

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA IRRADIACIÓN CON RAYOS
GAMMA EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA PITAHAYA
AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) ENTERA Y CORTADA**

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

ANA LUCÍA NOBOA PICO

anitanoboa@yahoo.es

DIRECTOR: ING. CATALINA VASCO, PhD.

catvasco@yahoo.com

Quito, junio 2016

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

DECLARACIÓN

Yo, Ana Lucía Noboa Pico, 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.

Ana Lucía Noboa Pico

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Lucía Noboa Pico, bajo mi supervisión.

Ing. Catalina Vasco, PhD.

DIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto semilla PIS 13-08 “Aplicación de tratamientos poscosecha para extender la vida útil de hortalizas de IV gama producidas artesanalmente”, que se ejecutó en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) y en el Departamento de Ciencias Nucleares (DCN).

Además contó con la colaboración de la materia prima por parte de la Empresa Agrícola Pitacava.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su presencia en mi vida, por las infinitas bendiciones recibidas y por haberme permitido culminar esta gran meta.

A mis padres, Martha y Marcelo, por tejer mis alas y enseñarme a volar. Por ser el mejor ejemplo de que con esfuerzo y perseverancia todo es posible en esta vida. A mis hermanas, Cris y Cata, por su apoyo incondicional, por ser mis luces en el camino y mis primeras mejores amigas. A mi sobrina Liz, por su ayuda y por todos los gratos momentos al escribir mi tesis

A la Dra. Catalina Vasco, por toda su dedicación, sus conocimientos y tiempo brindado a la dirección de este proyecto, pero sobretodo por su amistad.

A la Dra. Silvia Valencia, por su confianza, por el tema propuesto y por sus valiosos aportes desde el inicio de esta investigación hasta su termino.

Al Ing. Gustavo Narváez, por su significativa colaboración con la materia prima. A los miembros del DECAB y DCN que contribuyeron con su granito de arena.

A Eve, por la ayuda y sentimientos compartidos al ejecutar este proyecto. A Stalin y Sebas N., por las veces que me acompañaron a Pedro Vicente Maldonado. A Naty M. y Gaby G. por sus consejos, tiempo y apoyo en la parte experimental.

A mis amigos de carrera, por todas las risas y vivencias en las aulas de clases. A Edu y Caro C., mi mejor grupo de trabajo durante todos estos años de estudio. A Caro F., Diana, Mishu, Bri y Tamy, porque mas que amigas fueron unas hermanas.

A mis amigos de prepo, en especial a Traian y Fer, porque gracias a su amistad y momentos compartidos decidí continuar en la Poli. A Patty y Naty E., por su amistad a lo largo de todos estos años. Finalmente a mi familia y a mis amigos ambateños, quienes hicieron que me sienta cerca de casa.

DEDICATORIA

A mis padres, Martha y Marcelo, por su amor en cada instante de mi vida, su ejemplo y apoyo incondicional

A mis sobrinos, Liz, Vale, Cami, Joma y Ari, mi inspiración para ser cada día mejor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINAS
GLOSARIO	xviii
RESUMEN	xx
INTRODUCCIÓN	xxii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Origen y distribución	3
1.1.3 Composición química y nutricional	4
1.1.4 Fisiología poscosecha	5
1.1.5 Manejo poscosecha	6
1.1.5.1 Cosecha	7
1.1.5.2 Selección y clasificación	8
1.1.5.3 Pre enfriamiento, lavado y desinfección	9
1.1.5.4 Empacado, almacenamiento y transporte	9
1.1.6 Factores principales que intervienen en las pérdidas poscosecha	10
1.1.6.1 Factores Biológicos	10
1.1.6.2 Factores Ambientales	11
1.1.7 Usos	13
1.1.8 Situación del cultivo de pitahaya amarilla en el Ecuador	13
1.2 Irradiación de alimentos	14
1.2.1 Generalidades	14
1.2.1.1 Radiaciones ionizantes	15
1.2.2 Objetivos de la irradiación de alimentos	16
1.2.3 Ventajas y desventajas	17
1.2.4 Efectos de la radiación en los alimentos	19
1.2.4.1 Efecto sobre los microorganismos	19
1.2.4.2 Efecto sobre los macro y micronutrientes	20
1.2.4.3 Efecto sobre la calidad visual, organoléptica y fisiología poscosecha	21

1.2.5	La irradiación y otros métodos de conservación	22
1.2.6	Legislación	23
1.2.7	Comercialización de productos irradiados	25
1.3	Productos de IV gama	25
1.3.1	Las gamas de alimentos	25
1.3.2	Definición de los alimentos de IV gama	27
1.3.2.1	Ventajas	28
1.3.3	Proceso de elaboración de alimentos de IV gama	28
1.3.3.1	Recepción de la materia prima	30
1.3.3.2	Selección y clasificación	30
1.3.3.3	Lavado y desinfección del producto entero	30
1.3.3.4	Pelado y cortado	31
1.3.3.5	Inmersión del producto fresco cortado	31
1.3.3.6	Ecurrido	33
1.3.3.7	Empacado	33
1.3.3.8	Almacenamiento y distribución	35
1.3.4	Parámetros de calidad de los alimentos de IV gama	35
1.3.4.1	Color	35
1.3.4.2	Textura	36
1.3.4.3	Aroma	37
1.3.4.4	Calidad nutricional	37
1.3.5	Factores que influyen en el deterioro de los alimentos de IV gama	38
1.3.5.1	Tasa de respiración y producción de etileno	38
1.3.5.2	Pardeamiento enzimático	39
1.3.5.3	Pérdida de agua	39
1.3.5.4	Ataque de microorganismos	40
2	PARTE EXPERIMENTAL	41
2.1	Estudio del efecto de la dosis de radiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera en dos grados de color	41
2.1.1	Materia prima	41
2.1.2	Irradiación y almacenamiento	42
2.1.3	Diseño experimental	44
2.1.4	Análisis físicos	44
2.1.4.1	Peso	44

2.1.4.2	Longitud y diámetro	45
2.1.4.3	Firmeza	45
2.1.4.4	Color	45
2.1.5	Análisis químicos	46
2.1.5.1	Determinación de pH	46
2.1.5.2	Determinación de sólidos solubles totales (SST)	46
2.1.5.3	Determinación de acidez titulable	46
2.1.6	Calidad sensorial global del fruto	47
2.1.6.1	Evaluación de la calidad visual	47
2.1.6.2	Análisis sensorial	49
2.2	Estudio del efecto de la irradiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera almacenada bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (HR)	50
2.2.1	Materia prima	50
2.2.2	Irradiación y almacenamiento	50
2.2.3	Diseño experimental	51
2.2.4	Análisis físicos y químicos	51
2.2.5	Calidad sensorial global del fruto	51
2.2.5.1	Evaluación de la calidad visual	51
2.2.5.2	Análisis sensorial	52
2.2.6	Tasa de respiración	53
2.3	Evaluación de la calidad de la pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada almacenada en refrigeración	54
2.3.1	Proceso de elaboración de pitahaya fresh – cut	54
2.3.2	Irradiación y almacenamiento	55
2.3.3	Diseño experimental	55
2.3.4	Análisis físicos	56
2.3.4.1	Pérdida de peso	56
2.3.4.2	Firmeza	56
2.3.5	Análisis químicos	56
2.3.6	Calidad sensorial global	57
2.3.6.1	Evaluación de la calidad visual	57
2.3.6.2	Análisis sensorial	58
2.3.7	Análisis microbiológico	58
2.3.8	Tasa de respiración	59

2.3.9	Análisis estadístico	59
2.4	Diseño de una planta para la elaboración de pitahaya cortada, empacada e irradiada	59
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
3.2	Estudio del efecto de la dosis de radiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera en dos grados de color	60
3.1.1	Caracterización de la materia prima	60
3.1.1.1	Análisis físicos	60
3.1.1.2	Análisis químicos	62
3.1.1.3	Calidad sensorial global	63
3.1.2	Selección de la mejor dosis de radiación gamma en pitahaya entera	64
3.1.2.1	Pérdida de peso	65
3.1.2.2	Firmeza	68
3.1.2.3	Análisis químicos	68
3.1.2.4	Calidad sensorial global	69
3.1.3	Selección del grado de color adecuado para la aplicación de radiación gamma	81
3.1.3.1	Pérdida de peso	81
3.1.3.2	Color	84
3.1.3.3	Evaluación de la calidad visual	85
3.2	Estudio del efecto de la irradiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera almacenada bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (HR)	91
3.2.1	Pérdida de peso	92
3.2.2	Firmeza	95
3.2.3	Color	97
3.2.4	Análisis químicos	99
3.2.5	Calidad sensorial global	102
3.2.5.1	Evaluación de la calidad visual	102
3.2.5.2	Análisis sensorial	113
3.2.6	Tasa de respiración	116
3.3	Evaluación de la calidad de la pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada almacenada en refrigeración	118
3.3.1	Pérdida de peso	118

3.3.2	Firmeza	122
3.3.3	Análisis químicos	123
3.3.4	Calidad sensorial global	125
3.3.4.1	Evaluación de la calidad visual	125
3.3.4.2	Análisis sensorial	129
3.3.5	Análisis microbiológico	131
3.3.6	Tasa de respiración	135
3.4	Diseño de una planta para la elaboración de pitahaya cortada, empacada e irradiada	137
3.4.1	Capacidad de producción	137
3.4.2	Detalle del proceso	137
3.4.3	Balances de masa y energía	139
3.4.4	Estimación de costos de implementación de una planta de pitahaya cortada, empacada e irradiada	139
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
4.1	Conclusiones	140
4.2	Recomendaciones	143
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
	ANEXOS	159

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Taxonomía de la pitahaya amarilla	1
Tabla 1.2.	Composición química y nutricional de la pitahaya amarilla	4
Tabla 1.3.	Clasificación de la pitahaya amarilla por categorías	8
Tabla 1.4.	Clasificación de la pitahaya amarilla de acuerdo a su calibre	8
Tabla 1.5.	Uso integral de la planta de pitahaya	13
Tabla 1.6.	Aplicaciones de la irradiación de alimentos	17
Tabla 1.7.	Combinación de la irradiación con otros tratamientos convencionales de conservación alimentos	22
Tabla 1.8.	Tratamientos de preservación utilizados en productos mínimamente procesados	32
Tabla 2.1.	Escala para la evaluación de atributos de la calidad visual de la pitahaya amarilla en grado de color 5	47
Tabla 2.2.	Escala para la evaluación de atributos de la calidad visual de la pitahaya amarilla en grado de color 4	48
Tabla 2.3.	Escala de valoración del índice de calidad visual para frutos en grado de color 4 y 5	49
Tabla 2.4.	Escala de valoración del índice de calidad visual para frutos en grado de color 4	49
Tabla 2.5.	Escala de valoración del índice de aroma en pitahayas en grado de color 4 y 5	50
Tabla 2.6.	Cualidades de los atributos sensoriales con respecto a la calificación obtenida	52
Tabla 2.7.	Códigos de identificación para los tratamientos aplicados a la pitahaya cortada	56
Tabla 2.8.	Escala de evaluación de la calidad visual para rebanadas de pitahaya amarilla	57

Tabla 2.9.	Cualidades de los atributos sensoriales con respecto a la calificación obtenida	58
Tabla 3.1.	Caracterización física de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5	61
Tabla 3.2.	Caracterización química de la pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5	62
Tabla 3.3.	Resultados de la evaluación de la calidad visual de los frutos de pitahaya en grado de color 4 y 5 utilizados para la caracterización de la materia prima	64
Tabla 3.4.	Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de color 5 irradiada a 500, 750 y 1 000 Gy almacenada hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	73
Tabla 3.5.	Índices de la calidad visual de los frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de color 5 a lo largo del almacenamiento	77
Tabla 3.6.	Coordenadas del color de las pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	83
Tabla 3.7.	Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de color 4 y 5 irradiada 500 y 0 Gy almacenada hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	87
Tabla 3.8.	Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) durante el almacenamiento para los atributos turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de manchas pardas y patógenos	89
Tabla 3.9.	Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) durante el almacenamiento para los atributos aparición de manchas rojas y daño físico	89
Tabla 3.10.	Coordenadas del color de las pitahayas en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 28 días a 12 °C y 80 % HR	98
Tabla 3.11.	Valoración de la calidad visual global de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada hasta 28 días a	

	12 °C y 90 % HR más 3 días a 20 °C y 80 % HR	108
Tabla 3.12.	Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) durante el almacenamiento para los atributos turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de manchas pardas y patógenos	110
Tabla 3.13.	Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) durante el almacenamiento para los atributos de aparición de manchas rojas y daño físico	110
Tabla 3.14.	Análisis sensorial de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	113
Tabla 3.15.	Valores de pH, sólidos solubles totales y acidez titulable para pitahaya amarilla cortada, irradiada y empacada al vacío, almacenada hasta 12 días a 4 ± 1 °C	124
Tabla 3.16.	Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla minimamente procesada irradiada y empacada al vacío almacenada hasta 12 días a 4 ± 1 °C	127
Tabla 3.17.	Índice de la calidad visual de rodajas de pitahaya amarilla durante el almacenamiento	128
Tabla 3.18.	Resultados del análisis sensorial de pitahaya amarilla cortada, irradiada y empacada al vacío, almacenada por 4 días a 4 ± 1 °C	129
Tabla 3.19.	Costos de operación e implementación de una planta de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada para una proyección de 10 años	139
Tabla AVI.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de frutos de pitahaya	172
Tabla AVI.2.	Análisis de varianza (ANOVA) para la turgencia de frutos de pitahaya	172
Tabla AVI.3.	Análisis de varianza (ANOVA) para la presencia de patógenos (%) en frutos de pitahaya	172
Tabla AVI.4.	Análisis de varianza (ANOVA) para la presencia de manchas pardas (%) en frutos de pitahaya	173

Tabla AVI.5.	Análisis de varianza (ANOVA) para aroma en frutos de pitahaya	173
Tabla AXVII.1.	Balance de masa para el funcionamiento de una planta de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	192
Tabla AXVII.2.	Consumo energético requerido para el funcionamiento de una planta de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	193
Tabla AXVII.3.	Nomeclatura de los equipos requeridos en el proceso de elaboración de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	193
Tabla AXIX.1.	Costos de materia prima, insumos, servicios básicos y sueldos del personal	197
Tabla AXIX.2.	Costos de instalaciones, equipos y servicios externos contratados	198

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Pitahaya amarilla	1
Figura 1.2.	Planta de pitahaya amarilla con frutos maduros y en formación y flor de pitahaya amarilla antes de la polinización	3
Figura 1.3.	Efecto de la temperatura en la vida útil de un fruto	12
Figura 1.4.	Espectro electromagnético	15
Figura 1.5.	Capacidad de penetración de las radiaciones ionizantes	15
Figura 1.6.	Logotipo internacional para un alimento irradiado	24
Figura 1.7.	Gama de alimentos de la I a la V	27
Figura 1.8.	Esquema de la elaboración de pitahaya cortada y empacada	29
Figura 2.1.	Ubicación de las pitahayas en la cámara de irradiación	43
Figura 3.1.	Pérdida de peso (%) de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 5 e irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	65
Figura 3.2.	Gráfico de medias e intervalos LSD de la variable porcentaje de pérdida de peso de las pitahayas amarillas irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy a los 7 y 14 días de almacenamiento a 20 °C y 80 % HR	66
Figura 3.3.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	67
Figura 3.4.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable turgencia de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	70
Figura 3.5.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis	

	para la variable presencia de patógenos (%) de los frutos de pitahaya irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	72
Figura 3.6.	Pitahaya irradiada a 1 000 Gy almacenada hasta 7 días a 20 °C y 80 % HR con presencia de manchas rojas oscuras por efecto de la radiación	74
Figura 3.7.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable presencia de manchas pardas (%) de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	75
Figura 3.8.	Pitahaya antes del proceso de irradiación y pitahaya después de haber sido irradiada a 750 Gy	75
Figura 3.9.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable aroma de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	79
Figura 3.10.	Pérdida de peso (%) en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5 irradiados a 500 Gy y 0 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	81
Figura 3.11.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5 irradiados a 500 Gy y 0 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	82
Figura 3.12.	Pérdida de peso (%) en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 e irradiados a 500 y 0 Gy almacenados durante 14, 21 y 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR	92
Figura 3.13.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 e irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 21 días a 12 °C y 90 % HR más 5 días a 20 °C y 80 % HR	93
Figura 3.14.	Gráfico de medias e intervalos LSD de la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en el primer periodo de almacenamiento, en el segundo periodo de almacenamiento y en el tercer periodo de almacenamiento	94

Figura 3.15.	Firmeza (N) de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada durante 14, 21 y 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR	96
Figura 3.16.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para el pH de los frutos de pitahaya irradiados a 500 y 0 Gy en el primer periodo de almacenamiento, en el segundo periodo de almacenamiento y en el tercer periodo de almacenamiento	100
Figura 3.17.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la marchitez de los pedúnculos de frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	103
Figura 3.18.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la presencia de manchas pardas en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	105
Figura 3.19.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la aparición de manchas rojas en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	106
Figura 3.20.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el daño físico en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	108
Figura 3.21.	Pitahaya irradiada a 500 Gy y pitahaya de control almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C	108
Figura 3.22.	Tasa de respiración (mg CO ₂ /kg h) de frutos de pitahaya amarilla entera en grado de color 4, irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 14 días a 10 ± 1 °C más 5 días a 20 °C y hasta 19 días a 10 ± 1 °C	116
Figura 3.23.	Porcentaje de pérdida de peso (%) de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío, a 500 Gy y en atmósfera normal, a 0 Gy y al vacío y a 0 Gy y en atmósfera normal, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C	119

