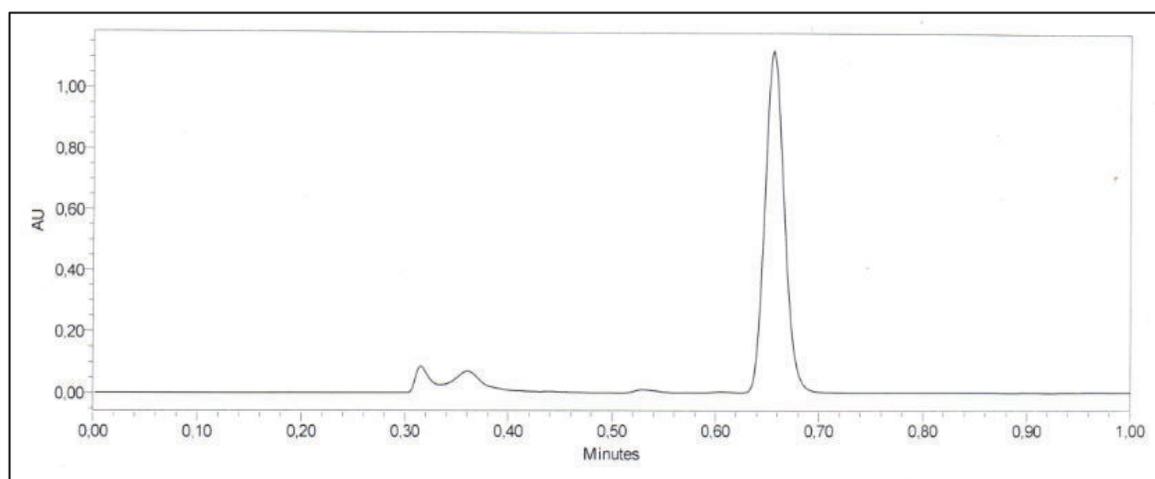


Figura VII.2 Cromatograma de vitamina C para pimiento

ANEXO VIII

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE PIMIENTO IRRADIADO A DOSIS DE 0 A 1 000 Gy (A 20 °C Y 80 % HR)

Tabla AVIII.1 Evaluación de parámetros físicos de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
0	0	45,37	-
	7	56,56	3,06
	14	51,39	5,04
250	0	68,09	-
	7	44,24	4,58
	14	50,46	8,13
500	0	60,79	-
	7	58,09	4,27
	14	65,77	6,99
750	0	68,83	-
	7	66,31	4,90
	14	48,52	7,28
1 000	0	61,53	-
	7	51,16	2,43
	14	52,37	5,13

Tabla AVIII.2 Evaluación de parámetros físicos de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
0	0	58,73	-
	7	72,68	3,55
	14	56,37	4,97

250	0	58,94	-
	7	71,51	4,05
	14	59,47	6,63
500	0	61,68	-
	7	64,96	3,82
	14	60,66	6,23
750	0	54,85	-
	7	63,30	3,28
	14	60,82	7,08
1 000	0	56,98	-
	7	69,58	2,39
	14	52,05	4,94

Tabla AVIII.3 Evaluación de parámetros físicos de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
0	0	70,77	-
	7	49,34	1,65
	14	47,09	4,19
250	0	46,72	-
	7	49,87	2,48
	14	49,21	4,08
500	0	57,50	-
	7	46,28	3,71
	14	39,01	6,45
750	0	48,84	-
	7	49,53	2,05
	14	42,47	5,07
1 000	0	50,74	-
	7	51,45	1,63
	14	44,24	3,93

ANEXO IX

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE CALIDAD VISUAL DE

PIMIENTO IRRADIADO A DOSIS DE 0 A 1 000 Gy (A 20 °C Y 80 % HR)

Tabla AIX.1 Evaluación de la calidad visual de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	% Coloración	Turgencia	Marchitez del Pedúnculo	%Patógenos	Daño Físico
0	0	3,70	5,00	4,87	5,00	4,57
	7	4,77	4,90	4,17	4,97	4,47
	14	4,90	4,57	4,00	4,80	4,33
250	0	4,03	5,00	4,07	5,00	4,66
	7	4,90	4,77	4,43	4,77	4,30
	14	4,97	4,00	4,00	4,40	3,60
500	0	3,93	4,97	4,27	5,00	4,63
	7	4,73	4,53	4,13	4,73	4,43
	14	5,00	4,41	4,03	4,83	4,21
750	0	3,90	4,97	4,37	5,00	4,57
	7	4,83	4,60	4,17	4,87	4,40
	14	4,97	4,50	3,93	4,73	4,20
1 000	0	3,87	5,00	4,30	5,00	4,50
	7	4,70	4,57	3,90	4,97	4,50
	14	5,00	4,43	3,67	4,57	4,23

Tabla AIX.2 Evaluación de la calidad visual de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	% de coloración	Turgencia	Marchitez del pedúnculo	% patógenos	Daño Físico
0	0	3,73	5,00	4,63	5,00	4,80
	7	4,40	4,60	4,00	5,00	4,23
	14	4,90	4,63	4,07	4,67	4,00

250	0	4,13	4,97	4,43	5,00	4,73
	7	4,70	4,93	4,37	4,90	4,87
	14	4,93	4,37	3,97	4,57	4,30
500	0	3,87	4,97	4,47	5,00	4,73
	7	4,63	4,80	4,33	4,87	4,40
	14	5,00	4,10	3,77	4,60	4,33
750	0	4,33	4,87	4,60	5,00	4,73
	7	4,77	4,93	4,30	4,67	4,53
	14	5,00	4,37	3,93	4,30	3,67
1 000	0	3,53	4,93	4,40	5,00	4,73
	7	4,73	4,77	4,13	4,93	4,33
	14	5,00	4,20	3,93	4,70	4,20

Tabla AIX.3 Evaluación de la calidad visual de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % de HR

Dosis (Gy)	Días de almacenamiento	Turgencia	Marchitez del pedúnculo	% Patógenos	Daño Físico
Control	0	5,00	4,43	5,00	5,00
	7	4,90	4,07	4,93	4,73
	14	4,63	4,07	4,73	4,80
250	0	5,00	4,47	5,00	4,93
	7	4,93	4,03	4,97	4,77
	14	4,60	3,70	4,83	4,40
500	0	5,00	4,43	5,00	5,00
	7	4,93	4,07	4,90	4,43
	14	4,43	3,47	4,80	4,03
750	0	4,87	4,30	5,00	4,93
	7	4,93	3,97	4,80	4,57
	14	4,23	3,07	4,63	3,80
1 000	0	4,97	4,37	5,00	4,97
	7	4,90	3,97	4,93	4,70
	14	4,43	3,47	4,73	4,23

ANEXO X

**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE
TRES VARIEDADES DE PIMIENTO IRRADIADO (1 000 Gy) y SIN
IRRADIAR ALMACENADOS A 8°C Y 95% DE HR**

Tabla AX.1 Evaluación de parámetros físicos de pimiento amarillo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
Sin Irradiar	7	54,81	0,76
	14	59,16	1,18
	21	52,11	1,59
	28	56,10	2,43
Irradiado	7	48,93	0,75
	14	60,05	1,15
	21	49,75	1,62
	28	45,83	2,45

Tabla AX.2 Evaluación de parámetros físicos de pimiento rojo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
Sin Irradiar	7	55,23	0,77
	14	64,82	1,46
	21	63,64	1,88
	28	42,29	2,37
Irradiado	7	54,96	0,66
	14	62,53	1,33
	21	52,92	1,74
	28	50,83	2,22

Tabla AX.3 Evaluación de parámetros físicos de pimiento verde irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Firmeza (N)	Pérdida de Peso (%)
Sin Irradiar	7	50,28	0,74
	14	65,43	1,33
	21	57,34	2,30
	28	56,66	4,38
Irradiado	7	55,25	0,70
	14	56,87	1,24
	21	52,07	2,10
	28	56,28	2,16

ANEXO XI

**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN VISUAL DE TRES VARIEDADES
DE PIMIENTO IRRADIADO (1 000 Gy) y SIN IRRADIAR
ALMACENADOS A 8°C Y 95% DE HR**

Tabla AXI.1 Evaluación de la calidad visual de pimiento amarillo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Turgencia	% de coloración	Marchitez del Pedúnculo	% patógenos	Daño Físico
Sin Irradiar	7	5,00	4,11	4,33	5,00	4,93
	14	4,92	4,42	4,31	4,77	4,65
	21	4,72	4,72	4,00	4,60	4,20
	28	4,54	4,83	3,25	4,13	3,42
Irradiado	7	5,00	4,13	4,50	5,00	4,92
	14	4,85	4,69	4,35	4,81	4,65
	21	4,72	4,88	3,88	4,56	4,24
	28	4,41	4,86	3,97	4,48	4,21