Figura 3.24.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación (Gy) para la pérdida de peso (%) de rodajas de pitahaya irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 4 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR	120
Figura 3.25.	Interacción entre la dosis de radiación y el tipo de atmósfera para el porcentaje de pérdida de peso de rodajas de pitahaya amarilla en el tercer periodo de almacenamiento	121
Figura 3.26.	Firmeza (N) de rodajas de pitahaya irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío, a 500 Gy y en atmósfera normal, a 0 Gy y al vacío y a 0 Gy y en atmósfera normal, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C	122
Figura 3.27.	Contaje de mohos y levaduras y de aerobios totales en rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío, a 500 Gy y en atmósfera normal, a 0 Gy y al vacío y a 0 Gy y en atmósfera normal, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C	132
Figura 3.28.	Tasa de respiración (mg CO ₂ /kg h) de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 y 0 Gy, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C	135
Figura AI.1.	Tabla de color de la pitahaya amarilla	160
Figura AII.1.	Selección de pitahayas por grado de color, corte del pedúnculo durante la cosecha, limpieza de frutos y remoción de impurezas, desinfección de pitahayas y secado de los frutos	161
Figura AIII.1.	Códigos de colores pertenecientes a la carta Y99 del Atlas de Colores de Küppers	162
Figura AIV.1.	Escala de turgencia para frutos de pitahaya amarilla	164
Figura AIV.2.	Escala de marchitez del pedúnculo para frutos de pitahaya amarilla	165
Figura AIV.3.	Escala de presencia de patógenos en frutos de pitahaya amarilla	166
Figura AIV.4.	Escala de manchas pardas para frutos de pitahaya amarilla	167
Figura AIV.5.	Escala de aparición de manchas rojas en frutos de pitahaya amarilla	168

Figura AIV.6.	Daño físico para frutos de pitahaya amarilla en grado de color 5	169
Figura AIV.7.	Daño físico para frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4	170
Figura AVII.1.	Pitahayas en grado de color 5 irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR.	174
Figura AVIII.1.	Pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy (control) almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	175
Figura AIX.1.	Pitahayas en grado de color 4 inmediatamente irradiadas a 500 Gy, a 0 Gy y a los 0 días posterior a la irradiación, irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, irradiadas a 0 Gy y almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C	176
Figura AIX.2.	Pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, a 0 Gy y almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C, irradiadas a 0 Gy y almacenadas hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C	177
Figura AXI.1	Cortado de extremos, pelado, rebanado de pitahayas, inmersión de rodajas en solución de ácidos, pesado y empacado al vacío	179
Figura AXII.1	Carta N00 del Atlas de Colores de Küppers para determinar la escala de pardeamiento de rodajas de pitahaya amarilla durante el almacenamiento	180
Figura AXII.2.	Escala de marchitez para rodajas de pitahaya amarilla	181
Figura AXII.3.	Escala de presencia de hongos en rodajas de pitahaya amarilla	182
Figura AXIII.1.	Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 0 días de la aplicación de rayos gamma.	183

Figura AXIII.2.	Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 4 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.	184
Figura AXIII.3.	Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 8 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C	185
Figura AXIII.4.	Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 12 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C	186
Figura AXVI.1.	Fotografías de pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR, almacenadas hasta 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR para simulación de vida en estante y empaques de pitahaya cortada almacenados hasta 12 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR	187
Figura AXVI.1.	Sistema de respiración cerrado para frutos enteros de pitahaya amarilla y para rodajas de pitahaya	189
Figura AXVIII.1.	Diagrama de bloques del proceso (BFD) de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	194
Figura AXVIII.2.	Diagrama de flujo del proceso (PFD) de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	195
Figura AXVIII.3.	Distribución en planta (Lay out) del proceso de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	196

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1	
Carta de color para pitahaya amarilla según norma técnica colombiana 3554	160
ANEXO 2	
Cosecha, limpieza y desinfección de pitahayas en la Empresa Agrícola Pitacava	161
ANEXO 3	
Escala utilizada para la evaluación del color en pitahaya entera	162
ANEXO 4	
Escalas de los parámetros de calidad visual de pitahaya entera	164
ANEXO 5	
Ficha para la evaluación del aroma en los frutos enteros de pitahaya amarilla	171
ANEXO 6	
Tablas del análisis de la varianza (ANOVA)	172
ANEXO 7	
Fotografías de pitahayas en grado de color 5 irradiadas a 3 dosis y almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	174
ANEXO 8	
Fotografías de pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR	175
ANEXO 9	
Fotografías de pitahayas enteras almacenadas en condiciones de refrigeración	176
ANEXO 10	
Fichas de evaluación para el análisis sensorial de los frutos enteros	178
ANEXO 11	
Fotografías de la elaboración de pitahaya fresh-cut	179
ANEXO 12	
Escalas de los parámetros de calidad visual de pitahaya cortada	180
ANEXO 13	
Fotografías de pitahaya fresh-cut almacenada	183

ANEXO 14	
Ficha de evaluación para el análisis sensorial de pitahaya fresh-cut	187
ANEXO 15	
Fotografías del almacenamiento de frutos de pitahaya entera y cortada bajo condiciones controladas	188
ANEXO 16	
Sistema de respiración para el fruto entero y cortado	189
ANEXO 17	
Etapas del proceso de elaboración de pitahaya cortada, irradiada y empacada al vacío y balances de masa y energía	190
ANEXO 18	
BFD y PFD de la elaboración de pitahaya cortada y Lay out de la planta	194
ANEXO 19	
Estimación de costos de implementación	197

GLOSARIO

Ápice. Extremo que sobresale o punta de algún objeto (SALVAT Diccionario, 1986, p. 240).

Ecotipo. Subdivisión de una misma especie con diferentes características genéticas, que se han desarrollado según el lugar de cultivo (SALVAT Diccionario, 1986, p. 1283).

Esquejes. Fragmento sin ramas de una planta, que es separado de ésta para ser sembrado y obtener nuevas plantas con las mismas características (SALVAT Diccionario, 1986, p. 1460).

Laxante. Sustancia que favorece la evacuación intestinal (SALVAT Diccionario, 1986, p. 2256).

Mamilas. Partes externas de la pitahaya en forma de mama (Norma Técnica Colombiana NTC 3554, 1996).

Pectina. Polisacárido vegetal que forma parte de la pared celular y que está compuesto en su mayoría por ácido poligalacturónico (SALVAT Diccionario, 1986, p. 2915).

Pedúnculo. Tallo o rabillo que sujeta la hoja, flor o el fruto de una planta (RAE, 2014).

Perenne. Plantas con un tiempo de vida superior a los dos años (SALVAT Diccionario, 1986, p. 2937).

Peridermis. Tejido con función protectora que reemplaza a la epidermis en tallos y raíces con desarrollo secundario, no aparece en hojas ni en frutos (Atlas de histología vegetal y animal, 2015).

Polifenoloxidasas. Enzima causante del pardeamiento enzimático de algunos frutos y vegetales. Su centro activo está formado por dos átomos de cobre con tres histidinas cada uno y a su alrededor posee aminoácidos hidrofóbicos con anillos aromáticos (Calvo, 2013, p.1).

Tutores. Palo o estaca que se introduce al pie de una planta para que crezca vertical (RAE, 2014).

Yodofóros. Agente antiséptico compuesto por yodo y otro complejo (Diccionario Médico, 2008).

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de rayos gamma en la calidad global de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) tanto entera almacenada bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (HR), como cortada y empacada al vacío. Los parámetros de calidad evaluados durante esta investigación para el fruto entero como cortado fueron: pérdida de peso (%), firmeza (N), color, pH, cantidad de sólidos solubles totales (° Brix), acidez titulable, calidad visual y sensorial.

Para determinar la mejor dosis de trabajo, se utilizaron pitahayas en grado de color 5, las cuales correspondieron a frutos de color amarillo con mamilas ligeramente verdosas, las mismas que fueron irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy y almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR. Los análisis se efectuaron a los 0, 7 y 14 días después de la irradiación. De este primer experimento se obtuvo que a 500 Gy los frutos reportaron una menor pérdida de peso y de firmeza, así como un mínimo deterioro de la calidad visual, por lo que fue considerada como la mejor dosis de trabajo. Además, se observó que la calidad visual de las pitahayas en grado de color 5, fue el parámetro más afectado por la radiación gamma, debido a la aparición de puntos rojos en la base de las mamilas y al cambio de color de los frutos a una tonalidad anaranjada, estos efectos fueron más notables a medida que la dosis de radiación aumentó. Se vio la necesidad de analizar los efectos de la radiación a un grado de color menor, es decir en pitahayas en grado de color 4, que corresponden aquellos frutos amarillos con mamilas verdes. Del análisis a un grado de color menor (color 4), se obtuvo que los frutos irradiados a 500 Gy presentaron menores pérdidas de peso y cambios de color que aquellos en grado de color 5 tratados a la misma dosis, por lo el grado de color 4 fue el escogido para los análisis posteriores.

Con la mejor dosis de trabajo seleccionada, los frutos en grado de color 4 fueron irradiados a 500 Gy y almacenados a 12 °C y 90 % HR. Los análisis se realizaron a los 14 y 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C y a los 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C. Al término de este último periodo de almacenamiento, los frutos reportaron

menor pérdida de peso y mayor firmeza que los frutos control, tanto el pH, como la cantidad de SST y la acidez titulable no registraron variaciones importantes durante todo el almacenamiento. La combinación de radiación gamma y refrigeración logró atenuar los cambios de color en los frutos irradiados, así como disminuir los daños físicos, en especial aquellos causados por espinas en la corteza de los frutos. La combinación de estos tratamientos conservó a las pitahayas en grado de color 4 como aptas para el consumo y comercialización hasta los 31 días, 12 días más que los frutos control.

La aplicación de radiación (500 Gy) en las rodajas de pitahaya empacadas provocó una mínima pérdida de peso durante el almacenamiento. La radiación así como el uso de vacío no influyó significativamente en los valores de firmeza, contenido de SST y acidez titulable de las rodajas. Las muestras irradiadas presentaron ligeros incrementos en su pH, por lo que se mostraron menos ácidas. Al término de los 12 días de almacenamiento no presentaron pardeamiento pero si una ligera marchitez. A los cuatro días, las rodajas irradiadas y empacadas en atmósfera normal fueron consideradas por los panelistas como frescas, con un aroma débil a fruta, poco ácidas, dulces y sin presencia de sabores extraños. El conteo de mohos y levaduras, así como el de aerobios totales fue significativamente menor en aquellos tratamientos con radiación y no existió la presencia de coliformes totales en ninguno de los tratamientos. La vida útil de los empaques de pitahaya cortada e irradiada a 500 Gy fue de 12 días, mientras que para los tratamientos a 0 Gy fue de 8 días únicamente, debido a la presencia de hongos detectados de forma visual en la superficie de las rodajas. Finalmente se midió la tasa de respiración en pitahaya irradiada, tanto entera como cortada. No se encontraron diferencias significativas entre los resultados de los frutos irradiados y de control. Además, no se reportó la aparición de algún pico climatérico durante el almacenamiento.

Se diseñó una planta para la elaboración de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada con las operaciones de recepción, cortado 1, pelado, cortado 2, inmersión, empaque e irradiación. El costo de cada empaque al vacío con 150 g de pitahaya cortada e irradiada fue de 3,50 USD.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es un fruto tropical procedente de Centroamérica y Sudamérica, su pulpa es blanca, aromática y de sabor dulce (León, 2000, p. 81). Se caracteriza por su propiedad laxante y por aportar cantidades significativas de potasio, fósforo, magnesio y fibra al organismo (Rodríguez, 2000b, p. 26). Los principales países productores a nivel mundial son Colombia e Israel (Rodríguez, 2000a, p. 5). Para el Ecuador esta especie de pitahaya representa el 1% del mercado en las exportaciones de frutos no tradicionales y es considerada como producto promisorio exportable (PRO ECUADOR, 2012, p. 1). Dentro del país los cultivos de pitahaya se localizan en la zona del callejón Interandino y la Amazonía (ECOFINSA, 2011, p.1).

El deterioro de la calidad de los productos hortofrutícolas es influenciado por diversos factores, tanto biológicos como ambientales, desde la cosecha hasta su consumo (Yahia, 2011, p. 80). La pitahaya es un producto perecible, con un tiempo de vida útil de 11 días a temperatura ambiente (20 °C) y de 19 días bajo condiciones de refrigeración (12 °C), como fruto entero (Guerrero, 2015, p. 97). Por otro lado, rodajas de pitahaya empacadas y almacenadas a 4 °C, reportaron un tiempo de vida comercial de hasta 8 días (Tinitana, 2014, p. 101). La comercialización y exportación de este fruto se ve limitado por su tiempo de vida útil, razón por la cual, es necesario buscar tratamientos alternativos que preserven su calidad por mayor tiempo.

Debido a la creciente demanda de frutos y vegetales, por parte del mercado local e internacional, se ha buscado la manera de satisfacer al consumidor, quien en la actualidad es más exigente y requiere de productos cada vez más elaborados y en nuevas presentaciones. De esta manera es como los alimentos de IV gama, brindan al consumidor facilidades al adquirir productos frescos y nutritivos (Vargas, Tamayo, Centurión, Tamayo, Saucedo y Sauri, 2010, p.155). Los alimentos cortados o de IV gamma son productos inocuos, que han sido alterados su forma física y que se encuentran en el mercado listos para ser consumidos, con una alta calidad sensorial y nutricional muy parecida al del producto fresco

entero (Artés-Hernández, Aguayo, Gómez y Artés, 2009, p. 52).

En la actualidad se utilizan métodos físicos y químicos para prolongar la calidad de frutos y vegetales. Los métodos más aplicados para la conservación de pitahaya entera son la refrigeración y tratamientos en frío (Magaña et al., 2004, p. 33); mientras que para la pitahaya cortada, se emplea la inmersión en compuestos GRAS y el empacado en atmósferas controladas y/o modificadas (Rotondo, Ferratto y Firpo, 2008, p. 3; Tinitana, 2014, p. 100). Estos últimos tratamientos se utilizan en alimentos de IV gama con la finalidad de reducir/controlar las reacciones enzimáticas y el crecimiento microbiano, para que así los productos conserven su calidad por más tiempo y se minimice el uso de conservantes (Ospina y Cartegena, 2008, p. 114).

La irradiación de alimentos es una técnica antigua de conservación, que ofrece una serie de ventajas, tanto al consumidor como a la industria alimenticia. Entre los beneficios más importantes se encuentran el retraso de la maduración en frutos y vegetales, la inhibición de la germinación y la reducción y/o destrucción de agentes patógenos que deterioran la calidad de los alimentos y amenazan la salud de los consumidores (ICGFI, 1999, p. 16; Suárez, 2001, p. 85). La aplicación de radiación ha demostrado ser efectiva para prolongar el tiempo de vida comercial de frutos enteros y cortados, sin producir cambios significativos en su calidad sensorial global (Lacroix y Ouattara, 2000, p. 720).

Debido a que la mayoría de estudios para prolongar la vida útil de frutos es con ayuda de la refrigeración, se propone en este proyecto un estudio combinado entre irradiación con rayos gamma y refrigeración para la pitahaya, tanto entera como cortada, aunque a esta última se le dará un tratamiento adicional de empacado al vacío para mejorar sus condiciones de almacenamiento y preservar su calidad organoléptica.

El objetivo general de este proyecto fue estudiar el efecto de la irradiación con rayos gamma en la calidad poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) entera y cortada oriunda del cantón Pedro Vicente Maldonado

perteneciente a la provincia de Pichincha. Con la finalidad de alcanzar lo propuesto se establecieron los siguientes objetivos específicos: determinar el efecto de la dosis de radiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera en dos grados de color, estudiar el efecto de la irradiación gamma sobre la calidad de la pitahaya entera almacenada bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (HR), evaluar la calidad de la pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada almacenada en refrigeración y por último diseñar una planta para la elaboración de pitahaya cortada, empacada e irradiada con base en la producción anual de Pitacava.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)

1.1.1 GENERALIDADES

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es un fruto ovoide y alargado que puede medir hasta 14 cm. Su cáscara presenta protuberancias llamadas mamilas, las cuales poseen espinas en el ápice (Corpoica, 2013, p. 19). La pulpa es blanca-translúcida con un aroma intenso y abundantes semillas pequeñas de color negro. La pitahaya es considerada un fruto tropical exquisito de sabor dulce (León, 2000, p. 81). En la Figura 1.1, se puede apreciar la apariencia interna y externa de una pitahaya amarilla



Figura 1.1. Pitahaya amarilla

La clasificación taxonómica de la pitahaya amarilla se describe en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Clasificación de la pitahaya amarilla

Reino	Plantae
Clase	Equisetopsida
Subclase	Magnoliidae
Superorden	Caryophyllanae
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Cactoideae
Género	Selenicereus
Especie	megalanthus

(Corpoica, 2013, p. 11)

El cultivo de pitahayas se desarrolla en terrenos entre los 0 y 1 850 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas en el rango de 18 y 26 °C y precipitaciones entre 1 200 y 1 500 milímetros anuales. Los climas cálidos subhúmedos son los preferidos por estas plantas, aunque se adaptan fácilmente a climas secos (Rodríguez et al., 1993, p. 3).

La pitahaya amarilla es una planta perenne y trepadora que crece generalmente sobre árboles y tutores. Esta planta cuenta con abundantes y fibrosas raíces que se forman a través de esquejes plantados en el suelo.

Los tallos son sustanciosos, triangulares y contienen espinas de 2 a 4 mm de largo. La flor es grande y mide entre 20 y 30 cm de largo, es tubular, hermafrodita, blanca y tiene la peculiaridad de que su botón únicamente se abre por las noches (Díaz, 2005, p. 45).

Los frutos inicialmente son de color verde y a medida que maduran se tornan amarillos, un fruto de pitahaya puede medir entre 8 y 14 cm de largo, entre 4,5 y 9 cm de diámetro y pesar entre 70 y 390 g en promedio (Corpoica, 2013, p. 19). Además, poseen espinas de 1,5 cm de largo, las mismas que se desprenden con mayor facilidad en la madurez fisiológica del fruto.

Las semillas de la pulpa son abundantes, miden 3 mm de diámetro aproximadamente, contienen aceite enriquecido con ácidos grasos insaturados y se encuentran esparcidas por toda la pulpa (Esquivel y Araya, 2012, p. 12).

Una vez que se han plantado esquejes de 1 a 2 metros de largo, los frutos aparecen a los 2 años aproximadamente. La vida de estas plantas es muy productiva ya que sus esquejes se renuevan continuamente (Rodríguez et al., 1993, p. 3).

En la Figura 1.2, se observa una planta de pitahaya amarilla cultivada en la Empresa Agrícola "PITACAVA".



Figura 1.2. Planta de pitahaya amarilla con frutos maduros y en formación (1) y flor de pitahaya amarilla antes de la polinización (2)

1.1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El origen del nombre “pitahaya” proviene del idioma taíno, propio de las Antillas Mayores y que significa “fruta escamosa”. A través del tiempo estos frutos han adoptado diferentes nombres según la región donde han sido cultivados, como por ejemplo “pitaya”, “pitajaya”, “fruta dragón”, “pitahaya reina de la noche”, “dragon fruit”, etc; no obstante, el nombre que ha perdurado en el tiempo y con el que actualmente se los conoce es pitahaya o pitaya (Rodríguez, 2000a, p. 3).

Los frutos de pitahaya pueden ser de dos géneros, *Hylocereus* y *Selenicereus*. Dentro del género *Hylocereus* los más importantes son: la pitahaya roja de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) que es la más cultivada a nivel mundial y la pitahaya roja de pulpa roja (*Hylocereus polyrhizus*) (Díaz, 2005, p. 45). La producción de pitahaya roja se concentra en los países de México, Nicaragua, Guatemala, Vietnam y Malasia (Rodríguez, 2000a, p. 5; PRO ECUADOR, 2013, p. 8).

Dentro del segundo género, *Selenicereus*, se tiene a la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), siendo Colombia el país que más sobresale por su cultivo seguido de Israel (Rodríguez, 2000a, p. 5).

1.1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL

La composición química y nutricional de la pulpa de pitahaya amarilla se presenta en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Composición química y nutricional de la pitahaya amarilla

Analito	Contenido nutricional de la pitahaya amarilla por 100 g
Agua (%)	85,35
Cenizas (%)	0,50
Extracto etéreo (%)	0,13
Proteínas (%)	0,40
Fibra cruda (%)	0,50
Carbohidratos (%)	9,91
Calorías (kcal)	67,70
Vitamina C (mg)	8,00
Fósforo (mg)	30,20
Potasio (mg)	74,88
Magnesio (mg)	11,43
Calcio (mg)	3,47
Hierro (mg)	0,55

(Rodríguez, 2000b, p. 26; Díaz, 2005, p. 46)

La pitahaya es un fruto bajo en calorías, con alto contenido de agua y azúcares naturales (Díaz, 2005, p. 46). A los polifenoles, flavonoides y antioxidantes naturales presentes en este fruto se les atribuyen posibles beneficios, como la prevención del envejecimiento prematuro y el desarrollo de enfermedades crónicas e inclusive podrían combatir la proliferación de células del melanoma causantes de cáncer (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez y Osorio-Revilla, 2009, p. 153). Dentro del grupo de pitahayas que más se comercializan, la pitahaya amarilla es considerada como la más dulce, con un contenido de sólidos solubles totales (SST) de 19 °Brix (Rodríguez, 2000b, p. 25).

La pitahaya es conocida por su efecto laxante debido al aporte significativo de fibra. El consumo de fibra ayuda a la regulación del tránsito intestinal y favorece a

un mejor desempeño del aparato digestivo; por otra parte, posee una sustancia llamada captina que regula los sistemas cardiovascular y nervioso, controla la aceleración del corazón y evita las taquicardias (Rodríguez, 2000a, p. 10).

Se dice que el consumo de este fruto combate el colesterol, limpiando la sangre y liberándola de grasas. Además, es rico en minerales como el potasio, fósforo, magnesio y calcio, reponiendo los electrolitos que pierde el cuerpo al realizar actividades físicas. Las enzimas presentes en la pitahaya permiten una mejor absorción del hierro presente en los alimentos (Bruso, 2008, p.1 y Díaz, 2005, p. 46).

Las semillas de la pulpa poseen altos contenidos de fibra y un 18,8 % de aceite enriquecido con ácidos grasos como el linoléico, oléico, palmítico y mirístico, siendo la pitahaya amarilla la que más sobresale dentro del grupo de pitahayas por su alto contenido de ácido linoléico (660 g/kg), el cual es un ácido graso esencial en la dieta humana (Chemah, Aminah, Noriham y Wan, 2010, p. 1006).

1.1.4 FISIOLÓGÍA POSCOSECHA

Una vez que los frutos han sido recolectados, algunos procesos metabólicos como la respiración y la transpiración se siguen llevando a cabo, mientras que otros empiezan con la maduración, como es la producción de etileno (Yahia, 2011, p. 80). Es necesario un adecuado control de estos procesos en la etapa poscosecha para extender la vida útil de los productos y conservar su calidad (FAO, 2013, p. 2).

El grado de madurez en el que se encuentran los frutos al momento de la cosecha, es el factor más importante que determina la vida útil y calidad final de los mismos. Los frutos que son cosechados antes o mucho tiempo después de su madurez fisiológica son más susceptibles a todo tipo de daños y tienen un periodo de vida útil más corto que los aquellos cosechados en el índice de madurez correcto. La mayoría de frutos tropicales y subtropicales son cosechados en

madurez fisiológica, por lo que su madurez organoléptica o de consumo es alcanzada en la etapa poscosecha (Yahia, 2011, p. 81).

Según la tasa de respiración de los frutos y su proceso de maduración, se los divide en dos grupos: frutos climatéricos y frutos no climatéricos. Los frutos del primer grupo son aquellos capaces de alcanzar su madurez organoléptica una vez separados de la planta y se caracterizan por presentar un pico climatérico, punto que corresponde a los máximos valores de CO₂ y etileno desprendidos por el fruto en su maduración (FAO, 2013, p. 2). En cambio, los frutos no climatéricos son aquellos incapaces de alcanzar su madurez organoléptica una vez que han sido cosechados, por lo que deben permanecer en la planta hasta que estén listos para ser consumidos. Su tasa de respiración y producción de etileno no presentan variaciones significativas a través del tiempo y no reportan pico climatérico alguno (Yahia, 2011, p. 81).

Actualmente no se ha podido precisar si la pitahaya es un fruto climatérico o no climatérico. Existen autores como Díaz (2005) que definen a la pitahaya como un fruto no climatérico con una producción baja de etileno de 0,025 a 0,091 µL/kg * h y una tasa de respiración en el rango de 95 a 144 mg CO₂/kg * h a 20 °C (p. 47). Otros en cambio, caracterizan a la pitahaya como un fruto climatérico con una tasa de respiración en el rango de 20 a 80 mg CO₂/kg * h a 19 °C (Rodríguez, Patiño, Miranda, Fisher y Galvis, 2005, p. 2848). De igual manera, Guerrero (2015) determinó que la pitahaya amarilla es un fruto climatérico con una tasa de respiración en el rango de 15 a 26 mg CO₂/kg * h a 20 °C (p. 92).

1.1.5 MANEJO POSCOSECHA

La cosecha provoca cierto estrés y tensión en los frutos, por lo que se genera un aumento en la tasa de respiración, una maduración apresurada y otros cambios deseables e indeseables en los productos (Hernández, Barrera y Melgarejo, 2010, p. 171). Las operaciones poscosecha que abarcan desde la cosecha hasta la llegada del fruto al consumidor, deben garantizar la aplicación de técnicas y

tratamientos que retrasen y/o disminuyan los efectos indeseables en los alimentos a causa de la cosecha (Yahia, 2011, p. 126).

La Norma INEN 2003:05 (2005) establece que los requisitos mínimos de calidad para la pitahaya amarilla entera son (pp. 6-7):

- ✓ Los frutos deben estar enteros y sin heridas.
- ✓ Deben poseer una forma ovoide, propia de la especie.
- ✓ Deben presentar un aspecto fresco y de consistencia firme.
- ✓ El pedúnculo debe medir entre 15 mm y 20 mm de longitud.
- ✓ Los frutos deben estar libres de ataques de insectos o microorganismos.
- ✓ Los frutos deben estar sin espinas, tierra o residuos de agroquímicos.
- ✓ Los frutos deben estar exentos de olores y/o sabores extraños.
- ✓ La pulpa debe ser consistente al tacto y sin agentes extraños.

1.1.5.1 Cosecha

La cosecha de pitahayas se realiza a partir del segundo y tercer año después de la siembra, al principio se obtienen de 3 a 4 frutos por planta hasta el quinto o sexto año que la planta se estabiliza y se obtienen alrededor de 4,5 kg por planta (30 – 35 frutos). Los meses importantes de cosecha son: Febrero – Marzo, Julio – Agosto y Octubre – Noviembre (Jordán et al., 2009, p. 3).

Debido a la presencia de espinas en los frutos, la recolección es la operación más delicada de la cosecha, el corte de las pitahayas debe realizarse desde la base del pedúnculo y se debe utilizar guantes de cuero para una correcta manipulación y cepillos para la eliminación de espinas.

Se recomienda cosechar las pitahayas a tempranas horas de la mañana para evitar su deshidratación y cuando éstas hayan alcanzado su madurez fisiológica, es decir cuando las $\frac{3}{4}$ partes de la cáscara del fruto sea de color amarillo (Rodríguez et al., 1993, p. 9; ICA, 2012, p. 12).

1.1.5.2 Selección y clasificación

La selección de los frutos se realiza con base en los parámetros establecidos para su comercialización, estos son su tamaño y su color (Díaz, 2005, p. 48).

La norma INEN 2003:05 (2005) ha clasificado a estos frutos en función de su calidad y los ha dividido en 3 categorías como se observa en la Tabla 1.3. Las pitahayas a su vez, han sido clasificadas por su calibre, es decir por su tamaño que equivale al peso del fruto, tal como se indica en la Tabla 1.4. (pp. 5-6).

Tabla 1.3. Clasificación de la pitahaya amarilla por categorías

Categoría	Características	Tolerancia
Extra	Son los frutos de mejor calidad. Deben estar libres de defectos y solo se admitirán aquellos con alteraciones superficiales leves, de manera que la apariencia global del fruto no se vea afectada.	El 5 % en número o en peso de las pitahayas que no cumplan con los requisitos de esta categoría, pero si cumplan con los de la Categoría I.
I	Se admiten pequeños defectos como alargamientos poco pronunciados del fruto, rozaduras cicatrizadas que no sobrepasen el 1 cm ² del área total del fruto y pitahayas con pedúnculos no mayores a 25 mm.	El 10 % en número o en peso de las pitahayas que no cumplan con los requisitos de esta categoría, pero si cumplan con los de la Categoría II.
II	Esta categoría abarca las pitahayas que no califican para las categorías anteriores, pero satisfacen los requisitos mínimos y conservan sus características esenciales de calidad. Para cada fruto se admiten defectos como manchas superficiales y/o raspaduras cicatrizadas no mayores a los 2 cm ² del área total del fruto, así como frutos que hayan perdido su forma ovoidal.	El 10% en número o en peso de las pitahayas que no cumplan con los requisitos de esta categoría ni con los requisitos mínimos, se excluyen sin excepción, los productos afectados por podredumbre o daños severos que no permitan el consumo de los mismos.

(Norma INEN 2003:05, 2005, p. 5)

Tabla 1.4. Clasificación de la pitahaya amarilla de acuerdo a su calibre

Calibre	Peso (g)	Tolerancia
8	≥ 361 (*)	Para todas las categorías se aceptan hasta un 10 % en número o en peso de frutos que correspondan al calibre inferior o superior al indicado en el empaque Nota: En el mercado interno, calibre se utiliza para identificar el intervalo del peso del fruto, mientras que para el mercado de exportación, calibre corresponde al número de frutos por empaque. (*): Considerado para exportación
9	261 – 360 (*)	
12	201 – 260 (*)	
14	151 - 200	
16	111 - 150	
20	≤ 110	

(Norma INEN 2003:05, 2005, p. 6)

1.1.5.3 Pre enfriamiento, lavado y desinfección

El pre enfriamiento de los frutos se realiza con la finalidad de disminuir el calor de campo y retrasar la maduración de los productos. Esta operación se la puede llevar a cabo en cuartos de enfriamiento con agua, con aire forzado, al vacío y con hielo (Picha, 2000, p. 8).

Para enfriar a las pitahayas se las sumerge en tinas con agua fría y clorada (100 ppm), donde a su vez se las cepilla para eliminar impurezas y espinas restantes. La desinfección se realiza en jabas limpias y con soluciones fúngicas y bactericidas permitidas para uso poscosecha. Los frutos se secan a temperatura ambiente (Díaz, 2005, p. 48; Rodríguez, 2000b, p. 28).

1.1.5.4 Empacado, almacenamiento y transporte

Las pitahayas deben ser empacadas en cajas de madera, cartón corrugado o plástico, de manera que se garanticen las correctas condiciones de higiene, ventilación y resistencia a la humedad para su manipulación y transporte. En un empaque los frutos deben ser del mismo origen, especie, categoría, color y calibre (Norma INEN 2003:05, 2005, p.10). Los frutos que se exportan desde países como Colombia, Israel y México son embalados en cajas de cartón corrugado de 4 kg con 6, 8, 10, 12 o 16 pitahayas según sea su peso (Díaz, 2005, p. 48).

Se recomienda almacenar los frutos en un rango de 7 a 12 °C, con una humedad relativa (HR) del 85 al 90 %, para que alcancen un tiempo de vida útil de hasta 22 días (Díaz, 2005, p. 48).

Por otro lado, la Norma INEN 2003:05 (2005) señala que los frutos deben almacenarse en un rango de 3 a 8 °C y con una HR del 85 al 90 % para que se conserven aptos para el consumo hasta los 25 días (p. 9). Guerrero (2015) determinó que la vida útil de la pitahaya amarilla fue de 19 días a 12 °C y de 11 días a 20 °C y 90 % HR (p. 97).

1.1.6 FACTORES PRINCIPALES QUE INTERVIENEN EN LAS PÉRDIDAS POSCOSECHA

La maduración y senescencia de los frutos están caracterizadas por varios procesos irreversibles que terminan en la muerte del fruto. El entendimiento de los factores biológicos y ambientales que afectan al deterioro poscosecha, es esencial para desarrollar tratamientos que mantengan la calidad y extiendan la vida en percha de los productos (Yahia, 2011, p. 80).

1.1.6.1 Factores Biológicos

Enfermedades: La producción de frutos de pitahaya se ve afectada tanto por el ataque de plagas como por enfermedades de los cultivos, entre las que se destacan aquellas producidas por hongos (Corpoica, 2013, p. 78). Dentro de las enfermedades más importantes, se encuentra la pudrición basal del fruto (*Fusarium spp.*), la pudrición suave de la penca (*Erwinia spp.*) y la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Delgado, Kondo, Imbachi, Quintero, Manrique y Medina, 2010, pp. 1-2). Estos hongos provocan lesiones en el pedúnculo que se pueden extender por todo el fruto, aparecen como manchas acuosas amarillas y manchas marrones que secan y hunden a la parte afectada (ICA, 2012, pp.12-15).

No todas las plagas ni enfermedades pueden ser controladas en la planta, por lo que muchas veces los frutos son cosechados enfermos y sus pérdidas únicamente se las evidencia en la poscosecha.

Daños por frío: Los daños por frío son uno de los mayores obstáculos para la comercialización de frutos tropicales y suceden cuando los productos son sometidos a temperaturas por debajo de su punto de congelación o cuando son expuestos a temperaturas inferiores a 5 y 15 °C según sea el fruto (Siddiq, 2012, pp. 26-27). Los síntomas más comunes son decoloración interna y externa, áreas húmedas, retardo o pérdida de la capacidad para madurar, aparición de sabores y olores extraños (off-flavor) y mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos,

hongos especialmente. Estos daños se hacen más notables al momento en que los productos son transferidos a mayores temperaturas (Yahia, 2011, p. 94). Para la pitahaya amarilla se reportan daños por frío a los 5 y 6 °C (Díaz, 2005, p. 48).

Daños físicos: Los frutos son propensos a sufrir una serie de daños mecánicos durante las operaciones previas a su comercialización (Siddiq, 2012, p. 30). Algunos de estos daños son heridas en la superficie, golpes y cortes, los mismos que provocan la ruptura de membranas en los tejidos superficiales del fruto y exponen a los compuestos fenólicos del alimento a la enzima polifenoloxidasasa (PPO), la cual es la causante del pardeamiento de los tejidos (Yahia, 2011, p. 100).

Los daños físicos no solo aceleran la pérdida de agua sino que dan lugar al crecimiento de hongos y a una mayor producción de etileno y CO₂ por parte del fruto (Kader, 2002, p. 42). Uno de los mayores daños físicos que sufren las pitahayas es por causa de sus espinas, las cuales no siempre son retiradas totalmente y quedan impregnadas en la cáscara e inclusive algunas penetran hasta la pulpa, siendo la apariencia global del fruto, el atributo de calidad más afectado (Guerrero, 2015, p. 79).

1.1.6.2 Factores Ambientales

Temperatura: La temperatura es el factor ambiental más importante que afecta el deterioro de frutos tropicales y subtropicales (Yahia, 2011, p. 93). Adecuadas temperaturas de refrigeración desaceleran la actividad metabólica, el estrés poscosecha, la pérdida de agua y reducen el ataque y/o proliferación de microorganismos (Wongs-Aree y Noichinda, 2014, p. 296). Por otro lado, altas temperaturas aceleran los procesos fisiológicos y consecuentemente el deterioro de los alimentos. Por cada 10 °C por encima de la temperatura de refrigeración óptima, la velocidad de deterioro del alimento se duplica (Hernández, Barrera y Melgarejo, 2010, p. 173).