Tabla AXI.2 Evaluación de la calidad visual de pimiento rojo irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Turgencia	% de coloración	Marchitez del Pedúnculo	% patógenos	Daño Físico
Sin Irradiar	7	5,00	4,35	4,42	5,00	5,00
	14	5,00	4,67	4,13	4,79	4,92
	21	4,93	4,89	3,89	4,59	4,70
	28	4,46	4,92	3,04	3,96	3,62
Irradiado	7	5,00	4,40	4,28	5,00	5,00
	14	5,00	4,50	4,50	4,88	4,96
	21	4,93	4,72	4,17	4,76	4,59
	28	4,81	4,88	3,85	4,69	4,50

Tabla AXI.3 Evaluación de la calidad visual de pimiento verde irradiado (1000 Gy) y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Turgencia	% de coloración	Marchitez del Pedúnculo	% patógenos	Daño Físico
Sin Irradiar	7	5,00	4,00	4,42	5,00	4,96
	14	5,00	4,00	4,00	4,80	4,72
	21	5,00	4,00	4,07	4,59	4,78
	28	4,85	4,00	3,78	4,37	4,11
Irradiado	7	5,00	4,00	4,63	5,00	5,00
	14	4,97	4,00	4,38	4,90	4,72
	21	5,00	4,00	4,04	4,75	4,61
	28	4,83	4,00	3,90	4,69	4,21

ANEXO XII

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE TRES

VARIETADES DE PIMIENTO IRRADIADO (1 000 Gy) y SIN IRRADIAR

ALMACENADOS A 8°C Y 95% DE HR

Tabla AXII.1 Evaluación sensorial de pimiento amarillo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Apariencia General	Aroma	Dureza	Color	Sabores-olores extraños
Sin Irradiar	7	8,44	5,97	6,12	6,48	1,33
	14	7,85	6,11	5,75	6,64	1,03
	21	7,22	6,19	7,12	6,91	1,00
	28	6,88	5,40	5,83	5,39	1,23
Irradiado	7	8,43	5,41	6,00	7,13	0,83
	14	7,41	5,22	5,97	6,61	0,70
	21	7,60	5,80	6,15	7,42	0,93
	28	6,01	5,92	5,38	7,48	1,03

Tabla AXII.2 Evaluación sensorial de pimiento rojo irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Apariencia General	Aroma	Dureza	Color	Sabores-olores extraños
Sin Irradiar	7	7,63	5,58	5,53	6,65	0,69
	14	7,07	5,38	6,03	7,91	0,37
	21	7,16	6,80	6,13	8,15	0,98
	28	5,61	6,11	6,38	6,52	1,48
Irradiado	7	6,88	5,26	6,07	6,99	0,68
	14	6,98	5,59	4,17	6,88	0,42
	21	6,91	6,41	5,98	7,75	1,03
	28	6,03	6,39	5,08	7,22	1,41

Tabla AXII.3 Evaluación sensorial de pimiento verde irradiado y sin irradiar almacenados hasta 28 días a 8 °C y 95 % de HR

Tratamiento	Días de almacenamiento	Apariencia General	Aroma	Dureza	Color	Sabores-olores extraños
Sin Irradiar	7	7,34	5,42	6,86	7,68	0,90
	14	7,73	5,32	5,97	7,16	0,48
	21	6,95	6,43	7,19	7,47	0,93
	28	5,75	5,06	6,84	7,52	2,11
Irradiado	7	7,16	5,36	6,96	7,18	0,63
	14	6,93	5,88	5,46	6,63	0,62
	21	7,38	5,24	6,11	7,28	0,80
	28	5,82	5,25	6,78	6,53	1,53

ANEXO XIII

RESULTADOS DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS

Tabla AXIII.1 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	1,0782	0,333	56,47	261,88	55,39	171,73
	1,0959	0,218	34,77	158,65		
	1,0326	0,155	22,89	110,82		
	1,0754	0,197	33,44	155,46		
	1,0099	0,204	34,71	171,84		
250	1,0707	0,219	34,96	163,27	73,84	178,13
	1,0642	0,376	64,58	303,44		
	1,0399	0,152	22,32	107,32		
	1,0364	0,201	34,16	164,82		
	1,0414	0,187	31,62	151,81		
500	1,0401	0,222	35,53	170,79	8,50	179,54
	1,1713	0,246	40,06	170,99		
	1,0781	0,241	39,11	181,40		
	1,0252	0,221	37,80	184,35		
	1,0274	0,228	39,07	190,15		
750	1,0254	0,218	34,77	169,56	20,88	141,70
	1,108	0,179	27,42	123,71		
	1,0632	0,212	33,64	158,21		
	1,0892	0,163	27,25	125,11		
	1,0882	0,171	28,71	131,91		
1 000	1,0929	0,236	38,17	174,63	29,39	156,52
	1,0085	0,207	32,70	162,11		
	1,2019	0,182	27,98	116,40		
	1,0529	0,234	40,16	190,73		
	1,0413	0,172	28,89	138,73		

Tabla AXIII.2 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Irradiado	1,1144	0,11	17,62	79,05	8,92	80,22
	1,0145	0,12	19,44	95,79		
	1,06	0,099	15,62	73,67		
	1,0456	0,1	15,80	75,55		
	1,0252	0,1	15,80	77,06		
Sin Irradiar	1,0241	0,1	15,80	77,14	12,03	78,67
	1,1211	0,13	21,25	94,79		
	1,0506	0,097	15,25	72,60		
	1,1481	0,121	19,62	85,44		
	1,2755	0,102	16,16	63,36		

Tabla AXIII.3 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	1,0347	0,192	31,75	153,44	8,53	141,31
	1,0585	0,171	28,19	133,17		
	1,083	0,175	28,87	133,29		
	1,1155	0,187	31,62	141,72		
	1,022	0,176	29,62	144,90		
250	1,0323	0,183	30,23	146,41	8,87	151,05
	1,1947	0,203	33,62	140,69		
	1,0805	0,203	33,62	155,56		
	1,0045	0,194	32,89	163,72		
	1,0254	0,181	30,53	148,86		
500	1,0074	0,192	31,75	157,60	5,32	156,88
	1,0818	0,193	31,92	147,54		

Tabla AXIII.3 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy (continuación...)

	1,0903	0,21	34,80		159,61		
	1,1015	0,206	35,07		159,20		
	1,0703	0,202	34,35		160,45		
750	1,0595	0,168	25,34		119,58	24,53	152,02
	1,0921	0,245	39,87		182,53		
	1,0778	0,21	33,26		154,32		
	1,1112	0,181	30,53		137,36		
	1,0655	0,208	35,44		166,29		
1 000	1,0568	0,256	41,94		198,45	23,08	160,92
	1,0906	0,226	36,28		166,34		
	1,0546	0,197	30,81		146,08		
	1,0986	0,183	30,89		140,59		
	1,0502	0,19	32,16		153,13		

Tabla AXIII.4 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Irradiado	1,1996	0,085	9,68	40,34	13,56	60,72
	1,0623	0,098	12,13	57,10		
	1,0067	0,105	13,45	66,82		
	1,0132	0,099	15,62	77,07		
	1,0353	0,084	12,89	62,26		
Sin Irradiar	1,2818	0,107	13,83	53,95	17,85	56,22
	1,1589	0,081	8,92	38,50		
	1,0527	0,085	9,68	45,97		
	1,1568	0,086	13,25	57,29		
	1,0852	0,115	18,53	85,36		

Tabla AXIII.5 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis (Gy)	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	1,0231	0,121	19,72	96,36	4,65	89,44
	1,0285	0,116	18,87	91,73		
	1,0457	0,109	17,68	84,55		
	1,1123	0,12	19,44	87,37		
	1,0523	0,114	18,35	87,17		
250	1,109	0,15	24,63	111,06	22,74	107,09
	1,062	0,182	30,06	141,51		
	1,0507	0,141	23,11	109,96		
	1,0117	0,107	17,07	84,38		
	1,077	0,118	19,07	88,55		
500	1,0753	0,155	25,48	118,48	5,52	118,88
	1,0645	0,165	27,18	127,65		
	1,0648	0,151	24,80	116,46		
	1,0403	0,142	23,44	112,64		
	1,1358	0,162	27,07	119,18		
750	1,0406	0,142	23,28	111,84	8,35	104,05
	1,1082	0,147	24,12	108,84		
	1,0956	0,145	23,79	108,55		
	1,0152	0,124	20,16	99,31		
	1,0995	0,124	20,16	91,69		
1 000	1,0104	0,09	14,46	71,56	10,92	75,51
	1,083	0,126	20,56	94,94		
	1,0627	0,093	14,97	70,43		
	1,119	0,098	15,44	68,97		
	1,0902	0,099	15,62	71,63		