En la Figura 1.3, se muestra el efecto de la temperatura en la calidad poscosecha de los frutos.

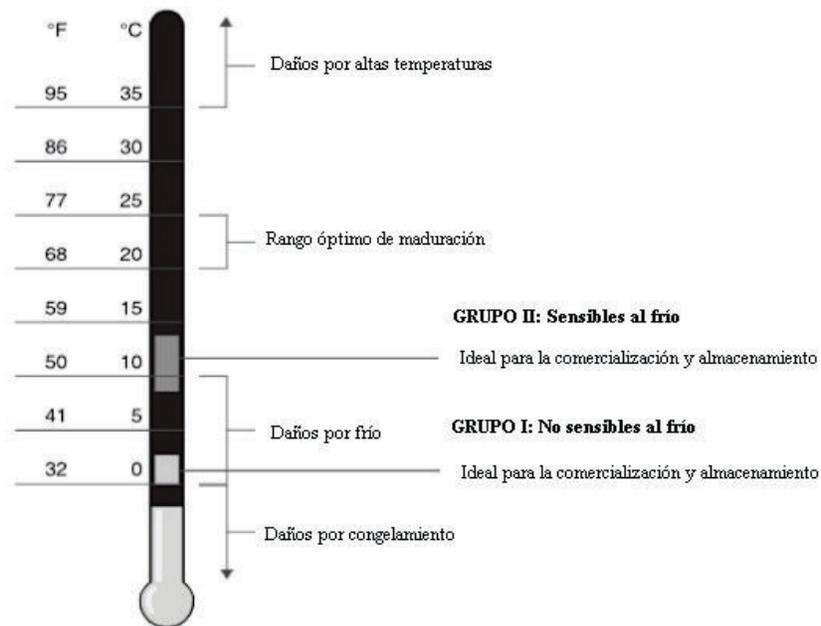


Figura 1.3. Efecto de la temperatura en la vida útil de un fruto
(Yahia, 2011, p. 93)

Humedad relativa: La humedad relativa (HR) es un porcentaje que expresa la correlación entre el total de agua que el aire posee y el valor máximo de agua que puede retener a una temperatura establecida (Hernández, 2015, p. 1). La velocidad con la que los frutos pierden agua se ve influenciada por la temperatura y humedad relativa, las cuales provocan un gradiente entre la presión de vapor del fruto y el ambiente que lo rodea, causando así una mayor o menor transpiración del fruto.

Cuando el ambiente tiene una humedad relativa mayor al 95 %, el agua puede condensar sobre la superficie de los frutos y acelerar el ataque de patógenos y el deterioro del alimento. Por otro lado, si el ambiente se encuentra a humedades relativas muy bajas, menores al 65 %, el producto corre el riesgo de deshidratarse, la pérdida de peso será mayor así como los daños en la apariencia y textura del fruto (Yahia, 2011, pp. 92-96; López, 2003, pp. 72-75).

1.1.7 USOS

La planta de pitahaya y sus partes tienen diferentes usos, a continuación en la Tabla 1.5, se resumen las aplicaciones más importantes.

Tabla 1.5. Uso integral de la planta de pitahaya

Partes	Usos	Industrialización
Planta	Ornamental y cercos vivos	
Tallos	Alimentación animal	Forrajes
	Medicinal	Medicamentos
	Cosmetológico	Shampoos y jabones
Flores	Ornamental	
	Medicinal	Medicamentos
	Cosmetológico	Esencias
Frutos	Ornamental	
	Alimentación humana	Pulpa congelada, jugos, jarabes, licores, salsas, liofilizados
	Alimentación animal	Forrajes
	Medicinal	Medicamentos
Cáscara	Industrial	Colorantes y pectinas

(Rodríguez, 2000a, p. 11)

1.1.8 SITUACIÓN DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA EN EL ECUADOR

En el Ecuador es un cultivo en constante expansión siendo el callejón Interandino y la Amazonia las regiones donde se concentran la mayor producción de pitahayas. Los cultivos a lo largo del país se encuentran localizados en cuatro provincias, Pichincha (76,8 %), Morona Santiago (11,47 %), Guayas (4,7 %) y Bolívar (3,9 %). En el país se han desarrollado dos ecotipos de pitahaya amarilla, el primero se cultiva en el callejón Interandino en las provincias de Bolívar y Pichincha, mientras que el segundo es cultivado en la Amazonia (Jordán, Vásconez, Veliz, González, 2009, p. 2).

Desde el año 2007, la producción y exportación de frutos de pitahaya se ha

incrementado debido a la demanda del mercado local e internacional, por lo que se considera a este cultivo como nuevo y próspero en el país (PRO ECUADOR, 2012, p. 5). Con respecto a la demanda interna del producto, la pitahaya es consumida en poca cantidad y es apetecida en especial por las clases media y media alta de la sociedad (Jordán et al., 2009, p. 4); respecto a la demanda externa, los países que más importan pitahayas ecuatorianas son: Holanda (61 %), Francia (29 %) y España (5 %) (Banco Central del Ecuador, 2014). Para el Ecuador la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) representa el 1% del mercado en las exportaciones de frutos no tradicionales y es uno de los frutos considerados como producto promisorio exportable (PRO ECUADOR, 2012, p. 1).

1.2 IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

1.2.1 GENERALIDADES

La irradiación de alimentos, o conocida también como pasteurización en frío o pasteurización electrónica (Conesa y Gomariz, 2006, p. 201), es un método físico de preservación, que consiste en exponer a un alimento a la acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto tiempo. La cantidad de energía que absorbe el alimento es proporcional al tiempo de exposición y se mide en Grays (Gy), que equivale a un Joule por kilogramo de producto irradiado. La dosis que un alimento absorbe depende del tiempo de exposición así como de la actividad de la fuente emisora de radiación (Rossi, Watson, Escandarani, Miranda y Troncoso, 2009, p. 319).

Suárez (2001) define a la radiación como “La emisión y propagación de energía en forma de ondas a través del espacio o de un medio material” (p. 85). Si la radiación es provocada por fuerzas eléctricas o magnéticas se la conoce como radiación electromagnética (González y Rabin, 2011, p. 15), la cual es clasificada según su frecuencia o longitud de onda, como se muestra en el espectro electromagnético de la Figura 1.4.

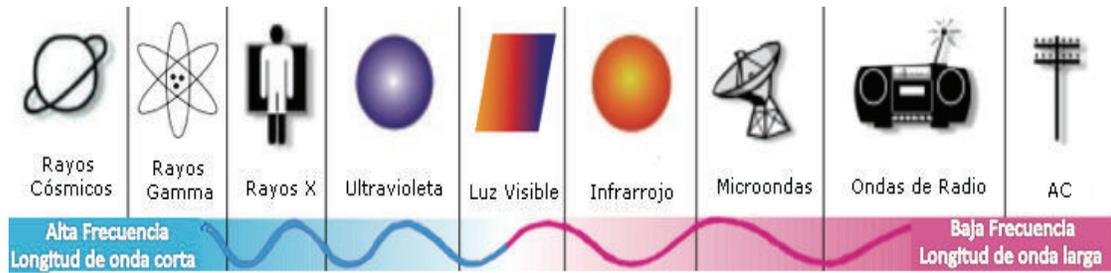


Figura 1.4. Espectro electromagnético
(ICGFI, 1999, p. 8)

1.2.1.1 Radiaciones ionizantes

Las radiaciones ionizantes son fotones o partículas emitidas por elementos radioactivos o en procesos at6micos, que poseen la energía suficiente para que un 6tomo o mol6cula pierda sus electrones y se convierta en una partícula cargada llamada i6n (ICGFI, 1999, p. 7; Pradell, 2005, p. 105), como resultado de la ionizaci6n se producen cambios fisicoquímicos en la materia y alteraciones biol6gicas en los microorganismos presentes en ella. Estas radiaciones se caracterizan por su capacidad de penetraci6n en los materiales, lo que establece sus usos y aplicaciones. La radiaci6n gamma es la m6s penetrante y solo paredes de plomo u hormig6n de grosores importantes la pueden detener, tal como se puede observar en la Figura 1.5. (Gonz6lez y Rabin, 2011, pp. 19-20).

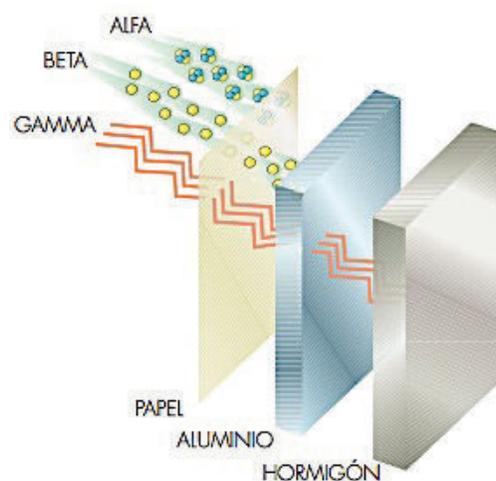


Figura 1.5. Capacidad de penetraci6n de las radiaciones ionizantes
(CNS, 2004, p. 11)

Los tipos de radiación ionizante que se utilizan para irradiar alimentos son: rayos gamma de fuentes de Co-60 o Cesio-137 (Cs-137), que son radioisótopos, rayos X de energía no mayor a 5 MeV y por último electrones acelerados de energía no mayor a 10 MeV (Rossi et al., 2009, p. 319).

En la actualidad, la fuente de rayos gamma más utilizada es la de Co-60, debido a que ofrece un mayor grado de eficiencia global, es completamente insoluble en agua lo que representa un menor riesgo de contaminación ambiental y por último, la penetración de los rayos gamma en el producto es mejor (Morton y Marquina, 2000, pp. 14-15).

1.2.2 OBJETIVOS DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS

La irradiación de alimentos ofrece una amplia variedad de beneficios tanto para la industria alimenticia como para el consumidor. De manera general, esta técnica puede retardar los procesos de maduración en algunos frutos y vegetales frescos, así como garantizar su calidad higiénico-sanitaria mediante la reducción y/o destrucción de agentes patógenos que los deterioran y que a la vez, son los causantes de transmitir enfermedades a través de los alimentos (ETA) (Suárez, 2001, p. 85).

Existen tres aplicaciones generales según el rango de dosis que se utilice (ICGFI, 1999, p. 9), sus efectos se detallan a continuación:

Irradiación a dosis bajas (<1 kGy): Retraso del proceso de maduración, inhibición de la germinación, desinfestación e inactivación de parásitos (ICGFI, 1999, p. 9).

Irradiación a dosis medias (1-10 kGy): Reducción de bacterias y células vegetativas, eliminación y/o reducción de patógenos no formadores de esporas y retraso de la maduración (Fellows, 2000, pp. 240-241; ICGFI, 1999, p. 9).

Irradiación a dosis altas (10-50 kGy): Reducción de virus y agentes patógenos formadores de esporas y esterilización de alimentos (Fellows, 2000, p. 240; ICGFI, 1999, p. 9).

En la Tabla 1.6, se pueden observar ejemplos de alimentos y los efectos que se producen según el rango de dosis que se aplica.

Tabla 1.6. Aplicaciones de la irradiación de alimentos

	Aplicación	Rango de dosis (kGy)	Alimentos
Dosis bajas (>1 kGy)	Inhibición de la germinación	0,05 – 0,15	Papas, cebollas, ajos, jengibre.
	Desinfestación de parásitos	0,15 – 0,5	Cereales, frutos frescos y secos, carne y pescado seco, cerdo fresco.
	Retardo de la maduración	0,25 – 1,0	Frutos y vegetales frescos.
Dosis medias (1 – 10 kGy)	Extensión del tiempo de vida en percha	1,0 – 3,0	Fresas, hongos y pescado fresco.
	Eliminación de microorganismos patógenos	1,0 – 7,0	Mariscos frescos y congelados, aves de corral y carne
	Mejora en las propiedades de los alimentos	2,0 – 7,0	Uvas, vegetales deshidratados.
Dosis altas (10 – 50 kGy)	Esterilización industrial	30 - 50	Carne, aves de corral, mariscos, comida preparada, comida para hospitales
	Descontaminación de ciertos aditivos e ingredientes para ciertas comidas	10 - 50	Especias, preparación de enzimas, goma natural

(ICGFI, 1999, p. 16)

1.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Entre las principales ventajas que presenta la irradiación de alimentos se puede mencionar lo siguiente:

- ✓ Es una tecnología en frío que no eleva la temperatura del alimento y por lo tanto lo mantiene en estado fresco (ICGFI, 1999, p. 16).
- ✓ Los alimentos sufren una única manipulación y no necesitan de agentes químicos para su conservación (Fellows, 2000, p. 233).
- ✓ Es una técnica que no altera de manera significativa el valor nutricional de los productos alimenticios en el rango de dosis de 1 hasta 10 kGy. Las

pérdidas nutricionales son menores que en otros procesos de conservación, como la pasteurización, el enlatado y desecado (ICGFI, 1999, pp. 28 - 29).

- ✓ No deja residuos nocivos en el alimento ni lo vuelve radiactivo (ICGFI, 1999, p. 22).
- ✓ La irradiación puede ser aplicada en alimentos empacados y congelados (Fellows, 2000, p. 233).
- ✓ Los cambios en la textura, el color, la apariencia y el sabor de los alimentos irradiados pueden ser mínimos (ICGFI, 1999, p. 16).
- ✓ Los alimentos irradiados pueden ser utilizados o consumidos inmediatamente (Arvanitoyannis, 2010, p. 467).
- ✓ Es un proceso único, que tiene la habilidad de inactivar microorganismos patógenos, como *Salmonella*, *E. coli O157:H7* y *Campylobacter*, en alimentos congelados y particularmente de origen animal (ICGFI, 1999, p. 16).
- ✓ El control del proceso es de forma automática y tanto sus costos de operación como su gasto energético son bajos (Fellows, 2000, p. 233).

Por otro lado, las desventajas de este proceso son:

- ✓ No todos los alimentos se recomiendan ser irradiados. La calidad organoléptica de productos líquidos (jugos, vinos, etc.) y altamente grasos se ve afectada, en estos últimos la irradiación de lípidos en presencia de aire provoca un sabor rancio en el alimento (Suárez, p. 86).
- ✓ El riesgo de que algunos microorganismos desarrollen resistencia a la radiación y requieran de dosis más altas para su reducción y/o eliminación (Fellows, 2000, p. 234).
- ✓ La falta de información sobre alimentos irradiados y las implicaciones de su proceso, provoca un rechazo por parte de los consumidores, debido a que muchas personas creen que los alimentos se vuelven radiactivos y que la radiación permite la formación de compuestos tóxicos en los alimentos (ICGFI, 1999, p. 38).
- ✓ Altos costos de instalación (Fellows, 2000, p. 233).

1.2.4 EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN LOS ALIMENTOS

En la irradiación de alimentos, suceden dos procesos fundamentales, los cuales en conjunto se los conoce como radiólisis. El primero, llamado efecto primario o directo, ocurre cuando la energía ionizante que absorbe el alimento rompe los enlaces químicos de sus átomos y/o moléculas para formar productos eléctricamente cargados (iones) y productos neutros (radicales libres) y el segundo proceso, conocido como efecto secundario o indirecto, sucede cuando los productos del primer efecto interaccionan entre sí para formar nuevos productos, a los cuales se los denomina productos radiolíticos. Estas reacciones pueden suceder en microsegundos o manifestarse a lo largo del tiempo durante el almacenamiento y son las responsables de la destrucción de microorganismos, de los cambios organolépticos que sufren los alimentos y de la extensión de su vida útil (Fellows, 2000, p. 236; Narvaiz, 2009, p. 9; Herrero y Romero, 2006, p. 73).

En alimentos con altos contenidos de agua, como frutos y vegetales frescos, la radiación provoca la ionización, la disociación y la excitación de la molécula de agua, lo que resulta en una serie de reacciones químicas y formación de productos intermedios muy reactivos, que tienen el poder de destruir células microbianas. Los productos anteriores interaccionan entre sí o con otros átomos o moléculas hasta formar productos radiolíticos estables, los cuales originan cambios en el aroma y color de los alimentos (Fellows, 2000, p. 236; Pradell, 2005, p. 118; Narvaiz, 2009, p. 11).

1.2.4.1 Efecto sobre los microorganismos

Al formarse radicales libres por efecto de la radiación, éstos actúan de forma inmediata y rompen la membrana celular alterando las funciones enzimáticas y metabólicas de la célula, destruyendo así a los microorganismos. Además, existe un efecto a largo plazo, en el cual la estructura del ADN se modifica y por lo tanto el crecimiento y la reproducción microbiana se ven impedidos. La rapidez con la que actúa la radiación dependerá de la dosis aplicada y de la velocidad con la que

los iones se generan e interaccionan con el ADN (Fellows, 2000, p. 239; Narvaiz, 2004, p. 9).

1.2.4.2 Efecto sobre los macro y micronutrientes

Los macronutrientes de los alimentos son nutrimentos que deben consumirse en grandes proporciones, debido a que aportan al organismo la mayor cantidad de energía para su correcto desempeño diario, los principales macronutrientes son los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. Por otro lado, los micronutrientes son lo que se consumen en menor cantidad, no suministran energía al cuerpo humano, pero si son necesarios para mantener una buena salud, dentro de este grupo se encuentran las vitaminas y los minerales (Vega e Iñárritu, 2010, p. 11).

Los carbohidratos sufren cambios poco importantes a causa de la radiación, los más inmunes son aquellos que forman las paredes de las células vegetales, ya que la pared vegetal en sí actúa como protección de los rayos ionizantes (Pradell, 2005, p. 119). Con respecto a los lípidos, la radiación a dosis altas ocasiona pérdidas en compuestos liposolubles y ácidos grasos esenciales (Fellows, 2000, p. 236); además, produce la oxidación de grasas saturadas e insaturadas dando lugar a la formación tanto de ácido sulfhídrico, como de aldehídos, cetonas y otros compuestos volátiles, que son los responsables del mal olor y de aromas a rancio. Por otro lado, las proteínas requieren de dosis entre 40 y 50 kGy para verse afectadas, debido a que sus aminoácidos son muy resistentes. Por último, las enzimas son nada vulnerables a la radiación, se requieren dosis de 60 kGy para inhibirlas, por lo que al esterilizar un alimento por irradiación no necesariamente se garantiza la descomposición enzimática (Pradell, 2005, pp. 119-120).

Al momento de irradiar alimentos, las pérdidas vitamínicas pueden ser las mismas e inclusive menores que en otras técnicas de conservación (Fellows, 2000, pp. 244-245). Las vitaminas hidrosolubles más sensibles a la radiación son la B1, la C y la B6, mientras que dentro del grupo de vitaminas liposolubles, las más radiosensibles son la A y la E. Con respecto al contenido de minerales, sin

importar la dosis que se aplique, no existe pérdida alguna (EFSA, 2011, pp. 20-21).

1.2.4.3 Efecto sobre la calidad visual, organoléptica y fisiología poscosecha

Cuando la dosis de radiación es la adecuada, los cambios de sabor, olor, color y textura que pueden sufrir los alimentos son insignificantes o mínimos, mientras que cuando los alimentos se irradian a elevadas dosis, una gran parte de ellos sufren alteraciones en sus propiedades organolépticas y visuales (Brennan y Grandison, 2012, pp. 158 - 159).

El típico olor y/o sabor a radiación aparece como resultado de la acción de los radicales libres en los lípidos y las proteínas; sin embargo, estas alteraciones desaparecen con el almacenamiento. El color de los alimentos se puede tornar más intenso o más oscuro a medida que la dosis de radiación aumenta. Los frutos y vegetales frescos pueden sufrir un ablandamiento significativo (Rossi, Watson, Escandarani, Miranda y Troncoso, 2009, p. 320).

Para que el efecto de la radiación sea menor, se recomienda que los alimentos se encuentren envasados en atmósferas modificadas o al vacío (Fellows, 2000, p. 236), congelados o en presencia de antioxidantes antes de ser irradiados (Rossi et al., 2009, p. 320).

En alimentos, como frutos y verduras frescas, la radiación puede retardar o acelerar la maduración de los productos. Estudios realizados en frutos tropicales y subtropicales han concluido que se necesitan de dosis <0.5 kGy para inhibir la maduración; mientras que para frutos de climas templados, se requieren de dosis >1 kGy. Por otro lado, la radiación aumenta la tasa de respiración en frutos climatéricos como no climatéricos, e incrementa (<4 kGy) o inhibe (≥ 4 kGy) la síntesis de etileno en los mismos. A dosis altas se ha logrado reducir la sensibilidad al etileno en la mayoría de los frutos (Kader, 2003, p. 1006; Brennan y Grandison, 2012, p. 171).

1.2.5 LA IRRADIACIÓN Y OTROS MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

Con el paso del tiempo se ha buscado potenciar los efectos de la radiación en los alimentos, es por esta razón que se ha estudiado este método en conjunto con otros tratamientos de conservación, de manera que se pueda ofrecer al consumidor un producto inocuo con una calidad global que perdure por más tiempo.

En la Tabla 1.7, se resumen algunos ejemplos sobre la aplicación de la radiación en conjunto con otras técnicas de preservación de alimentos.

Tabla 1.7. Combinación de la irradiación con otros tratamientos convencionales de conservación alimentos

Fruta	Tratamientos aplicados	Almacenamiento	Resultados
Mango (<i>Mangifera indica L.</i>) variedad “Zebda”	Irradiación a dosis de 0,5, 0,75, 1,0 y 1,5 kGy. Inmersión en agua caliente a 55 °C durante 5 min.	12 ± 1 °C 80 – 85 % HR 50 días	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incremento en el contenido de compuestos fenólicos y carotenoides. ✓ Reducción de la acidez. ✓ Reducción del conteo total de bacterias. ✓ La calidad organoléptica de las muestras irradiadas a 1.0 y 1,5 kGy fue aceptable hasta los 50 días a 12 °C.
Mandarinas “Clementine”	Irradiación a dosis de 0,50 y 0,85 kGy. Inmersión en solución de bicarbonato de sodio al 3 % a 20 °C durante 150 s.	14 días 20 °C 60 días 5 °C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No hubo diferencia significativa en el color, contenido de sólidos solubles totales (SST), índice de madurez ni en la acidez titulable. ✓ La irradiación provocó una mínima pérdida de la firmeza en los frutos.
Manzanas “Ambri”, “Golden”, “Delicious” y “Royal Delicious”	Irradiación a dosis de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5 kGy. Almacenamiento bajo refrigeración.	15 ± 2 °C Refrigeración: 3 ± 1 °C	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los frutos irradiados a 0,2, 0,3 y 0,5 kGy preservaron la calidad global de todas las variedades de manzanas en las dos condiciones de almacenamiento. ✓ Existió una reducción significativa en el conteo total de mohos y levaduras.

Tabla 1.7. Combinación de la irradiación con otros tratamientos convencionales de conservación alimentos (**continuación...**)

Fruta	Tratamientos aplicados	Almacenamiento	Resultados
Arándanos azules (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	Irradiación en un rango de 1,0 y 3,0 kGy Empacado en bandejas de poliestireno y films poliméricos	5 ± 1 °C 70.4 % HR 14 días	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción en 1,5 log de 5 log de coliformes. ✓ No existió diferencias significativas en la pérdida de peso ni firmeza a dosis menores de 1,6 kGy. ✓ La vida útil de los frutos irradiados disminuyó en el rango de 0,5 y 1,0 kGy.

(Arvanitoyannis, 2010, pp. 489 - 492)

1.2.6 LEGISLACIÓN

En la actualidad son 40 tipos de alimentos que se irradian en 56 países del mundo, los cuales aprueban a la irradiación como una técnica de conservación de alimentos segura para la salud del consumidor (Arvanitoyannis, 2010, p. 3); sin embargo, los niveles de aprobación que cada país establece pueden ser diferentes (Narvaiz, 2009, p. 13). En el año 1997 la Organización Mundial de la Salud (OMS), confirmó que los alimentos irradiados hasta dosis de 10 kGy, no suponen ningún riesgo para la salud del consumidor, y que además, se garantiza la inocuidad así como la poca alteración del valor nutricional de alimentos tratados a dosis más altas (>10 kGy), por lo que pueden ser consumidos de una forma segura (Pradell, 2005, p. 128).

Es importante indicar que la irradiación de alimentos se rige según la legislación propia de cada país. En los Estados Unidos el organismo que regula el uso de esta tecnología es la Food and Drug Administration (FDA). En este país la irradiación es considerada como un aditivo para alimentos, más no como un tratamiento de conservación. Cada alimento que quiere ser irradiado debe ser aprobado por separado y fijarle una dosis máxima de aplicación, mientras que si esta técnica es empleada para control cuarentenario se le fija una dosis mínima. (Arvanitoyannis, 2010, p. 3; Suárez, 2001, p. 98).

En Europa la irradiación de alimentos es un tema controversial que no cuenta con una buena aceptación por parte de algunos países miembros de la Unión Europea (EU por sus siglas en inglés). El Comité Científico de la EU, es el organismo que regula la aplicación de esta técnica en los alimentos y con los años ha logrado ampliar la lista de productos irradiados a más de hierbas y especias (EFSA, 2011, p. 15).

Las regulaciones de todos los países obligan a que los alimentos irradiados se encuentren debidamente identificados como tales. Las leyendas que se utilizan son “Tratado con radiación” o “Tratado por irradiación” en el caso de los Estados Unidos, e “Irradiado” o “Tratado con radiación ionizante” para los países miembros de la EU. Por último, si un alimento tiene como ingrediente alguna especie irradiada, aunque sea en pequeñas proporciones, debe llevar la etiqueta de alimento irradiado (Narvaiz, 2009, p. 13; EFSA, 2011, p. 15).

A nivel internacional se conoce a la “Radura” como el símbolo que identifica a un alimento que ha sido sometido a radiaciones ionizantes, por lo tanto debe constar impreso en cada empaque de producto irradiado. En la Figura 1.6, se observa el logotipo “Radura” (Narvaiz, 2009, p. 13).



Figura 1.6. Logotipo internacional para un alimento irradiado
(Arvanitoyannis, 2010, p. 676)

En el Ecuador, la Norma INEN 1334-1 (2011), señala que los alimentos irradiados o los que contengan ingredientes irradiados, deben rotularse con una leyenda que describa el tratamiento aplicado; con respecto al símbolo internacional, éste es de uso facultativo. Tanto la leyenda como el símbolo si se lo usara, deben colocarse cerca del nombre del producto (p. 12).

1.2.7 COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS IRRADIADOS

Actualmente a nivel mundial se comercializan cerca de 700 000 toneladas por año de productos alimenticios irradiados, siendo las especias y productos deshidratados los alimentos que más se someten a este tratamiento (Narvaiz, 2009, p. 15).

La irradiación a escala comercial se efectúa en 32 países del mundo y es llevada a cabo en alrededor de 200 plantas de irradiación, las cuales se encuentran distribuidas en todos los continentes, la mayoría de ellas son fuentes de Co - 60; mientras que las restantes utilizan aceleradores de electrones (ICFGI, 1999, p. 34).

En la actualidad, aunque el comercio de productos irradiados es considerado bajo, la experimentación con radiación y sus efectos en los alimentos se encuentra en pleno auge y desarrollo, ya que se busca brindar una mayor información sobre todo científica, para así aumentar de manera significativa la aceptación de estos productos en el mercado (Narvaiz, 2009, p. 15).

1.3 PRODUCTOS DE IV GAMA

1.3.1 LAS GAMAS DE ALIMENTOS

Las gamas de alimentos son las diferentes maneras en las que se presentan los alimentos en el mercado. Estos productos se denominan también alimentos de

conveniencia debido a que reducen su tiempo de preparación y/o cocción, ya que brindan a los consumidores un ahorro de tiempo significativo (IFICF, 2010, p. 5).

Según el tipo de procesamiento que sufren los alimentos y la técnica de conservación que se les aplica, son clasificados en las siguientes gamas (Achón, Alonso, Varela y García, 2006, pp. 10-11):

- ✓ **I Gama:** Son alimentos frescos como frutos y vegetales que han sido sometidos a métodos tradicionales como el secado, la salazón y la fermentación para su conservación.
- ✓ **II Gama:** Se los conoce también como conservas o semiconservas y son aquellos alimentos que se someten a una esterilización como tratamiento térmico para su conservación. El envasado se realiza en recipientes herméticos de vidrio o latas y su duración se extiende hasta varios años.
- ✓ **III Gama:** Son los alimentos que se conservan en frío, es decir refrigerados o congelados ($< -18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Los productos pueden ser frescos o preparados y su duración puede ser de varios meses. La cadena de frío es indispensable para este tipo de productos.
- ✓ **IV Gama:** Son productos frescos a los cuales se les modifica su forma física. Estos alimentos pueden presentarse sin cáscara, en cubos, en rebanadas o troceados; su vida útil es únicamente de varios días y requieren de una cadena de frío desde su procesamiento hasta su comercialización.
- ✓ **V Gama:** Son alimentos envasados que se encuentran cocidos o precocidos. Únicamente requieren de un calentamiento previo antes de ser consumidos y si necesitan manipulación, ésta es mínima. Su vida útil es de varios meses.

A continuación en la Figura 1.7, se ejemplifican las gamas de productos existentes en el mercado.



Figura 1.7. Gama de alimentos de la I a la V (izq. a der.)

1.3.2 DEFINICIÓN DE LOS ALIMENTOS DE IV GAMA

La Asociación Internacional de Productos Frescos Cortados (IFPA por sus siglas en inglés) establece que un alimento mínimamente procesado es cualquier producto hortofrutícola fresco o una combinación entre ellos, que ha sido alterado físicamente de su forma original, pero que mantiene su frescura (IFPA, 2002, p.1). Estos alimentos son sometidos a un procesamiento mínimo, entre los tratamientos que se aplican están el lavado, el pelado, el cortado, el empacado y por último el almacenado a temperaturas de refrigeración (Robles-Sánchez, Gorinstein, Martín-Belloso, Astiazarán-García, González-Aguilar y Cruz-Valenzuela, 2007, pp. 227-228).

Al elaborar productos mínimamente procesados se busca que las propiedades físicas, químicas, sensoriales y nutricionales del alimento sean las mismas que las del alimento sin procesar (IFICF, 2010, p. 5).

Los alimentos de IV gama son de consumo inmediato y su periodo de vida útil oscila entre los 7 y 10 días, según el producto (Achón, Alonso, Varela y García, 2006, p. 10); estos alimentos deben mantenerse bajo una cadena de frío, desde el momento de su procesamiento hasta su distribución y consumo.

El rango de temperatura recomendado para la elaboración y conservación de estos productos es de 2 a 5 °C (Robles-Sánchez et al, 2007, p. 228).

1.3.2.1 Ventajas

El proceso de elaboración de productos de IV gama combina una tecnología de punta con un estricto control de calidad para ofrecer al consumidor alimentos frescos pero sobretodo inocuos. Las ventajas que estos alimentos presentan se mencionan a continuación (Linde, 2010, pp. 13-14; Parzanese, 2010, p. 32):

- ✓ Son alimentos prácticos que se encuentran listos para el consumo.
- ✓ Poseen una alta calidad organoléptica y nutritiva.
- ✓ Reducen el tiempo dedicado a la preparación de alimentos.
- ✓ Se aprovecha la sobreproducción de alimentos estacionales.
- ✓ Los residuos y desechos que se producen por la elaboración de alimentos de IV gama pueden ser aprovechados y utilizados como materia orgánica.
- ✓ Son alimentos saludables que contribuyen a un mejor desempeño del organismo.
- ✓ Las pérdidas en la comercialización de alimentos frescos enteros disminuyen.
- ✓ Los alimentos frescos cortados reducen el espacio de almacenamiento, por lo que se tiene una mayor área disponible en refrigeradores y frigoríficos.
- ✓ La producción de alimentos de IV gama constituye un producto novedoso, por lo que el productor puede diversificar el mercado y aumentar sus ventas.
- ✓ Existe una amplia variedad de productos, entre los que se destacan frutos tropicales y subtropicales, hortalizas y ensaladas empacadas tanto de vegetales como de frutos.

1.3.3 OPERACIONES UNITARIAS DE LOS ALIMENTOS DE IV GAMA

Las principales operaciones unitarias que se llevan a cabo en el proceso de elaboración de alimentos de IV Gama se describen en la Figura 1.8.

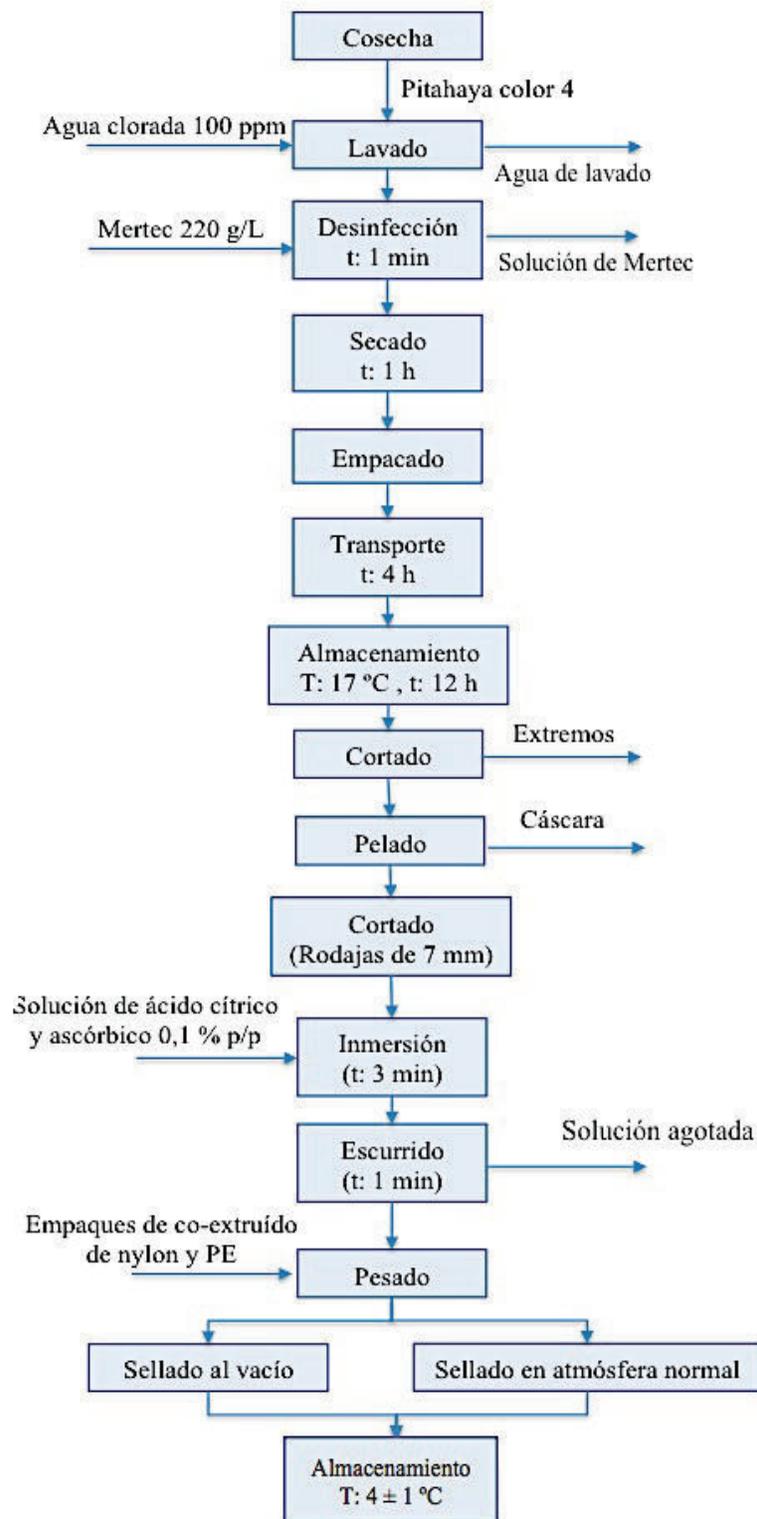


Figura 1.8. Esquema de la elaboración de pitahaya cortada y empacada

1.3.3.1 Recepción de la materia prima

Se debe realizar una inspección visual con la finalidad de determinar la calidad de los alimentos que se reciben. El producto que llega a la planta debe ser pre-enfriado o pre-refrigerado inmediatamente para eliminar el calor de campo y retardar sus procesos metabólicos. Cuando la materia prima no es procesada el mismo día y debe almacenarse por periodos largos de tiempo (mayores a un día), es necesario refrigerarla. Según el producto, se recomiendan los siguientes rangos: de -1 a 6 °C, de 6 a 13 °C o de 13 a 18 °C (Parzanese, 2010, p. 37).