Tabla AXIII.6 Contenido de compuestos fenólicos de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Irradiado	1,08	0,067	10,56	48,90	7,00	46,27
	1,11	0,07	11,07	49,87		
	1,02	0,065	10,22	50,12		
	1,0258	0,068	9,98	48,65		
	1,2347	0,059	8,35	33,80		
Sin Irradiar	1,1107	0,068	10,73	48,31	6,06	43,88
	1,0158	0,065	10,22	50,32		
	1,2058	0,061	9,55	39,58		
	1,14	0,07	10,35	45,37		
	1,2412	0,062	8,89	35,82		

ANEXO XIV

RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C

Tabla AXIV.1 Contenido de vitamina C de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	10,2861	2908417	4,20E-01	204,18	52,59	151,38
	10,1614	2115487	3,07E-01	150,94		
	10,4431	1415669	2,07E-01	99,01		
250	10,2662	1764238	2,57E-01	124,96	8,82	115,71
	10,2008	1606961	2,34E-01	114,75		
	10,0049	1472539	2,15E-01	107,40		
500	10,496	2194052	3,18E-01	151,48	23,80	125,61
	10,3535	1485144	2,17E-01	104,66		
	10,0629	1668481	2,43E-01	120,69		
750	10,0849	2898862	4,19E-01	207,57	46,63	153,93
	10,2756	1853677	2,69E-01	131,07		
	10,036	1698294	2,47E-01	123,14		
1000	10,1344	1721577	2,50E-01	123,58	15,29	140,86
	9,9933	2104276	3,05E-01	152,68		
	10,4751	2113674	3,07E-01	146,30		

Tabla AXIV.2 Contenido de vitamina C de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	10,3739	257867	4,14E-02	19,95	4,37	19,25
	10,2788	302441	4,78E-02	23,23		
	10,0025	172217	2,92E-02	14,57		
Irradiado	10,1423	511943	7,77E-02	38,30	2,53	40,78
	10,159	584644	8,81E-02	43,35		
	10,3742	559441	8,45E-02	40,71		

Tabla AXIV.3 Contenido de vitamina C de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desv. Estándar	Promedio
0	10,164	1485311	2,17E-01	106,62	10,41	118,20
	10,2976	1715200	2,50E-01	121,18		
	10,0481	1751816	2,55E-01	126,79		
250	10,2207	1686421	2,45E-01	120,08	6,04	113,85
	10,1521	1580831	2,30E-01	113,47		
	10,1437	1502070	2,19E-01	108,01		
500	10,1665	1579949	2,30E-01	113,24	7,30	106,35
	10,1202	1485495	2,17E-01	107,09		
	10,1669	1373118	2,01E-01	98,71		
750	10,2295	1416495	2,07E-01	101,13	2,56	99,19
	10,2086	1399515	2,04E-01	100,15		
	10,1256	1333067	1,95E-01	96,28		
1000	10,2479	1617265	2,36E-01	114,94	8,64	106,28
	10,5077	1530634	2,23E-01	106,21		
	10,3352	1381434	2,02E-01	97,67		

Tabla AXIV.4 Contenido de vitamina C de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	10,0504	2027547	2,94E-01	146,36	19,04	124,56
	10,1532	1548867	2,26E-01	111,20		
	10,2145	1628512	2,37E-01	116,11		
Irradiado	10,224	1781725	2,59E-01	126,70	5,80	127,07
	10,1254	1689963	2,46E-01	121,46		
	10,2984	1886369	2,74E-01	133,05		

Tabla AXIV.5 Contenido de vitamina C de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desv. Estándar	Promedio
0	10,1165	1566703	2,28E-01	112,87	18,42	93,29
	10,0234	1038984	1,53E-01	76,31		
	10,1823	1260941	1,85E-01	90,69		
250	10,0141	1078155	1,59E-01	79,17	8,21	74,73
	10,0126	882844	1,31E-01	65,25		
	10,1766	1104449	1,62E-01	79,76		
500	10,689	1055189	1,55E-01	72,64	13,81	88,58
	10,2875	1353634	1,98E-01	96,20		
	10,0775	1335266	1,95E-01	96,90		
750	10,0147	1206587	1,77E-01	88,33	12,18	77,87
	10,2315	891933	1,32E-01	64,49		
	10,2535	1127845	1,66E-01	80,79		
1000	10,0206	1265037	1,85E-01	92,44	10,70	97,78
	10,0811	1249523	1,83E-01	90,79		
	10,0958	1524304	2,22E-01	110,10		

Tabla AXIV.6 Contenido de vitamina C de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	10,2087	773702	1,15E-01	56,36	2,69	56,86
	10,1618	742849	1,11E-01	54,45		
	10,1331	816038	1,21E-01	59,77		
Irradiado	10,0651	607585	9,13E-02	45,38	28,56	74,47
	10,1216	1420208	2,07E-01	102,47		
	10,0208	1028377	1,51E-01	75,57		

ANEXO XV

RESULTADOS DEL CONTENIDO DE β -CAROTENO

Tabla AXV.1 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	20,21	561782	1,23E-01	6,08	1,29	5,70
	19,99	486725	8,53E-02	4,27		
	20,11	587935	1,36E-01	6,76		
250	20,07	471708	7,78E-02	3,88	2,33	5,31
	20,19	480466	8,22E-02	4,07		
	20,45	643302	1,64E-01	8,00		
500	21,13	402341	4,31E-02	2,04	1,07	3,17
	21,04	491995	8,79E-02	4,18		
	20,1	447981	6,59E-02	3,28		
750	21,24	371648	2,77E-02	1,31	2,08	3,39
	20,41	539285	1,12E-01	5,47		
	20,24	453532	6,87E-02	3,39		
1000	20,17	467389	7,56E-02	3,75	1,62	4,94
	20,15	589542	1,37E-01	6,78		
	21,11	497476	9,07E-02	4,29		

Tabla AXV.2 Contenido de β -caroteno de pimiento amarillo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	20,61	532881	1,08E-01	5,26	0,35	5,58
	20,03	554814	1,19E-01	5,96		
	20,13	539052	1,11E-01	5,54		
Irradiado	20,51	725566	2,05E-01	9,98	1,74	8,04
	20,05	617568	1,51E-01	7,52		
	20,57	588300	1,36E-01	6,62		

Tabla AXV.3 Contenido de β -caroteno de pimiento rojo irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	20,42	1223370	4,54E-01	22,21	2,61	24,77
	20,31	1430351	5,57E-01	27,43		
	20,57	1330819	5,07E-01	24,66		
250	21,36	1306575	4,95E-01	23,18	6,64	21,92
	20,49	1457333	5,71E-01	27,85		
	21,82	959551	3,22E-01	14,74		
500	20,93	1120694	4,02E-01	19,22	3,83	19,17
	20,73	1268516	4,76E-01	22,97		
	21,38	970618	3,27E-01	15,31		
750	21,51	841915	2,63E-01	12,22	5,53	18,44
	20,59	1255522	4,70E-01	22,81		
	20,74	1157573	4,21E-01	20,28		
1000	20,62	1173448	4,29E-01	20,79	7,63	25,49
	20,9	1210087	4,47E-01	21,39		
	21,33	1779202	7,32E-01	34,30		

Tabla AXV.4 Contenido de β -caroteno de pimiento rojo irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	20,24	1552296	6,18E-01	30,54	3,42	33,40
	20,48	1839309	7,62E-01	37,19		
	20,18	1626942	6,55E-01	32,48		
Irradiado	20,65	1752943	7,18E-01	34,79	2,58	34,46
	20,69	1629627	6,57E-01	31,74		
	20,08	1796566	7,40E-01	36,86		

Tabla AXV.5 Contenido de β -caroteno de pimiento verde irradiado a dosis de 0 a 1 000 Gy

Dosis de Radiación (Gy)	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
0	20,99	573239	1,29E-01	6,12	0,46	5,76
	21,36	568440	1,26E-01	5,91		
	20,19	527991	1,06E-01	5,25		
250	20,61	583973	1,34E-01	6,50	1,10	5,71
	21,79	510319	9,71E-02	4,46		
	20,22	565744	1,25E-01	6,17		
500	20,4	565025	1,24E-01	6,10	1,00	5,34
	20,35	549059	1,16E-01	5,72		
	20,81	491369	8,76E-02	4,21		
750	21,79	574449	1,29E-01	5,93	0,93	6,99
	19,99	622707	1,53E-01	7,67		
	20,25	614303	1,49E-01	7,36		
1 000	20,72	584160	1,34E-01	6,47	0,17	6,63
	20,4	585903	1,35E-01	6,61		
	20,05	588910	1,36E-01	6,80		

Tabla AXV.6 Contenido de β -caroteno de pimiento verde irradiado (1 000 Gy) y sin irradiar después de 28 días a 8°C y 95 % de HR

Irradiación	Peso de la muestra (g)	Área	Concentración (mg/mL)	Concentración (mg/100 g de pimiento fresco)	Desviación Estándar	Promedio
Sin Irradiar	20,22	488021	8,59E-02	21,25	9,45	22,29
	19,96	573335	1,29E-01	32,21		
	20,65	426823	5,53E-02	13,40		
Irradiado	20,66	496872	9,04E-02	21,87	4,99	21,41
	20,42	529881	1,07E-01	26,17		
	20,6	449725	6,68E-02	16,21		

ANEXO XVI

EJEMPLOS DE CURVAS DE CALIBRACIÓN

- VITAMINA C

A continuación se presentan los datos obtenidos para la realización de la curva de calibración de vitamina C.