El rango para la pitahaya amarilla es de 10 a 12 °C (Sierra, 2004, p. 40).

1.3.3.2 Selección y clasificación

La selección se efectúa con base en parámetros como: el tamaño, el color y la forma; los alimentos con daño físico que no califican, son separados y tienen otra disposición final. La manera más rápida de seleccionar y clasificar a los alimentos es de forma mecánica con ayuda de varios tipos de seleccionadores, si se escoge de forma manual, únicamente lo debe realizar el personal entrenado y calificado para ello (Parzanese, 2010, p. 37).

1.3.3.3 Lavado y desinfección del producto entero

La etapa de lavado comprende la eliminación de impurezas, restos de materia orgánica o residuos de agentes químicos mediante el uso de agua, la cual de preferencia debe ser clorada para reducir la carga microbiana inicial. Se sugiere que la temperatura del agua sea alrededor de 4 °C para conservar fríos a los alimentos y que la cantidad utilizada sea entre 5 y 10 L/kg de producto (Parzanese, 2010, p. 37; Sierra, 2004, p. 40).

1.3.3.4 Pelado y cortado

Para el pelado, separación de extremos, despeciado, etc., se requieren utensilios o equipos con cuchillas completamente afiladas, debido a que si no lo están, se podría causar daño en los tejidos y favorecer el pardeamiento de los alimentos (Linde, 2010, p.45; Yahia, 2011, p. 387). El cortado o reducción de tamaño permite definir la forma final (tiras, rebanadas, cubos, rallado o esferas) que van adquirir las frutas y hortalizas para su comercialización.

La morfología de las fracciones cortadas es un factor a considerar de gran importancia, ya que a mayor área específica (relación entre el área de contacto del alimento con el aire y el volumen del alimento), mayor es la tasa de respiración del producto y por lo tanto su velocidad de deterioro aumenta. (Parzanese, 2010, pp. 37-38; Linde, 2010, p.45).

La etapa de cortado es una de las más críticas del proceso, debido a que se provocan daños físicos que alteran el metabolismo del alimento y aceleran su deterioro, para contrarrestar este efecto se debe trabajar en un ambiente con una temperatura ≤ 4 °C (Parzanese, 2010, pp. 37-38).

1.3.3.5 Inmersión del producto fresco cortado

El objetivo de esta etapa es eliminar impurezas, microorganismos y fluidos intercelulares que resultan del corte, para evitar la proliferación microbiana y las alteraciones fisiológicas, de manera que se garantice la calidad y estabilidad del producto final (Artés-Hernández, Aguayo, Gómez y Artés, 2009, p. 53). Uno de los tratamientos químicos más usados es la inmersión en compuestos GRAS (generally recognized as safe) como ácidos (cítrico, ascórbico, etc.) por períodos muy cortos de tiempo. (Linde, 2010, p. 46).

En la Tabla 1.8, se indican los tratamientos de conservación que se aplican en esta etapa y los distintos compuestos que se usan con su respectivo efecto.

Tabla 1.8. Tratamientos de preservación utilizados en productos mínimamente procesados

Tratamientos		Compuesto utilizado y su efecto	
Químicos	Agentes reductores	Ácido ascórbico Ácido eritórbico Cisteína	Contrarrestan el pardeamiento enzimático debido a que inhiben la acción de la enzima polifenoloxidasasa
	Acidulantes	Ácido cítrico Ácido málico Ácido fosfórico	
	Texturizantes	Lactato de sodio Cloruro de calcio 1-Metilciclopropeno (1-MCP)	Contrarrestan la pérdida de firmeza y jugosidad
	Desinfectantes	hipoclorito de sodio compuestos de amonio cuaternario (QUATS) ácido cítrico ácido láctico bicarbonato de sodio ozono	Evitan el crecimiento microbiano.
	Agentes bactericidas	Aceites esenciales Etanol	Evitan la crecimiento de microorganismos
Físicos	Escaldado	Disminuyen la carga microbiana e inactivan enzimas causantes del pardeamiento.	
	Irradiación		

(Belloso y Soliva, 2011, pp. 235 - 246)

Entre las condiciones para la inmersión del producto se requiere que el agua este por debajo de los 4 °C y que tenga una buena calidad microbiológica y sensorial, además, se recomienda que las soluciones sean utilizadas en una proporción de 3 L/kg de producto (Sierra, 2004, p. 41).

Para escoger un sistema de inmersión apropiado para el producto fresco cortado, se deben considerar los siguientes factores (Parzanese, 2010, p. 38):

- ✓ Características físico-químicos del agua de lavado.
- ✓ Tipo de alimento a procesar.
- ✓ Tipo de aplicación de los agentes desinfectantes (inmersión, spray, etc.).
- ✓ Tiempo de contacto.
- ✓ Carga microbiana inicial.
- ✓ Número de etapas de lavado.

- ✓ Correlación entre el peso y el área del producto.

Para que el lavado y desinfección de los alimentos de IV gama sea efectivo, se debe controlar que el agente desinfectante no se agote en el agua de lavado, o que por lo menos el agua contenga la concentración mínima de desinfectante para garantizar su acción bactericida y evitar cualquier tipo de contaminación cruzada (Belloso y Soliva, 2011, p. 223).

1.3.3.6 Ecurrido

En esta etapa se elimina el excedente de agua que dejó la inmersión de los alimentos frescos cortados, para posteriormente envasar un producto seco y libre de agentes desinfectantes (Sierra, 2004, p. 41). Según la textura del alimento y el volumen de producción, el escurrido y secado se los puede efectuar en grandes coladores, en centrifugas o con aire seco (Parzanese, 2010, p. 38).

1.3.3.7 Empacado y almacenamiento

Existen algunos factores importantes que deben considerarse en esta etapa. El primero corresponde al pesado de los productos frescos cortados, el cual se efectúa con base en un peso ya determinado. Una vez que se fija la cantidad de producto y su disposición final en el empaque, se debe escoger el tipo de atmósfera que se creará en el interior del envase para conservar al producto. Por último se selecciona el tipo de empaque de acuerdo a su permeabilidad para que se ajuste a la atmósfera previamente establecida y a los requerimientos del alimento (Sierra, 2004, p. 41; Ibarzabal, 2006, p. 47).

El uso de atmósferas protectoras en el empacado de alimentos de IV gama, constituye la manera más apropiada para envasar este tipo de alimentos, debido a que su calidad sensorial se conserva y su vida útil se llega a duplicar y hasta triplicar (García, Gago y Fernández, 2002, p. 6).

El objetivo de este envasado es que el medio gaseoso envuelva al producto y lo conserve, y que a su vez el empaque actúe como barrera y aisle al alimento del ambiente externo. Según como se altere la composición gaseosa alrededor del alimento, las atmósferas protectoras pueden ser de tres tipos (García, Gago y Fernández, 2002, pp. 6-7):

Al vacío: Es un procedimiento simple y económico, en el cual el aire contenido en el interior del empaque es extraído totalmente, cuando se lo realiza de una forma eficiente la concentración de oxígeno residual es menor al 1 %. El empaque se pega al alimento en forma de pliegues como consecuencia de la disminución de la presión interna con respecto a la atmosférica. El material adecuado para el envasado debe ser de baja permeabilidad a los gases.

Esta técnica ha sido utilizado comúnmente para cárnicos, quesos maduros y granos de café, sin embargo, en los últimos años muchos productos hortofrutícolas son empacados de esta manera (García, Gago y Fernández, 2002, p. 12).

Atmósfera modificada: Se dice que un alimento se encuentra almacenado bajo condiciones de atmósfera modificada, cuando se inyecta un gas o una serie de gases, cuyas concentraciones no son controladas durante el almacenamiento (Parzanese, 2010, p. 39). Para garantizar que la mezcla gaseosa inicial se mantenga, se debe escoger un empaque de permeabilidad selectiva, es decir que permita el intercambio de gases entre la zona de cabeza del empaque y la atmósfera externa, para que se establezca un equilibrio entre los gases absorbidos y producidos por el alimento, así como los que ingresan y salen a través del film (García, Gago y Fernández, 2002, pp. 16-17).

Algunas veces no se necesita inyectar ningún tipo de gas, únicamente con la adecuada selección de un film permeable se puede lograr una atmósfera modificada que sea pobre en oxígeno y rica en dióxido de carbono (Ibarzabal, 2006, p.47).

Atmósfera controlada: Este tipo de almacenamiento es aplicado a nivel comercial para el transporte de grandes volúmenes de producción de frutos tropicales y subtropicales como aguacates, guineos, kiwis, mangos y frutos secos (Siddiq, 2012, p.11). Para crear una atmósfera controlada se debe primero evacuar el aire interno del contenedor para luego inyectar un gas o una mezcla de gases conocida según el tipo y requerimientos del alimento (García, Gago y Fernández, 2002, p. 15).

Los gases más utilizados para este tipo de atmósferas son el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno (García, Gago y Fernández, 2002, p. 23). Por otro lado, los empaques más empleados para el envasado de estos alimentos son las bolsas de Flow-Pack de polipropileno y las bandejas de poliestireno impermeables con films de alta permeabilidad. El sellado adecuado es fundamental para garantizar que no existan fugas y que la atmósfera se mantenga en las concentraciones deseadas dentro del empaque (Ibarzabal, 2006, p. 47).

1.3.3.8 Almacenamiento y distribución

Los establecimientos en donde se almacenan y los depósitos en los cuales se transportan los alimentos frescos cortados deben contar con el ambiente óptimo de higiene; además, en las etapas de almacenamiento, transporte, distribución y comercialización se debe garantizar un sistema de refrigeración en un rango de 1 a 4 °C, para que se mantenga la cadena de frío en los alimentos, caso contrario el producto se deteriorará mucho mas rápido y su vida útil disminuirá (Ibarzabal, 2006, p. 47; Linde, 2010, p. 54).

1.3.4 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS DE IV GAMA

Los parámetros de calidad más importantes que se evalúan en alimentos de IV gama son:

1.3.4.1 Color

El color de un alimento y su uniformidad a través de todo el producto, son parámetros fundamentales que se evalúan como parte de la calidad visual de un alimento de IV gama (Brennan y Grandison, 2012, p. 4). La decoloración y amarillamiento de vegetales se produce por la degradación de la clorofila, ya que se ve afectada fácilmente por factores como la luz, el calor y medios ácidos (Viña y Chávez, 2005, p. 38).

Por otro lado, en los frutos las alteraciones de color se manifiestan con el oscurecimiento de los tejidos por efecto de reacciones enzimáticas o como manchas blancas-translúcidas en la sección del corte a causa del pelado por abrasión (García y Barret, 2002, p. 18).

La manera más práctica de valorar el color en los alimentos es con ayuda de un colorímetro de superficie; sin embargo, no todos los alimentos se ajustan a los requerimientos de este equipo, por lo que, se puede utilizar un atlas de color o personal calificado para este tipo de evaluaciones (Viña y Chávez, 2005, p. 38).

1.3.4.2 Textura

La textura de un producto de IV gama, depende del tipo de alimento, de la variedad y del estado de madurez en el que fue cosechado. Esta propiedad puede cambiar a medida que se procesa el alimento, por lo que desde el inicio la textura debe ser sólida y firme para soportar todo el estrés y daño mecánico que provoca la elaboración de este tipo de alimentos (Brennan y Grandison, 2012, pp. 4-5).

Los cambios en la textura de un producto hortofrutícola fresco cortado se evidencian con la pérdida de firmeza, turgencia y ablandamiento, estas alteraciones son producto de la degradación de polisacáridos que forman la pared celular, principalmente pectinas, por efecto de la maduración del alimento así como por daños físicos (Viña y Chávez, 2005, p. 38).

En el estudio realizado por Tinitana (2014), se determinó que la firmeza de las rodajas de pitahaya amarilla se encuentra en el rango de 1.1 y 1.5 N (p. 75).

1.3.4.3 Aroma

El aroma, refiriéndose al sabor y olor de un alimento, es una propiedad subjetiva muy difícil de cuantificar, ya que es influenciada por un amplio rango de factores, tanto genéticos como precosecha y poscosecha, siendo el más importante el grado de madurez en el que se cosecha el producto, debido a que éste no debe estar sobre maduro pero si debe haber desarrollado por completo su madurez organoléptica, para que se garantice así el aroma adecuado y apetecido por el consumidor en el producto final (Brennan y Grandison, 2012, p. 5).

Al momento de evaluar el aroma de un alimento, se valoran también los atributos de dulzor, astringencia, acidez, sabores extraños (etanol, acetaldehído o agentes químicos por efecto de la inmersión) y olores anormales (compuestos sulfurosos) (Siddiq, 2012, p. 10). Por efectos del corte se pueden producir pérdidas de compuestos volátiles así como del sabor dulce de los alimentos, este último efecto es debido al rápido agotamiento que sufren los carbohidratos y ácidos orgánicos como resultado del incremento de la tasa de respiración que sufren los productos frescos cortados (Yahia, 2011, p. 393).

Para frutos tropicales, como la pitahaya amarilla, la pérdida del aroma puede ser una consecuencia del daño por frío (Yahia, 2011, p. 393).

1.3.4.4 Calidad nutricional

Los alimentos de IV gama juegan un rol muy importante en la nutrición humana, debido a que son fuentes de vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos antioxidantes (Lamikanra, 2002, p. 23). Como resultado del corte y de las bajas temperaturas la capacidad antioxidante de este tipo de productos disminuye. Por

otro lado, la vitamina C es la sustancia más susceptible al procesamiento y aunque se registran pérdidas, éstas no son significativas (Siddiq, 2012, p. 10)

Los diversos estudios han demostrado que las concentraciones de compuestos fitoquímicos así como el valor nutricional que brindan los alimentos mínimamente procesados, ya sean frutos o vegetales o una mezcla de los dos, son similares a las concentraciones de los productos enteros de los cuales se derivan (Belloso y Soliva, 2011, pp. 175-176).

1.3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DE LOS ALIMENTOS DE IV GAMA

1.3.5.1 Tasa de respiración y producción de etileno

Los alimentos de IV gama por lo general tienen una mayor tasa de respiración y producción de etileno que sus productos enteros, estos valores se incrementan al cabo de pocos minutos después del procesamiento (Yahia, 2011, p. 388). Con el incremento de la tasa respiración se estimula el metabolismo y se produce un deterioro mucho más rápido de los alimentos, además, existen pérdidas de ácidos, azúcares y otros componentes que afectan su calidad nutricional y organoléptica. A mayor procesamiento del alimento, mayor es el incremento de la tasa de respiración y de su deterioro (Cantwell and Suslow, 2002, pp. 1-2).

Se ha comprobado que la producción de etileno varía según el tipo de alimento, la morfología de las piezas cortadas y el grado de madurez. La tasa de producción de etileno es mayor en piezas de frutos maduros (3/4 o 4/4) que en aquellas de frutos menos maduros (1/4 o 1/2). Las dimensiones de las piezas cortadas también influyen en una mayor o menor producción de etileno, es así que segmentos muy pequeños ($\approx 0,2$ mm) por lo general producen una mayor cantidad de etileno que pedazos grandes ($\approx 1 \times 2$ cm). La temperatura y el uso de atmósferas modificadas son los principales factores de control de las tasas metabólicas (Cantwell and Suslow, pp. 1-2; Lamikanra, 2002, p. 106).

1.3.5.2 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático es uno de los factores más limitantes en la vida útil de un producto fresco cortado (Yahia, 2011, p. 425). Esto se debe a que durante el procesamiento, en las etapas de pelado y cortado, las células se rompen y enzimas como la polifenoloxidasas (PPO), peroxidasa (POD) y fenilalanina amonio liasa (PAL) entran en contacto con sustratos propios del alimento y facilitan la oxidación de compuestos fenólicos, provocando así el oscurecimiento y decoloración de los tejidos. Diferentes tipos de compuestos fenólicos participan en estas reacciones, lo que explica el amplio rango de colores e intensidades que se forman (García y Barret, 2002, p. 4; Siddiq, 2012, p. 29). La susceptibilidad al pardeamiento de un alimento varía incluso entre cultivares del mismo fruto y depende tanto de la actividad de la PPO como de los compuestos fenólicos que participan en la reacción enzimática (Siddiq, 2012, p. 30).

García y Barret (2002) señalan que los hongos, manzanas, peras y piñas son los alimentos frescos cortados más susceptibles al pardeamiento enzimático. Además, mencionan como efectos secundarios la aparición de sabores extraños y la pérdida de nutrientes (p. 4). Para contrarrestar el pardeamiento se recomienda reducir el pH, adicionar agentes preservantes, el uso de atmósferas protectoras y escaldar a los alimentos para inactivar sus enzimas (Morris, 2011, p. 261).