Tabla AXVI.1 Datos de la curva de calibración para vitamina C

Concentración (mg/mL)	Área
0,05	324769
0,1	673651
0,2	1385087
0,4	2802103

La curva de calibración de vitamina C encontrada es:

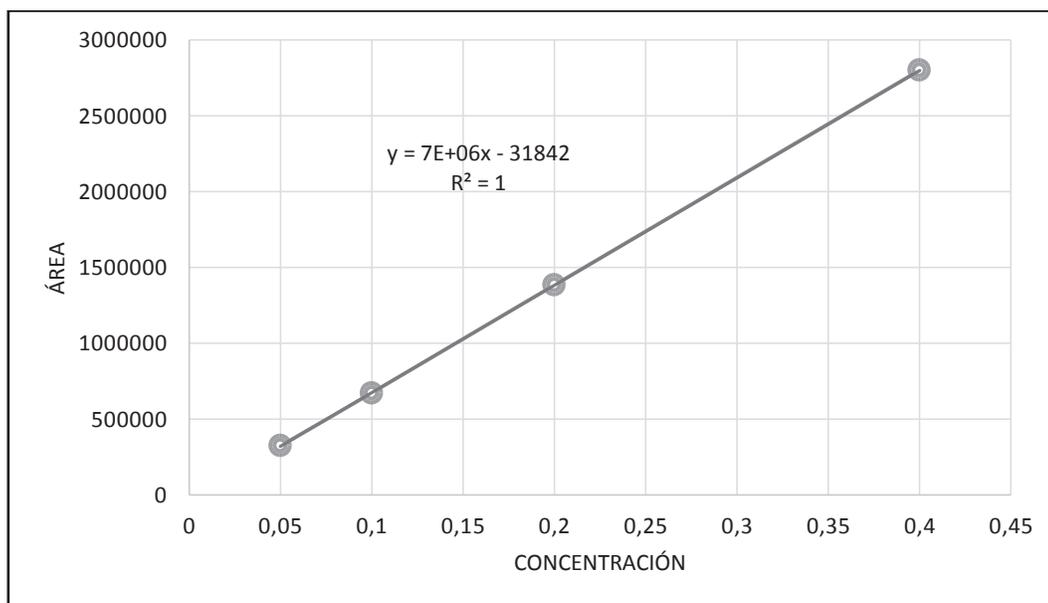


Figura XVI.1 Curva de calibración de vitamina C

- β -CAROTENO

A continuación se presentan los datos obtenidos para la realización de la curva de calibración de β -caroteno.

Tabla AXVI.2 Datos de la curva de calibración para β -caroteno

Concentración (mg/mL)	Área
0,12	542205
0,06	443226
0,03	398544
0,015	319065
0,24	783800
0,48	1251440
0,98	2225690

La curva de calibración para β -caroteno encontrada es:

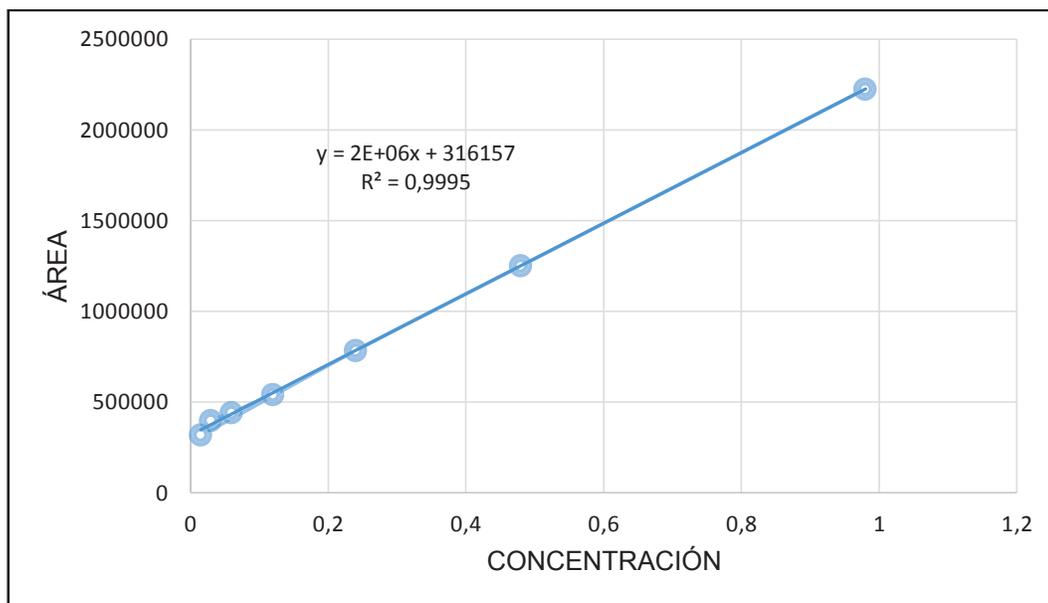


Figura XVI.2 Curva de calibración para β -caroteno

- COMPUESTOS FENÓLICOS

A continuación se presentan los datos obtenidos para la realización de una de las curvas de calibración para compuestos fenólicos solubles totales.

Tabla AXVI.3 Datos de la curva de calibración para compuestos fenólicos

Concentración (mg ácido gálico/mL)	Absorbancia
12,5	0,078
25	0,152
50	0,3
100	0,595
150	0,89
200	1,184

La curva de calibración para compuestos fenólicos determinada es:

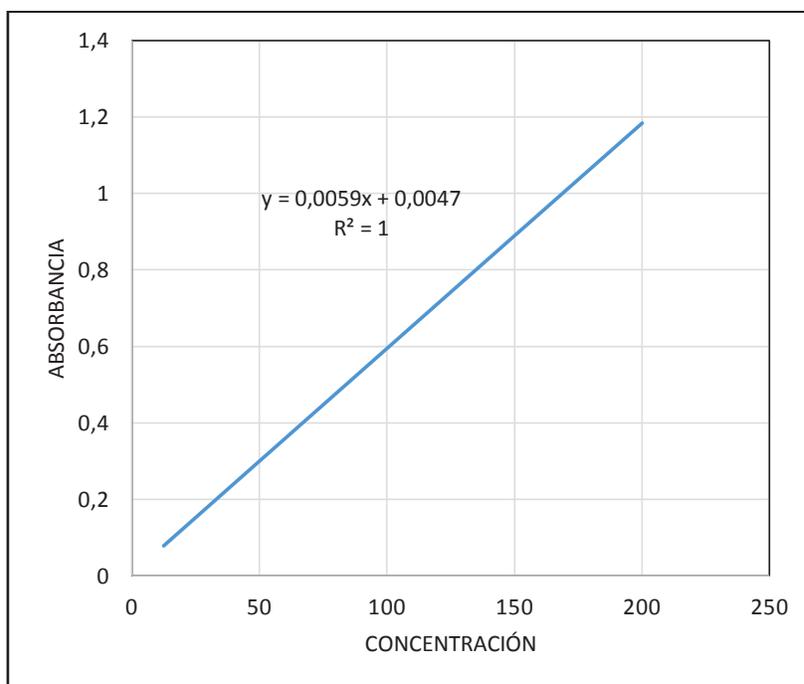


Figura XVI.3 Curva de calibración para compuestos fenólicos

ANEXO XVII
HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS
SELECCIONADOS

Tabla AXVII.1 Hoja de especificación técnica de la balanza industrial

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 1		
Nombre del equipo: Balanza Industrial		
Comercializadora: Ingematic S.A	Modelo: DHW	Material de construcción: Plato de acero inoxidable
		Número en planta: 1
Dimensiones: Del Plato Largo (L): 420 Ancho (W): 520 m		Parámetros de diseño: Capacidad: 150 kg Unidades: kg y lb Fuente de Energía: AC 110V/230V (±10%) + DC 6V/4 Ah batería recargable Pantalla: LCD, 6 dígitos, 25 mm (Altura), LED de luz de fondo.
Principio de funcionamiento: Pesar el pimiento receptado.		
Modalidad de operación: Batch		
Esquema del equipo:		
		