1.3.5.3 Pérdida de agua

La pérdida de agua en frutos y vegetales mínimamente procesados ocurre por diversos factores, entre los más predominantes están: el aumento del área superficial de los productos que los hace más vulnerables a factores ambientales y la pérdida de los tejidos protectores de la peridermis, por efecto del procesamiento (Lamikanra, 2002, p. 108). Cuando un alimento de IV gama pierde agua, aparecen los síntomas de flacidez indeseada en los tejidos y poca turgencia de las piezas cortadas, afectando a su calidad visual. La apariencia negativa que exhiben los productos que han sufrido una significativa pérdida de agua, puede

ser minimizada con la utilización de instrumentos filas, que disminuyan al máximo el daño celular ocasionado por el pelado y cortado (Yahia, 2011, p. 392).

1.3.5.4 Ataque de microorganismos

Los productos de IV gama al ser alimentos con pH en su mayoría neutro y con un alto contenido de agua, en especial los frutos, corren un alto riesgo de ser atacados por microorganismos (Viña y Chavéz, 2005, p. 38). Otro de los factores que influye en la proliferación microbiana, es el abuso de temperaturas de refrigeración por largos periodos de tiempo, lo que provoca que se cree un ambiente óptimo para el desarrollo de bacterias psicotrofas y mesófilas, que al ser agentes patógenos, no desarrollan ningún síntoma de deterioro en los alimentos hasta después de su consumo (Hui, 2006, p. 120).

Se ha estudiado la presencia de patógenos como *Clostridium botulinum*, *Salmonella typhirium*, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, y *L. Monocytogenes*, responsables de varias enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y se ha encontrado que algunos son parte de la microflora de los productos frescos cortados; sin embargo, la evidencia existente es muy poca, por lo que se busca incrementar las investigaciones sobre las ETA y su relación con los productos de esta gama (Lamikanra, 2002, p. 230).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA ENTERA EN DOS GRADOS DE COLOR

2.1.1 MATERIA PRIMA

La materia prima que se utilizó para el desarrollo de este proyecto fue pitahaya amarilla, perteneciente a la especie *Selenicereus megalanthus* y al ecotipo que se cultiva en el callejón Interandino de la Sierra Ecuatoriana. Los frutos de pitahaya fueron cosechados entre los meses de Agosto del 2014 y Enero del 2015 en la empresa Agrícola “PITACAVA” ubicada en el cantón Pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha.

La cosecha y selección de los frutos se llevó a cabo en las primeras horas del día, los frutos que se cosecharon fueron en grado de color 4 (fruto amarillo con mamilas verdes) y 5 (fruto amarillo con mamilas ligeramente verdosas) (NTC 3554, 1996), el color de los frutos fue determinado con base en la escala de color fijada por la norma técnica colombiana NTC 3554 que se presenta en el Anexo I. Las pitahayas fueron transportadas al área de poscosecha de la finca para su limpieza y desinfección. Para la limpieza, se utilizaron tinas plásticas de 100 L en donde los frutos fueron sumergidos en agua clorada con una concentración de 100 ppm y con ayuda de un cepillo se eliminaron las impurezas y espinos restantes. Para la desinfección, se colocaron los frutos en gavetas y se sumergieron por un minuto en una solución de Mertec 20 S (Tiabendazol 220 g/L), posteriormente las gavetas fueron trasladadas a mesas de secado en donde permanecieron por una hora aproximadamente.

Por último, los frutos secos fueron empacados en gavetas con láminas de espuma de polietileno como base para ser transportados por alrededor de 4 h hasta la Planta Piloto del Departamento de Ciencia en Alimentos y Biotecnología (DECAB)

de la Escuela Politécnica Nacional en Quito. Las pitahayas fueron almacenadas a temperatura ambiente (17 °C aproximadamente) hasta el día siguiente para su procesamiento. En el Anexo II se muestran las fotografías de las operaciones que fueron realizadas en el área de poscosecha de la empresa Agrícola “PITACAVA”.

El desarrollo de este estudio se llevó a cabo en dos partes. El primer experimento se efectuó con la finalidad de determinar la mejor dosis de radiación, es decir la dosis a la cual los frutos de pitahaya presentaron la mejor calidad global, para esta primera parte se cosecharon 50 kg de pitahaya en grado de color 5 (400 frutos aproximadamente). El segundo experimento se realizó con la finalidad de evaluar los efectos de la radiación gamma a la mejor dosis de trabajo en pitahayas a un grado de color menor (color 4) que el estudiado en el experimento anterior (color 5), para determinar así el grado de color que mejor conserve la calidad global de los frutos irradiados. Para la segunda parte se cosecharon 65 kg de pitahayas (300 frutos en grado de color 4 y 200 en grado de color 5). La caracterización de la materia prima se efectuó en frutos en grado de color 4 y 5.

La limpieza y desinfección de los frutos tanto para el primer experimento, como para el segundo y para la caracterización de la materia prima se efectuó como se describe en el acápite 2.1.1.

2.1.2 IRRADIACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Los frutos limpios y desinfectados fueron enumerados aleatoriamente con un marcador indeleble, una vez identificados fueron trasladados en canastillas plásticas al Laboratorio de Tecnología de Radiaciones del Departamento de Ciencias Nucleares (LTR-DCN) para ser irradiados en la fuente de Cobalto-60.

Las pitahayas fueron distribuidas en 10 canastillas plásticas de 45 cm de largo x 31 cm de ancho y x 10 cm de profundidad, las canastillas fueron ubicadas en forma de pentágono sobre el segundo anillo alrededor del castillo de lápices de la fuente, los frutos además, se colocaron al filo de las canastillas para estar más

cercanos a la misma. En la Figura 2.1, se muestra la disposición de las canastillas en el interior de la cámara.



Figura 2.1. Ubicación de las pitahayas en la cámara de irradiación

Para la primera parte, las pitahayas fueron irradiadas a dosis de 500, 750 y 1 000 Gy (90 frutos por dosis). Para la segunda parte se irradiaron 90 frutos en grado de color 4 y 90 frutos en grado de color 5 a la mejor dosis de radiación seleccionada del estudio anterior, en la segunda parte se tuvo frutos control que fueron 90 pitahayas en grado de color 4 y 90 en grado de color 5 sin irradiar.

Las pitahayas irradiadas y de control fueron colocadas en gavetas plásticas y almacenadas en una cámara de almacenamiento en el DECAB hasta 14 días a temperatura ambiente (20 °C) y 80 % de humedad relativa (HR).

La evaluación de la calidad de las pitahayas se realizó al inicio (día 0) y después de 7 y 14 días de almacenamiento a 20 °C y 80 % HR; estos tiempos fueron determinados como primer y segundo período de almacenamiento, respectivamente.

2.1.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental para la primera parte del estudio fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), la variable de diseño fue la dosis de radiación que se probó a tres niveles: 500, 750 y 1 000 Gy, mientras que el factor de bloqueo fue el tiempo de almacenamiento.

Para la segunda parte del estudio el diseño experimental fue un diseño factorial 2^2 , la primera variable de diseño fue el grado de color con dos niveles: color 4 y color 5 y la segunda variable de diseño fue la dosis de radiación con dos niveles: 500 y 0 Gy (frutos control).

Las variables de respuesta para los dos experimentos fueron: pérdida de peso (%), firmeza, color (segundo experimento únicamente), pH, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), acidez titulable y calidad sensorial global del fruto.

2.1.4 ANÁLISIS FÍSICOS

Para la caracterización de la materia prima se emplearon 50 frutos en grado de color 4 y 50 en grado de color 5, mientras que para la evaluación de la calidad de las pitahayas al inicio y al final de cada periodo de almacenamiento se utilizaron 30 frutos por dosis para la primera parte del estudio y 30 frutos irradiados y 30 frutos control por cada grado de color para la segunda parte.

2.1.4.1 Peso

El peso de los frutos de pitahaya se determinó con una balanza electrónica (BOECO, modelo BBA51, 4 100 g, 0,01). Para la pérdida de peso se midió el peso de los frutos al inicio y al final de cada periodo de almacenamiento. Los resultados se presentaron como porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial.

2.1.4.2 Longitud y diámetro

Únicamente para la caracterización de la materia prima se midió la longitud y el diámetro de los frutos. La longitud fue determinada con un calibrador (MC CORMICK FRUIT TECH, modelo M300, 6 pulg, 0,5), la medida fue tomada desde la base del pedúnculo del fruto hasta el extremo superior del eje axial. El diámetro fue determinado con un calibrador (CRANSTON MACHINERY, modelo SM325, 100 mm, 0,25) en la sección transversal más ancha de la pitahaya (zona ecuatorial).

2.1.4.3 Firmeza

La firmeza en los frutos se determinó con un penetrómetro manual (McCormick Fruit Pressure Tester, modelo FT011, 5 kgf, 0,5), equipado con una punta plana de 8 mm de diámetro. La medición se realizó en dos secciones opuestas luego de retirar la cáscara de la zona ecuatorial del fruto. Los resultados se expresaron en Newton (N).

2.1.4.4 Color

El color se determinó en los frutos del segundo experimento. Las pitahayas fueron comparados con una escala de amarillo al 99 % (Y99) fijada en la quinta parte del Atlas de Colores de Harald Küppers denominada “mezcla cromática”, (Küppers, 2002, p. 47). Los resultados se reportaron en coordenadas de porcentaje amarillo (Y), cian (C) y magenta (M). En el Anexo III se presenta la escala de color utilizada para la evaluación de este atributo en el fruto entero.

2.1.5 ANÁLISIS QUÍMICOS

La cantidad de frutos utilizada fue la misma descrita en el acápite 2.1.4. Para

estos análisis se tuvo que elaborar jugo de pitahaya. La preparación de este jugo consistió en agrupar aleatoriamente a los frutos en grupos de 5, cortarles los extremos, retirarles la cáscara, exprimir la pulpa y filtrar el jugo en una malla de tela cheescloth, para obtener así un jugo de cada grupo. Se prepararon nueve réplicas para la caracterización de la materia prima y cinco para el primer y segundo experimento, según el método AOAC 920.149 (AOAC, 2005).

2.1.5.1 Determinación de pH

El pH se midió con un pH-metro digital (HANNA instruments, modelo HI 3220, 14, 0,1) calibrado en un rango de pH de 4 a 7. Se tomó 50 mL de jugo preparado en un vaso de precipitación y se sumergió el electrodo en el jugo hasta que se obtuvo un valor de pH estable, según el método AOAC 981.12 (AOAC, 2005).

2.1.5.2 Determinación de sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales (SST) se midieron con un refractómetro (BOECO, modelo BOE 30103, 30 °Brix, 5), se colocaron 2 gotas del jugo preparado sobre el prisma y se tomó la lectura directamente, según el método AOAC 932.12 (AOAC, 2005). Los resultados se presentaron en °Brix.

2.1.5.3 Determinación de acidez titulable

Para la acidez titulable se tomó una muestra de 5 mL de jugo y se llevó a un volumen de 50 mL con agua destilada, se colocaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con una solución de hidróxido de sodio (0,1 N) hasta obtener un coloración rosa pálido por alrededor de 30 s. La acidez titulable se reportó como porcentaje de ácido cítrico con un factor de 0,064, según la AOAC 942.15 (AOAC, 2005). Para el cálculo de la acidez titulable se utilizó la relación [2.1]:

$$A = \frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}} * f_{\text{NaOH}} * f_a}{V_j} * 100 \quad [2.1]$$

Donde:

A: Acidez del producto en porcentaje en peso (% de ácido cítrico)

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

N_{NaOH} : Concentración del hidróxido de sodio (0,1 N)

f_{NaOH} : Factor de corrección del hidróxido de sodio (0,998)

f_a : Factor del ácido cítrico (0,064)

V_j : Volumen de jugo de la muestra (5 mL)

2.1.6 CALIDAD SENSORIAL GLOBAL DEL FRUTO

2.1.6.1 Evaluación de la calidad visual

La evaluación de la calidad visual de las pitahayas se llevó a cabo con la misma cantidad de frutos que se indica en el acápite 2.1.4.

Los atributos que se valoraron en cada pitahaya según su grado de color se presentan a continuación en las Tablas 2.1. y 2.2.

Tabla 2.1. Escala para la evaluación de atributos de la calidad visual de la pitahaya amarilla en grado de color 5

ESCALA	ATRIBUTOS		
	Turgencia	Marchitez del pedúnculo	Presencia de patógenos Presencia de manchas pardas Daño físico
1	Muy secos	Extremo	> 25 %
2	Secos	Severo	10 – 25 %
3	Medianamente secos	Moderado	5 – 10 %
4	Ligeramente secos	Discreto	< 5 %
5	Frescos	Ninguno	Ninguno

(Paredes, 2014, p. 30)

Tabla 2.2. Escala para la evaluación de atributos de la calidad visual de la pitahaya amarilla en grado de color 4

ESCALA	ATRIBUTOS			
	Turgencia	Marchitez del pedúnculo	Presencia de patógenos Presencia de manchas pardas	Aparición de manchas rojas Daño físico
1	Muy secos	Extremo	> 25 %	Severo/a
2	Secos	Severo	10 – 25 %	Medio/a
3	Medianamente secos	Moderado	5 – 10 %	Leve
4	Ligeramente secos	Discreto	< 5 %	Ninguno/a
5	Frescos	Ninguno	Ninguno	-

(Modificada: Paredes, 2014, p. 30)

La escala para la evaluación de la calidad visual de la pitahaya en grado de color 4 indicada en la Tabla 2.2, se modifica con respecto a la escala señalada en la Tabla 2.1, debido a los efectos de la radiación gamma en la apariencia del fruto. En el Anexo IV se presentan las escalas de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, manchas pardas, aparición de manchas rojas y daño físico, utilizadas para la evaluación de la calidad visual de los frutos en los dos grados de colores.

Para la evaluación de los atributos en los frutos se calculó el índice de calidad visual con la relación [2.2] (Rodov et al., 2000, p. 262):

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

Donde:

I: Índice de apariencia general

N: Número total de frutos evaluados

n_1 - n_5 : Número de frutos que presentaron igual características (igual puntuación) en la escala 1 a 5.

En la Tabla 2.3. se indica la escala de valoración del índice de calidad visual para las pitahayas. Esta tabla se utilizó para todos los atributos de los frutos en grado de color 4 y 5, a excepción de los parámetros de aparición de manchas rojas y

daño físico en aquellos frutos en grado de color 4. La escala de valoración para los dos atributos citados anteriormente se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.3. Escala de valoración del índice de calidad visual para frutos en grado de color 4 y 5

Calificación Total	Clasificación
Entre 4-5	I: Mantiene las características iniciales
Entre 3-4	II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo
<3	III: No comerciable

(Rodov *et al.*, 2000, p. 262)

Tabla 2.4. Escala de valoración del índice de calidad visual para frutos en grado de color 4

Calificación Total	Clasificación
Entre 3-4	I: Mantiene las características iniciales
Entre 2-3	II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo
<2	III: No comerciable

(Modificado: Rodov *et al.*, 2000, p. 262)

La escala de valoración del índice de calidad visual para frutos en grado de color 4 indicada en la Tabla 2.4, fue modificada con respecto a la escala presentada en la Tabla 2.3, para que se ajuste a los cambios que se realizaron en la escala que se muestra en la Tabla 2.2.

2.1.6.2 Análisis sensorial

En el análisis sensorial se evaluó el aroma (sabor y olor) del fruto, para esto se utilizó una escala del 1 al 4, en la cual, 1 recayó en aquellas pitahayas con una ausencia de aroma y 4 correspondió aquellos frutos con aroma intenso.

En el Anexo V se presenta la ficha para la evaluación del aroma en los frutos. El análisis sensorial se realizó en la misma cantidad de frutos descrita en el acápite 2.1.4. La escala de valoración del índice de aroma en frutos de pitahaya se presenta en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Escala de valoración del índice de aroma en pitahayas en grado de color 4 y 5

Calificación Total	Clasificación
Entre 4 y 3,5	I: Mantiene aroma característico
< 3,5	II: Presenta alteración en el aroma, no preferido por el consumidor

2.2 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA ENTERA ALMACENADA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA (HR)

2.2.1 MATERIA PRIMA

Para este experimento se utilizaron 50 kg de pitahaya en grado de color 4 (400 frutos aproximadamente). La limpieza y desinfección de los frutos se realizó de la misma manera como se describe en el acápite 2.1.1.

2.2.2 IRRADIACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Los frutos limpios y desinfectados fueron enumerados aleatoriamente y pesados como se indica en el acápite 2.1.4.1. Una vez codificadas las pitahayas fueron colocadas en canastillas plásticas y llevadas al LTR-DCN para ser irradiadas como se especifica en el acápite 2.1.2. El tiempo de irradiación fue el definido para la mejor dosis de trabajo seleccionada del estudio anterior.

Se irradiaron 160 frutos y una vez terminado el proceso de radiación, fueron trasladados en gavetas plásticas rotuladas según el tratamiento (irradiados/sin irradiar) a la planta piloto del DECAB. Las pitahayas fueron almacenadas en una cámara de refrigeración a 12 °C y 90 % HR, la humedad fue controlada con un deshumidificador. El almacenamiento de las pitahayas se realizó hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR, más 5 días a temperatura ambiente (20 °C y 80 % HR) para simular el tiempo de vida en estante. En el Anexo XV se muestran las pitahayas

enteras almacenadas bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas. La evaluación de la calidad del producto se realizó al inicio (0 días) y después de 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 12 °C más 5 o 3 días a temperatura ambiente (20 °C); estos tiempos fueron designados como primer, segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente.

2.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado en este estudio fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), la variable de diseño fue la dosis de radiación con dos niveles: 500 y 0 Gy, mientras que el factor de bloqueo fue el tiempo de almacenamiento. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso (%), firmeza, color, pH, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable y calidad sensorial global del fruto.