Tabla AXVII.2 Hoja de especificación técnica de la máquina de lavado y desinfección

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 2		
Nombre del equipo: Lavadora tipo Cepillos		Codificación: LDS-201
Fabricante: VANMARK	Modelo: 0300	Material de construcción: Acero Inoxidable
		Número en planta: 1
Dimensiones: Largo (L): 3,42 m Ancho (W): 1,8 m Alto (H): 1,09 m		Parámetros de diseño: Capacidad: Hasta 1 t/h Equipos auxiliares: tanque, bomba, 21 rodillos de nylon, abrasivos, absorbentes, ventilador. Velocidad rodillos: 100-500 rpm Agua: 20-40 gpm Potencia: motor 5hp, ventilador 0,55 kW
Principio de funcionamiento: La función que va a cumplir este equipo es la de lavar y desinfectar el vegetal, eliminando cualquier tipo de material extraño. El vegetal pasa por encima de 8 barras de pelo y es bañado aspersión de agua. Luego atraviesa por encima de 13 barras de donuts de espuma de látex, que junto al ventilador superior ayudan al secado del producto, además un conjunto de rodillos exprimen el agua sobrante.		
Modalidad de operación: Semi-continuo		
Esquema del equipo:		
<p>The technical drawing consists of three views of the machine:</p> <ul style="list-style-type: none"> Left View (Side): Shows the brush assembly with a motor. Dimensions include: 'ANCHURA DE LA DESCARGA' (73.63 cm / 290.71 in), 'ALTURA DE ENTRADA' (42.94 cm / 169.06 in), and 'LONGITUD DE LA DESCARGA DE DESECHOS 3 PULG' (134.83 cm / 530.81 in). Right View (Top): Shows the discharge length and brush width. Dimensions include: 'LONGITUD DE LA DESCARGA DE DESECHOS' (28.18 cm / 111.34 in), 'LONGITUD DE LA DESCARGA DE DESECHOS 3 PULG' (116.98 cm / 460.55 in), and overall length (134.83 cm / 530.81 in). Bottom View (Front): Shows the discharge width and overall length. Dimensions include: 'ANCHURA DE LA DESCARGA DE DESECHOS' (60.75 cm / 239.17 in), 'LONGITUD DE LA DESCARGA DE DESECHOS 3 PULG' (73.63 cm / 290.71 in), and overall length (99.31 cm / 391.00 in). 		

Tabla AXVII.3 Hoja de especificación técnica de la banda transportadora

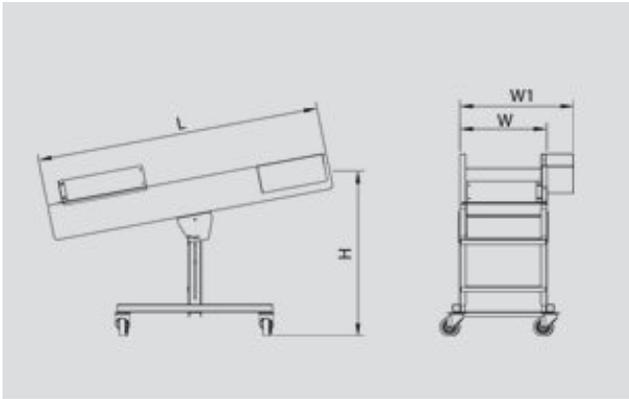
HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 3		
Nombre del equipo: Banda Transportadora		Codificación: BT-301
Fabricante: NIKO	Modelo: JT-2300	Material de construcción: material no tóxico
		Número en planta: 1
Dimensiones: Largo (L): 2,3 m Ancho (W): 0,62 m Alto (H): 0,97 m		Parámetros de diseño: Potencia: 0,25 kW Peso: 73 kg
Principio de funcionamiento: Transportar el vegetal hacia el área de empaque, permitir una etapa de secado adicional por ventilación natural. Además se podrá seleccionar vegetales que pudieron haber sufrido alguna alteración durante el lavado.		
Modalidad de operación: Semi-continuo		
Esquema del equipo:		
		

Tabla AXVII.4 Hoja de especificación técnica de envolvedora de bandeja

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 4		
Nombre del equipo: Envolvedora de Bandejas		Codificación: EB-401
Fabricante: Retractil y Embalaje Pablo S.L.	Modelo: KW-450	Material de construcción: Acero inoxidable
		Número en planta: 4
Dimensiones: Largo (L): 650 mm Ancho (W): 480 mm Alto (H): 130 mm		Parámetros de diseño: Potencia: 220V/50Hz Medidas bandeja: 385mm (W) x 125mm (L)
Principio de funcionamiento: Envolver bandejas de alimentos con film plástico.		
Modalidad de operación: Semi-continuo		
Esquema del equipo:		
		

Tabla AXVII.5 Hoja de especificación técnica de la cámara de refrigeración

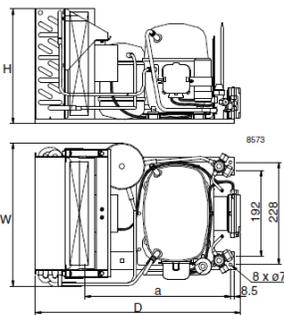
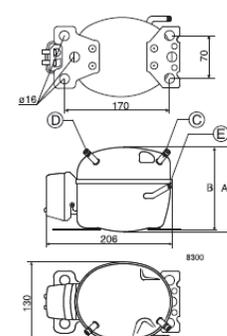
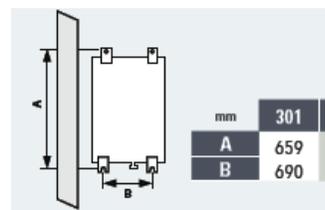
HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 5								
Nombre del equipo: Cámara de Refrigeración		Codificación: CR-501						
Fabricante: N.A.	Modelo: N.A.	Material de construcción: Acero inoxidable						
		Número en planta: 1						
Dimensiones: Largo (L): 5 m Ancho (W): 3 m Alto (H): 3 m		Parámetros de diseño: Calor a retirar: 117 725 kJ/día Evaporador: 1362,63 W Compresor: 140,39 W Condensador: 1503,02 W						
Principio de funcionamiento: Refrigerar y almacenar el producto terminado.								
Modalidad de operación: Continuo								
<p>Unidades seleccionadas en catálogos: -Compresor: marca Danfoss, modelo PL35G, capacidad frigorífica 172 W, refrigerante R-134^a, dimensiones: 137*135 mm</p> <p>-Condensador: marca Danfoss, capacidad 1505 W, volumen recipiente 1,1 L, dimensiones: 256*321*458</p> <p>-Evaporador: marca Zanotti, modelo SKA-301- MJE, 1L, superficie 9,5 m², paso aleta 6mm, dimensiones: 659*690*200 mm</p> <p>-Válvula de expansión termostática para R134a 55psig/5 bar</p>								
Esquema del equipo:								
		 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>mm</th> <th>301</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>659</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>690</td> </tr> </tbody> </table>	mm	301	A	659	B	690
mm	301							
A	659							
B	690							
Evaporador	Compresor	Condensador						

Tabla AXVII.6 Hoja de especificación técnica balanza impresora de etiquetas

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 6		
Nombre del equipo: Balanza impresora de etiquetas		
Comercializadora: Ingematic S.A	Modelo: LS2XS	Material de construcción: Plato de acero inoxidable
		Número en planta: 2
Dimensiones: Largo (L): 384 mm Ancho (W): 429,1 m m Alto (H): 478,3 mm		Parámetros de diseño: Capacidad: 15 kg Unidades: kg y g Velocidad de impresión: 50mm/s Fuente de Energía: AC-100240V Pantalla: LCD
Principio de funcionamiento: Pesar, y generar etiqueta con precio del producto final.		
Modalidad de operación: Batch		
Esquema del equipo:		
<p>The technical drawing shows the following dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> Front View: Width 344.9mm (13.6"), Height 158.2mm (6.2"). Left Side View: Total height 478.3mm (18.8"), height to top of scale 182mm (7.15"), base width 364mm (14.3"). Right Side View: Total height 500mm (19.7"), height to top of scale 240.3mm (9.47"), base width 364mm (14.3"). Top View: Width 344.9mm (13.6"), depth 272mm (10.7"). Rear View: Total height 478.3mm (18.8"), height to top of scale 158.2mm (6.2"), base width 429.1mm (16.9"). 		

ANEXO XVIII

DISEÑO DE LA CÁMARA DE REFRIGERACIÓN

- Dimensiones de la cámara

Se conoce que la producción diaria será de 881 bandejas, éstas se colocarán en kavetas plásticas de 60*40*25 cm. En cada kaveta se pueden colocar hasta 9 bandejas, por lo que es necesario 98 kavetas para el almacenamiento.

Dentro de la cámara se conformará 2 grupos de 42 kavetas, 6 en la base como se muestra en la Figura AXVIII.1, por 7 de alto (dimensiones: 1,2*1,2 m).

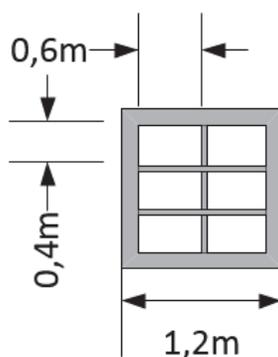


Figura AXVIII.1 Disposición kavetas

Se tendrá un tercer grupo con 12 kavetas (dimensiones: 0,8*1,2m). En la Figura AXVIII.2 se puede observar la disposición dentro de la cámara.

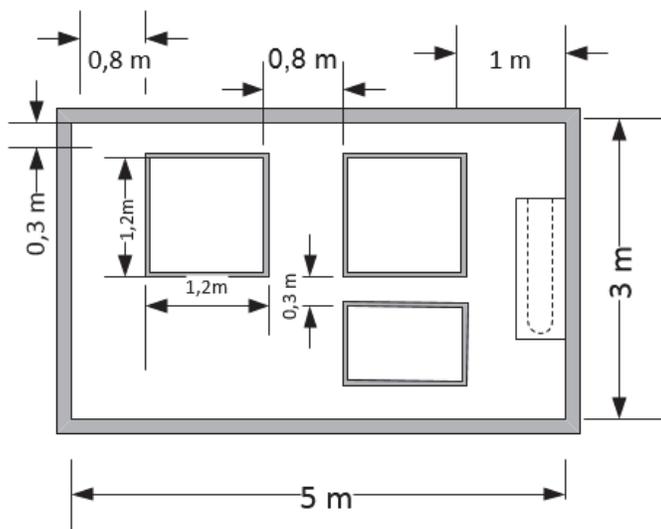


Figura AXVIII.2 Disposición grupos de kavetas en el interior de la cámara de refrigeración

Por lo tanto las dimensiones de la cámara serán: 5*3*3 m (largo*ancho*alto).

- Cálculo de las cargas térmicas

Para el cálculo de las cargas térmicas se emplearon algunos datos bibliográficos extraídos de:

Dossat, R. (1978). Principles of Refrigeration. (2da edición). Houston, USA: John Wiley & Sons Inc.

Carga del Producto

$$Q_1 = m \times Cp \times \Delta T \quad \text{[AXVIII.1]}$$

Donde:

m: masa del producto

Cp: calor específico del vegetal (Cp_{amarillo}=0,47606 Btu/lb °F, Cp_{rojo}=0,47663 Btu/lb, Cp_{verde}=0,48167 Btu/lb °F)

ΔT : variación de la temperatura = 20 °C – 8 °C = 12 °C = 21,6 °F

Reemplazando los datos en AXVIII.1:

$$Q_1 = 300 \text{ kg} \times (0,47606 + 0,47663 + 0,48167) \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{F}} \times 21,6^\circ\text{F} \times \frac{2,2\text{lb}}{1\text{kg}} \times \frac{1,0551 \cdot 10^{-3} \text{J}}{1 \text{Btu}}$$

$$Q_1 = 2,1536 \times 10^7 \text{J} = 21\,536 \text{ kJ}$$

Calor del Producto

$$Q_2 = m \times Cr \times t \quad \text{[AXVIII.2]}$$

Donde:

m: masa del producto

Cr: calor de respiración; $Cr_{\text{pimiento}} = 0,180 \text{ Btu/lb h}$ (Dossat, 1978, p. 213)

t: tiempo

Reemplazando los datos en AXVIII.1:

$$Q_2 = 300 \text{ kg} \times 0,18 \frac{\text{Btu}}{\text{lb h}} \times 24 \text{ h} \times \frac{2,2\text{lb}}{1\text{kg}} \times \frac{1,0551 \cdot 10^{-3} \text{J}}{1 \text{Btu}} \times \frac{1 \text{kJ}}{1000 \text{J}}$$

$$Q_2 = 3\,014,59 \text{ kJ}$$

Calor ganado por las paredes

Para determinar el espesor del aislante de las paredes del cuarto de refrigeración se usó el método descrito por Melgarejo (2003, p. 74) en el que se fija una velocidad de transferencia de calor de $9,28 \text{ W/m}^2$, y se exponen tablas para el cálculo de los coeficientes de convección natural interna y externa determinados a partir de los coeficientes de transmisión por convección y radiación.

Se interpoló los coeficientes de convección interna y externa descritos en Melgarejo (2003, p. 79), tomando en cuenta un $Er = 0,8$ (paredes blancas) y temperatura media externa del aire de 20°C (Clima e Hidrología, 2014).

$$\text{Temperatura aire interno} = 8^\circ\text{C} = 281 \text{ K} \rightarrow h_i = 5,94 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Temperatura aire externo} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K} \rightarrow h_e = 6,32 \text{ W/m}^2$$

[AXII.3]

$$q = \frac{T_e - T_i}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_l}{k_l} + 2 \times \frac{e_{en}}{k_{en}} + \frac{e_{ai}}{k_{ai}} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

q: calor ganado por las paredes

Te: Temperatura del aire externo

Ti: Temperatura del aire interno

hi: Coeficiente de convección interna

he: Coeficiente de convección externa

e_l: espesor del ladrillo

k_l: coeficiente de conducción del ladrillo; k_l = 0,72 W/mK (Bonilla, 2011, p. 22)

e_{en}: espesor del enlucido

k_{en}: coeficiente de conducción del enlucido (cemento); k_{en} = 0,294 W/mK (Bonilla, 2011)

e_{ai}: espesor del acero inoxidable

k_{ai}: coeficiente de conducción del acero inoxidable; k_{ai} = 15 W/mK (Bonilla, 2011)

e_{ais}: espesor del aislante

k_{ais}: coeficiente de conducción del aislante; aislante: poliuretano; k_{ais} = 0,026 W/mK (Bonilla, 2011, p. 20)

Reemplazando en [AXVIII.3]:

$$9,28 = \frac{293 - 281}{\frac{1}{5,94} + \frac{0,1}{0,72} + 2 \times \frac{0,004}{0,294} + \frac{0,002}{15} + \frac{e_{ais}}{0,026} + \frac{1}{6,32}}$$

$$e_{ais} = 0,020808 \text{ m} = 2,08 \text{ cm}$$

Si se reemplaza el espesor de la pared y se multiplica por el área de una de las paredes se tiene que el calor total de la pared será:

$$q_{p1} = \frac{293 - 281}{\left(\frac{1}{5 \times 3}\right) \times \left(\frac{1}{5,94} + \frac{0,1}{0,72} + 2 \times \frac{0,004}{0,294} + \frac{0,002}{15} + \frac{0,0208}{0,026} + \frac{1}{6,32}\right)}$$

$$q_{p1} = 139,198 \frac{J}{s} \times \frac{3600s}{1 h} \times 24 h \times \frac{1 kJ}{1000 J} = 12 026,70 kJ$$

Para las dos paredes será:

$$q_{p1T} = 12 026,70 kJ \times 2 = 24 053,50 kJ$$

Para la otra pared el calor total será:

$$q_{p2} = \frac{293 - 281}{\left(\frac{1}{3 \times 3}\right) \times \left(\frac{1}{5,94} + \frac{0,1}{0,72} + 2 \times \frac{0,004}{0,294} + \frac{0,002}{15} + \frac{0,0208}{0,026} + \frac{1}{6,32}\right)}$$

$$q_{p2} = 83,519 \frac{J}{s} \times \frac{3600s}{1 h} \times 24 h \times \frac{1 kJ}{1000 J} = 7216,04 kJ$$

Para las dos paredes será:

$$q_{p2T} = 7 216,04 kJ \times 2 = 14 432,10 kJ$$

Calor ganado en el techo

Los coeficientes de convección interna y externas se determinaron por tablas citadas en Molgarejo (2003, p. 81) de forma similar que para las paredes.

Temperatura aire interno = 8 °C = 281 K → $h_i = 6,22 \text{ W/m}^2$

Temperatura aire externo = 20 °C = 293 K → $h_e = 6,6 \text{ W/m}^2$

El calor ganado por el techo será:

[AXVIII.4]

$$q_t = \frac{T_e - T_i}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{ai}}{k_{ai}} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{e_h}{k_h} + \frac{e_{en}}{k_{en}} + \frac{e_t}{k_t} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

q_t : calor ganado por el techo

T_e : Temperatura del aire externo

T_i : Temperatura del aire interno

h_i : Coeficiente de convección interna

h_e : Coeficiente de convección externa

e_h : espesor del hormigón

k_h : coeficiente de conducción del hormigón; $k_h = 1,4 \text{ W/mK}$ (Bonilla, 2011, p. 19)

e_{en} : espesor del enlucido

k_{en} : coeficiente de conducción del enlucido (cemento); $k_{en} = 0,294 \text{ W/mK}$ (Bonilla, 2011)

e_{ai} : espesor del acero inoxidable

k_{ai} : coeficiente de conducción del acero inoxidable; $k_{ai} = 15 \text{ W/mK}$ (Bonilla, 2011)

e_{ais} : espesor del aislante

k_{ais} : coeficiente de conducción del aislante; aislante: poliuretano; $k_{ais} = 0,026 \text{ W/mK}$ (Bonilla, 2011, p. 20)

e_t : espesor del tejado

k_t : coeficiente de conducción del tejado; $k_t = 1 \text{ W/mK}$ (Dossat, 1978)

Reemplazando en [AXVIII.4]

$$9,28 = \frac{293 - 281}{\frac{1}{6,22} + \frac{0,002}{15} + \frac{e_{ais}}{0,026} + \frac{0,16}{1,4} + \frac{0,004}{0,294} + \frac{0,015}{1} + \frac{1}{6,6}}$$

$$e_{ais} = 0,021783 \text{ m} = 2,2 \text{ cm}$$

Si se reemplaza el espesor del techo y se multiplica por el área se tiene que el calor total absorbido por el techo es:

$$q_t = \frac{293 - 281}{\left(\frac{1}{5 \times 3}\right) \left(\frac{1}{6,22} + \frac{0,002}{15} + \frac{0,021783}{0,026} + \frac{0,16}{1,4} + \frac{0,004}{0,294} + \frac{0,015}{1} + \frac{1}{6,6}\right)}$$

$$q_t = 139,22 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times \frac{3600\text{s}}{1 \text{ h}} \times 24 \text{ h} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 12 \ 028,61 \text{ kJ}$$

Calor ganado por el suelo

Los coeficientes de convección interna y externas se determinaron por tablas citadas en Molgarejo (2003, p. 81) de forma similar que para las paredes.

Temperatura aire interno = $8 \text{ °C} = 281 \text{ K} \rightarrow h_i = 4,67 \text{ W/m}^2$

Temperatura suelo = $12 \text{ °C} = 285 \text{ K} \rightarrow h_e = 5,66 \text{ W/m}^2$

El calor ganado por el techo será:

[AXVIII.5]

$$qp = \frac{Te - Ti}{\frac{1}{hi} + \frac{e_{ai}}{k_{ai}} + \frac{e_{ais}}{k_{ais}} + \frac{e_h}{k_h} + \frac{1}{he}}$$

Donde:

qp: calor ganado por el piso

Te: Temperatura del aire externo

Ti: Temperatura del aire interno

hi: Coeficiente de convección interna

he: Coeficiente de convección externa

e_h: espesor del hormigón

k_h: coeficiente de conducción del hormigón; k_h = 1,4 W/mK (Bonilla, 2011, p. 19)

e_{ai}: espesor del acero inoxidable

k_{ai}: coeficiente de conducción del acero inoxidable; k_{ai} = 15 W/mK (Bonilla, 2011)

e_{ais}: espesor del aislante

k_{ais}: coeficiente de conducción del aislante; aislante: poliuretano; k_{ais} = 0,026 W/mK (Bonilla, 2011, p. 20)

Si se reemplaza en [AXVIII.4], se puede concluir que en el techo no es necesario el uso de aislante. El calor total proveniente del piso sería:

$$qp = \frac{285 - 281}{\left(\frac{1}{5 \times 3}\right) \left(\frac{1}{4,67} + \frac{0,002}{15} + \frac{0,16}{1,4} + \frac{1}{5,66}\right)}$$

$$qp = 118,76 \frac{J}{s} \times \frac{3600s}{1 h} \times 24 h \times \frac{1 kJ}{1000 J} = 10 260,70 kJ$$

Calor total ganado por las paredes, techo y suelo

$$Q_3 = q_{p1T} + q_{p2T} + qt + qp$$

$$Q_3 = 24053,5 + 14 432,10 + 12028,61 + 10260,7 = 60 774,9 kJ$$

Calor por cambio de aire

$$Q_4 = V_c \times C_a \times f_{ca} \quad [\text{AXVIII.5}]$$

Donde:

Q₄: calor por cambio de aire

V_c: Volumen de la cámara

C_a: Cambios de aire; C_a = 10,6968 (Dossat, 1978, p.204)

f_{ca}: Factor de cambio de aire; f_{ca} = 0,6884 Btu/ft³ (Dossat, 1978, p.204)

Reemplazando en [AXVIII.5]:

$$Q_4 = 45 \text{ m}^3 \times 0,6884 \frac{\text{Btu}}{\text{ft}^3} \times 10,6968 \times \frac{35,315 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1,0551 \times 10^3 \text{ J}}{1 \text{ Btu}} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$Q_4 = 12 \ 347 \text{ kJ}$$

Carga por alumbrado

$$Q_5 = W \times f_a \times t \quad [\text{AXVIII.6}]$$

Donde:

Q₅: calor por alumbrado

W: Vatios

f_a: Factor; f_a = 3,42 Btu/Wh (Dossat, 1978, p.213)

t: tiempo

Reemplazando en [AXVIII.6]:

$$Q_5 = 200 \text{ W} \times 4,42 \frac{\text{Btu}}{\text{Wh}} \times 2 \text{ h} \times \frac{1,0551 \times 10^3 \text{ J}}{1 \text{ Btu}} \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$Q_5 = 1 \ 443,38 \text{ kJ}$$

Carga por los operarios

$$Q_6 = f \times N_p \times t \quad [\text{AXVIII.7}]$$

Donde:

Q₆: calor originado por las personas

f: Factor de calor equivalente; f = 763,2 Btu/hpersona (Dossat, 1978, p. 214)

N_p : Número de personas

t: tiempo

Reemplazando en [AXVIII.7]:

$$Q_6 = 763,2 \frac{Btu}{h \times persona} \times 2 personas \times 2h \times \frac{1,0551 \times 10^3 J}{1 Btu} \times \frac{1 kJ}{1000J}$$

$$Q_6 = 3\,221,01 kJ$$

Carga por los materiales de empaque

$$Q_7 = (N \times P_e \times C_p \times \Delta T)_{film} + (N \times P_e \times C_p \times \Delta T)_{bandeja\ poliestireno} + (N \times P_e \times C_p \times \Delta T)_{kavetas} \quad [AXVIII.8]$$

Donde:

Q_7 : calor debido a los empaques

P_e : Peso del empaque

C_p : Calor específico; $C_{p_{filmPVC}}=1,05kJ/kgK$; $C_{p_{poliestireno}}=1,2kJ/kgK$;

$C_{p_{kavetas.polipropileno}}=1,93 kJ/kgK$

ΔT : variación de temperatura

Reemplazando en [AXVIII.8]:

$$Q_7 = 881 film \times 2,54 g \times \frac{1,05 kJ}{kg K} \times 12 K \times \frac{1 kg}{1000g} + 881 film \times 9,35 g \times \frac{1,2 kJ}{kg K} \times 12 K \times \frac{1 kg}{1000g} + 98 kavetas \times 2 kg \times \frac{1,93 kJ}{kg K} \times 12 K$$

$$Q_7 = 4\,686,18 kJ$$

Calor total

$$Q_{T1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$Q_{T1} = 107\,023 kJ$$

Se considera un factor de seguridad del 10%:

$$Q_T = 107\,023 kJ + 0,1 \times 107\,023 kJ$$

$$Q_{T1} = 117\,725 \text{ kJ}$$

Parámetros del Evaporador

Para determinar las características del evaporador se usó el método descrito por Dossat (1978, p. 243).

Se seleccionó TD °F = 12 (Temperature design °F) en base a la humedad relativa requerida del 95 % y convección natural. Se calculó la capacidad requerida con la ecuación [AXVIII.8]

$$C_r = \frac{Q_T}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1}{TD}$$

Donde:

[AXVIII.9]

Cr: Capacidad requerida por el evaporador

Qt: Calor total

TD: Temperature Design °F

Reemplazando en [AXVIII.8]:

$$C_r = \frac{117\,725 \text{ kJ}/24}{12} = 408,77 \frac{\text{kJ}}{^{\circ}\text{FTD h}}$$

La capacidad evaporada por longitud del aletado:

$$C_{evl} = \frac{C_r}{L_{al}}$$

Donde:

[AXVIII.10]

Cevl: Capacidad evaporada por longitud del aletado

Lal: Longitud del aletado; Lal= 153,8 in (Dossat, 1978, p. 247)

Reemplazando:

$$C_{evl} = \frac{408,77}{153,8} = 2,658 \frac{\text{kJ}}{^{\circ}\text{FTD h in}} = 2,5191 \frac{\text{Btu}}{^{\circ}\text{FTD h in}}$$

Con el valor de la capacidad del evaporador por longitud del aletado, se seleccionó el evaporador modelo L-18, de dimensiones 0,6096 m, 8 tubos, longitud 4 m, superficie 1,72 ft²/in.

Cálculos de los Parámetros de diseño

- Gráfico de Mollier

El gráfico de Mollier se emplea para determinar el calor que debe retirar el evaporador, el compresor y el condensador, a través de las entalpías de líquido y gas saturado del refrigerante seleccionado.

Se seleccionó el R-134a debido a su baja toxicidad y por ser uno de los más amigables con el ambiente.

En la Figura AXII.1 se muestra el diagrama de Mollier para el refrigerante R-134a, y los trazos realizados para determinar las entalpías, y se leyó a las siguientes temperaturas:

$$T_1 = 8\text{ }^{\circ}\text{C} - 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C} + 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

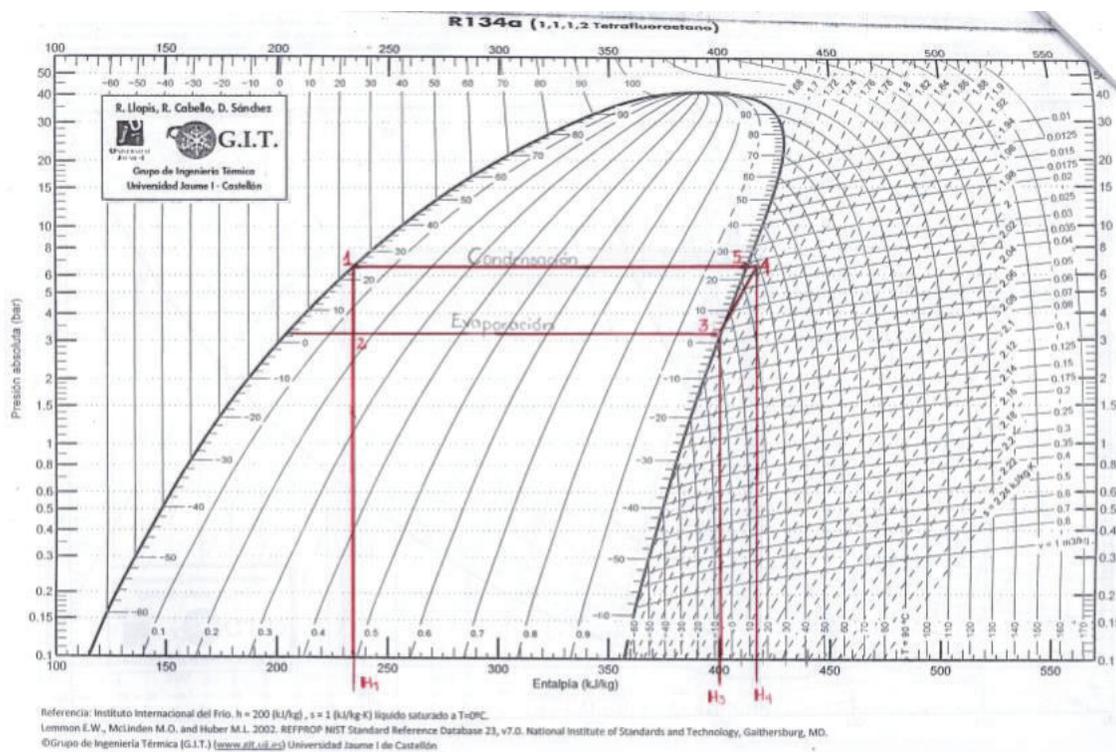


Figura AXVIII.3 Diagrama de Mollier para el refrigerante R-134a

Lecturas: $H_1 = H_2 = 235 \text{ kJ/kg}$

$H_3 = 400 \text{ kJ/kg}$

$H_4 = 417 \text{ kJ/kg}$

- **Calor a disipar en el Evaporador**

$$Q_{\text{evaporador}} = H_3 - H_2 = 165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- **Flujo del Refrigerante**

$$\dot{m}_{\text{refrigerante}} = \frac{Q_T/24}{Q_{\text{evaporador}}} = \frac{117\,725 \text{ kJ} / 24 \text{ h}}{165 \text{ kJ/kg}} = 29,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- **Calor y potencia del compresor**

$$Q_{\text{compresor}} = H_4 - H_3 = 17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Potencia_{\text{compresor}} = 17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 29,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{J}}{1 \text{ kJ}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 140,30 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 0,1882 \text{ hp}$$

- **Calor y potencia del condensador**

$$Q_{\text{condensador}} = H_4 - H_1 = 182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Potencia_{\text{condensador}} = 182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 29,73 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{1000\text{J}}{1 \text{ kJ}} \times \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 1503,02 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$Potencia_{\text{condensador}} = 2,01 \text{ hp}$$

ANEXO XIX

DETALLE DE COSTOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

Se diseñó una cámara de refrigeración para el almacenamiento de bandejas de pimienta entero de tres variedades. De acuerdo a los parámetros de diseño encontrados, se estimaron los costos de la implementación de la cámara que se muestran en la Tabla AXIX.1.

Tabla AXIX.1 Estimación de costos de la cámara de refrigeración

Ítem	Costo (USD)
Construcción estructura cámara ⁽³⁾	3 000,00
Condensador 1405 W - R-134a ⁽¹⁾ y compresor 172 W-R-134a –PL35G ⁽¹⁾	2231,00
Evaporador 1628 W-R-134a-SKA301 ⁽³⁾	1 080,00
Válvula de expansión termostática ⁽¹⁾	86,00
Cortinas de lamas en PVC de 180*80 mm ⁽³⁾	243,42
Módulo de gestión de alarmas, supervisión y control de hasta 6 equipos ⁽³⁾	597,68
Montaje e instalación	1 000,00
TOTAL	8238,10

(1) Danfoss, componentes para sistemas de refrigeración. (2) Intarcon. (3) Zanotti

A continuación se muestran la tabla de depreciaciones de los equipos y la tabla de amortización del préstamo realizado.

Tabla AXIX.2 Depreciación de las instalaciones y equipos

Equipo	Costo	Depreciación
Máquina de lavado, cepillado y secado	7 500,00	750,00
Banda transportadora	1 000,00	100,00
Máquina envolvedoras de bandejas	640,00	64,00

Tabla AXIX.2 Depreciación de las instalaciones y equipos (continuación...)

Mesa de trabajo	900,00	90,00
Balanzas	170,00	34,00
Etiquetadora manual y preciadora	180,00	36,00
Cámara de refrigeración	8 238,10	823,81
Kavetas	1 078,00	539,00
Construcciones	66 300,00	6 630,00
		9 066,81

Tabla AXIX.3 Tabla de Amortización

Año	Capital (USD)	Interés (USD)	Aporte al capital (USD)	Cuota mensual (USD)	Saldo (USD)
0	118 606,1	0,00	0,00	0,00	118 606,1
1	118 606,1	12 109,68	7 367,39	19 477,07	111 238,710
2	111 238,710	11 357,47	8 119,60	19 477,07	103 119,109
3	103119,109	10 528,46	8 948,61	19 477,07	94 170,497
4	94 170,497	9 614,81	9 862,27	19 477,07	84 308,232
5	84 308,232	8 607,87	10 869,20	19 477,07	73 439,030
6	73 439,030	7 498,12	11 978,95	19 477,07	61 460,082
7	61 460,082	6 275,07	13 202,00	19 477,07	48 258,083
8	48 258,083	4 927,15	14 549,92	19 477,07	33 708,161
9	33 708,161	3 441,60	16 035,47	19 477,07	17 672,691
10	17 672,691	1 804,38	17 672,69	19 477,07	0,000