2.2.4 ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Para la evaluación de las propiedades físicas y químicas de los frutos al inicio y al final de cada periodo de almacenamiento se utilizaron 30 frutos por tratamiento. Los análisis físicos que se realizaron fueron pérdida de peso (%), firmeza y color, mientras que los químicos fueron determinación de pH, sólidos solubles totales (°Brix) y acidez titulable. Se efectuaron cinco réplicas de cada uno de los análisis químicos, tal como se describe en los métodos de los acápites 2.1.4 y 2.1.5.

2.2.5 CALIDAD SENSORIAL GLOBAL DEL FRUTO

2.2.5.1 Evaluación de la calidad visual

La cantidad de frutos que se utilizó fue de 30/tratamiento. El procedimiento que se siguió es el que se explica en el acápite 2.1.6.1. Los atributos y escala de

evaluación utilizados son los detallados en la Tabla 2.2. y por último la escala de valoración del índice de calidad visual se especifica en las Tablas 2.3 y 2.4.

2.2.5.2 Análisis sensorial

El análisis sensorial de los tratamientos se efectuó mediante una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas, con la participación de 12 panelistas semi-entrenados, las pruebas fueron realizadas en la mañana entre las 11 y 12 am en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la planta piloto del DECAB y con luz neutra (Hough, 2010, pp. 49).

Para la preparación de las muestras se utilizaron 5 pitahayas seleccionadas al azar de cada tratamiento, se retiraron los extremos, se desprendió la cáscara y se cortó el fruto en aproximadamente 6 rodajas, cada panelista recibió una fuente desechable etiquetada con 3 números al azar y con dos rodajas de pitahaya por tratamiento, además, se les entregó una ficha para valorar los atributos de calidad sensorial del alimento. Los parámetros evaluados fueron: aroma, apariencia, dulzor y presencia de sabores extraños. En el Anexo X se presenta la ficha de evaluación para el análisis sensorial de los frutos. Para el tratamiento de los datos se dividió en rangos la calificación de los atributos sensoriales, a estos rangos se les asignó una cualidad específica, como se indica en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Cualidades de los atributos sensoriales con respecto a la calificación obtenida

Aroma	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Aroma muy débil a fruta	Aroma débil a fruta	Aroma intenso a fruta	Aroma muy intenso a fruta
Apariencia	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Muy seca	Seca	Fresca	Muy fresca
Dulzor	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Poco dulce	Medianamente dulce	Dulce	Muy dulce
Sabores extraños	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Ausencia	Leve presencia	Presencia intensa	Presencia muy intensa

2.2.6 TASA DE RESPIRACIÓN

La tasa de respiración fue determinada con base en la producción de CO₂. En este estudio se utilizó un diseño completamente al azar de un solo factor, la variable de diseño fue el proceso de irradiación con dos niveles: frutos irradiados y frutos no irradiados, la variable de respuesta fue la tasa de respiración.

Para determinar la tasa de respiración de las pitahayas enteras se utilizó un sistema cerrado de respiración. Se necesitó alrededor de 2 kg de pitahayas, las cuales fueron lavadas y desinfectadas como se describe en el acápite 2.1.1. Los frutos fueron colocados en cámaras de respiración de 10 L (3 cámaras por tratamiento), en cada cámara se almacenó aproximadamente 0,5 kg de pitahayas (≈3 frutos) y se las cerró herméticamente. Para que no exista ninguna entrada ni salida de aire al interior o exterior de las jarras, se conectó la manguera de la salida de aire con la válvula de entrada de aire en cada una de las tapas de las cámaras. Las jarras con los frutos fueron almacenadas a 10 ± 1 °C Y 90 % HR. En el Anexo XVI se muestra el sistema de respiración del fruto entero.

Las muestras de aire a la salida de las cámaras fueron tomadas por duplicado y con jeringuillas de 1 mL a la primera y segunda hora desde que se cerraron las jarras, luego de la toma de muestras se abrieron las cámaras y permanecieron así hasta la próxima medición. Este procedimiento se realizó cada dos días en frutos irradiados y sin irradiar hasta completar el tiempo de almacenamiento. La concentración de CO₂ generado por los frutos fue determinada con un Analizador Rápido de CO₂/O₂ (Post-Harvest Research, modelo VIA-510, California, USA). La tasa de respiración de la pitahaya en mg CO₂/kg-h se calculó con la ecuación [2.3]:

$$TR = \frac{(\%CO_2 - \%CO_2^*) * V_a * \partial_a * 10}{m_f * t} \quad [2.3]$$

Donde:

TR: Tasa de respiración (mg de CO₂/kg-h)

%CO₂: Concentración de CO₂ en la muestra almacenada (% vol.)

%CO₂*: Concentración de CO₂ en el aire (% vol.)

V_a: Volumen de aire (mL)

ρ_a: Densidad del aire a 11 °C (mg/mL)

10: Factor de conversión de unidades

m_f: Masa del fruto almacenado en la cámara (g)

t: Tiempo que las cámaras permanecieron cerradas (h)

2.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA CORTADA, EMPACADA AL VACÍO E IRRADIADA ALMACENADA EN REFRIGERACIÓN

2.3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE PITAHAYA FRESH – CUT

La desinfección de las cámaras destinadas a la preparación y almacenamiento de los empaques como de los utensilios requeridos para la elaboración del producto se llevó a cabo 2 días antes con una solución clorada de 2 000 ppm. La temperatura de la cámara en la cual se procesó el producto fue de 4 ± 1 °C y durante la preparación de las rodajas de pitahaya los operadores usaron cofia, mandil, guantes, mascarilla, con la finalidad de garantizar la inocuidad del producto. Las pitahayas requeridas para la elaboración de este producto fueron cuidadosamente seleccionadas y tratadas de la misma manera como se describe en el acápite 2.1.1

La primera operación que se realizó fue la eliminación de los extremos, luego se realizó un corte longitudinal en la superficie de los frutos para que la cáscara pueda desprenderse fácilmente sin provocar daños en la pulpa. Con el fruto entero y pelado se procedió a cortar el fruto en rodajas de 7 mm aproximadamente con ayuda de un cortador manual. Se preparó una solución de ácido cítrico y ácido ascórbico (grado alimenticio) al 0,1 % p/p, la relación entre el volumen de solución y el peso de rebanadas de pitahaya fue de 3 L/kg. La

inmersión de las rodajas se realizó por 3 min y el escurrido por alrededor de 1 min. Una vez que se eliminó la mayor cantidad de agua, se pesaron alrededor de 150 gramos de rodajas en empaques de co-extruído de nylon y polietileno (PE) de 13 cm de ancho x 21 cm de largo, los empaques estuvieron previamente identificados según el tratamiento. Se elaboraron un total de 150 empaques, la mitad de ellos fueron sellados al vacío mientras que el resto fueron sellados en atmósfera normal. En los Anexo XI se muestran las fotografías del proceso de elaboración de pitahaya cortada.

2.3.2 IRRADIACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Se irradiaron un total de 80 empaques, 40 sellados al vacío y 40 sellados en atmósfera normal. Los empaques fueron colocados en 10 canastillas plásticas de 45 cm(l) x 31 cm(a) x 10 cm(p), las canastillas fueron ubicadas en forma de pentágono sobre el segundo anillo alrededor del castillo de lápices de la fuente, los empaques se colocaron al filo de las canastillas para estar más cercanos a la fuente de Co-60. Los empaques fueron irradiados a la mejor dosis de trabajo seleccionada del experimento con pitahaya entera.

El almacenamiento de los empaques se realizó en una de las cámaras de refrigeración del DECAB hasta 12 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR. La evaluación de la calidad de las rodajas de pitahaya se realizó al inicio (día 0) y después de 4, 8 y 12 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C y 90 % HR; estos tiempos fueron denominados como primer, segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente. En el Anexo XV se muestran los empaques de pitahaya cortada almacenados bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa.

2.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue un diseño factorial 2^2 , la primera variable de diseño fue la atmósfera del empaque con dos niveles: vacío y atmósfera normal y la segunda

variable fue la dosis de radiación de los empaques con dos niveles: 500 y 0 Gy. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso (%), firmeza, pH, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, calidad sensorial global del fruto y análisis microbiológico. En la Tabla 2.7. se explican los códigos que se designaron para cada tratamiento.

Tabla 2.7. Códigos de identificación para los tratamientos aplicados a la pitahaya cortada

Código	Tratamiento
A	Empaque irradiado a 500 Gy + vacío
B	Empaque irradiado a 500 Gy + atmósfera normal
C	Empaque irradiado a 0 Gy + vacío
D	Empaque irradiado a 0 Gy + atmósfera normal

2.3.4 ANÁLISIS FÍSICOS

2.3.4.1 Pérdida de peso

Los empaques fueron pesados al inicio y al final de cada período de almacenamiento, la pérdida de peso fue determinada como se describe en el acápite 2.1.4.1. Se utilizaron 10 empaques por tratamiento.

2.3.4.2 Firmeza

La firmeza en las rodajas se determinó con un penetrómetro digital para frutos (TR Fruit Firmness Tester, modelo TR53205SW, 20 kgf, 0,01), provisto de una punta plana de 8 mm de diámetro. La firmeza se midió en 5 empaques, de cada empaque se tomaron 3 rebanadas. Los resultados se expresaron en Newton (N).

2.3.5 ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis químicos que se efectuaron fueron: determinación de pH, sólidos solubles totales (° Brix) y acidez titulable. Los métodos utilizados se encuentran

descritos en el acápite 2.1.5. Se ocuparon 5 empaques por tratamiento.

2.3.6 CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

2.3.6.1 Evaluación de la calidad visual

Los atributos evaluados fueron: pardeamiento, marchitez de las rebanadas y presencia de hongos (%). Los parámetros fueron valorados en 5 empaques. La escala utilizada se describe en la Tabla 2.8. En el Anexo XII, se muestran las escalas visuales de los atributos evaluados.

Tabla 2.8. Escala de evaluación de la calidad visual para rebanadas de pitahaya amarilla

Puntuación	ATRIBUTOS		
	Pardeamiento	Marchitez de las rebanadas	Presencia de hongos (% afectada)
1	Extremo	Extremo	> 25 %
2	Severo	Severo	10 – 25 %
3	Moderado	Moderado	5 – 10 %
4	Discreto	Discreto	< 5 %
5	Ninguno	Ninguno	Ninguno

(Modificada: Tinitana, 2014, p. 42)

El pardeamiento se evaluó con base en la escala de negro al 0 % (N00) fijada en la tercera parte del Atlas de Colores de Küppers denominada “mezcla acromática con el negro – campo del verde” (Küppers, 2002, p. 47). La escala de valoración del índice de calidad visual para rodajas de pitahaya es la que se presenta en la Tabla 2.3. del acápite 2.1.6.1.

2.3.6.2 Análisis sensorial

El análisis sensorial se efectuó como se detalla en el acápite 2.2.5.2, los atributos que se evaluaron fueron aroma, apariencia, acidez, dulzor y presencia de sabores extraños.

El análisis sensorial completo se realizó al día 0 y a los 4 días, a los 8 y 12 días se realizó únicamente la evaluación de la calidad visual, se utilizaron 3 empaques por tratamiento.

En el Anexo XIV se presenta la ficha de evaluación para el análisis sensorial de rodajas de pitahaya. Las cualidades de los atributos sensoriales según el rango pre-establecido se indica en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Cualidades de los atributos sensoriales con respecto a la calificación obtenida

Aroma	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Aroma muy débil a fruta	Aroma débil a fruta	Aroma intenso a fruta	Aroma muy intenso a fruta
Apariencia	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Muy seca	Seca	Fresca	Muy fresca
Acidez	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Poco ácido	Medianamente ácido	Ácido	Muy ácido
Dulzor	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Poco dulce	Medianamente dulce	Dulce	Muy dulce
Sabores Extraños	0,00 – 2,50	2,50 – 5,00	5,00 – 7,50	7,50 – 10,00
	Ausencia	Leve presencia	Presencia intensa	Presencia muy intensa

2.3.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En el análisis microbiológico se evaluó el conteo total de aerobios, conteo de mohos y levaduras y conteo de coliformes totales. El análisis microbiológico fue realizado en las rodajas de pitahaya.

Los métodos que se utilizaron para cada análisis fueron los siguientes:

- ✓ Contaje total de aerobios: FDA/CFSAN BAM (2001)
- ✓ Contaje de hongos y levaduras: 997.02 (AOAC, 2005)
- ✓ Contaje de coliformes totales: FDA/CFSAN BAM (2002)

2.3.8 TASA DE RESPIRACIÓN

Se empleó un sistema de respiración cerrado al igual que en el experimento con pitahayas enteras, en el acápite 2.2.6 se explica la realización de esta prueba. Se utilizaron 10 empaques de pitahaya cortada. Las cámaras con las rodajas fueron almacenadas a 4 ± 1 °C y 90 % HR. En el Anexo XVI se muestra el sistema de respiración utilizado para la pitahaya mínimamente procesada.

2.3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en la experimentación con pitahaya entera y cortada se efectuó con el programa STATGRAPHICS Centurion versión XVI (Statistical Graphics System, Statistical Graphics Corporation, 2007). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y como método de comparación de diferencia de medias se utilizó el de mínima diferencia significativa (LSD) con un 95 % de confiabilidad.

2.4 DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA, EMPACADA E IRRADIADA

La planta de pitahaya cortada, empacada e irradiada se diseñó con base en los balances de masa y energía del siguiente proceso: limpieza, desinfección, pelado, cortado, inmersión, empacado, sellado al vacío e irradiación de las rodajas.

La estimación de costos de implementación se hizo en función de las materias primas, equipos, mano de obra, servicios y demás factores relacionados con la aplicación del tratamiento y almacenamiento de los frutos cortados, empacados e irradiados. Se consideró que el producto será irradiado en la fuente de Co-60 recargada a 100 000 Ci como un servicio que prestaría la EPN. En el Anexo XVI se encuentran los cálculos del diseño realizado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA ENTERA EN DOS GRADOS DE COLOR

Este experimento se desarrolló en dos partes, en la primera se irradiaron a las pitahayas en grado de color 5 a tres dosis (500, 750 y 1 000 Gy) y se evaluó su calidad durante el almacenamiento hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR. En la segunda parte en cambio, se determinó el efecto de la radiación gamma en pitahayas en grado de color 4, irradiadas a la mejor dosis de trabajo del estudio anterior. La valoración de la calidad de los frutos se realizó bajo las mismas condiciones de almacenamiento establecidas para la primera parte. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso, firmeza, color (2do. estudio), pH, contenido de SST, acidez titulable y calidad sensorial global. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente con el programa Statgraphics con un 95 % de confianza.

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización de la materia prima se efectuó en pitahayas en grado de color 4 y 5 antes del almacenamiento. Las valoraciones físicas, químicas y sensoriales que se realizaron a los frutos, se presentan a continuación:

3.1.1.1 Análisis físicos

En la Tabla 3.1, se detallan los resultados de la caracterización física de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 y 5. Los frutos fueron pesados con el pedúnculo incluido, debido a que de esta manera son comercializados.

Tabla 3.1 Caracterización física de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5

PARÁMETRO	VALOR
Color 4	
Peso (g)	130,44 ± 22,47
Longitud (cm)	8,22 ± 1,50
Diámetro (cm)	6,02 ± 0,55
Firmeza de los frutos (N)	10,25 ± 0,90
Color	(Y ₉₉ , M ₀₀ , C ₃₀)
Color 5	
Peso (g)	130,64 ± 30,22
Longitud (cm)	9,34 ± 0,80
Diámetro (cm)	6,04 ± 0,40
Firmeza de los frutos (N)	10,13 ± 1,69
Color	(Y ₉₉ , M ₀₀ , C ₁₀)

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 50)

De acuerdo con la norma técnica NTE-INEN-025 (2005), el 20% de las pitahayas en grado de color 4 y el 28 % en grado de color 5, correspondieron al calibre 20, el cual reúne a los frutos con pesos ≤ 110 g. El 60 % (color 4) y el 50 % (color 5) de los frutos, se ajustaron al calibre 16 con pesos entre los 111 y 150 g. Finalmente el 20 % (color 4) y el 22 % (color 5) pertenecieron al calibre 14, el mismo que admite frutos entre los 151 y 200 g (p.6).

Los valores promedios de firmeza que se obtuvieron en este estudio fueron de 10,25 N y 10,13 N para los frutos de pitahaya en grado de color 4 y en grado de color 5, respectivamente. Por otro lado, Guerrero (2015) determinó que la firmeza promedio para pitahayas en grado de color 4 fue de 14,9 N (p.64), mientras que para los frutos en grado de color 5 fue de 10,62 N (Paredes, 2014, p. 40). Con base en los resultados de firmeza obtenidos se puede calificar a la pitahaya amarilla como un fruto blando al igual que la naranja y la ciruela (Calderón, 2010, p. 2 y Wagner, 2014, p.1). En los estudios de Guerrero (2015) y Paredes (2014) al igual que en este, se utilizó el mismo penetrómetro y se analizó la misma variedad de pitahaya (pp. 33 y 28).

En la Tabla 3.1, se puede observar que la coloración de los frutos en grado de color 4 y 5 estuvo determinada por un 99 % de amarillo y un 0 % de magenta, el único porcentaje de color que varió entre un grado de color y otro fue el cian con un 30 % (color 4) y un 10 % (color 5). Cuando se mezcla el color amarillo y el color cian, se obtiene como resultado una tonalidad verde (Küppers, 2002, p. 125), por lo que se puede concluir que la superficie de los frutos en grado de color 4 estuvo compuesta por un mayor porcentaje de color verde que los frutos en grado de color 5.

3.1.1.2 Análisis químicos

En la Tabla 3.2, se muestran los resultados de la caracterización química de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 y 5.

Tabla 3.2 Caracterización química de la pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5

PARÁMETRO	VALOR
Color 4	
pH	4,85 ± 0,21
SST (° Brix)	16,10 ± 0,95
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0,09 ± 0,01
Color 5	
pH	5,06 ± 0,06
SST (° Brix)	15,48 ± 0,62
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0,11 ± 0,01

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 50)

El pH promedio de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 fue de 4,85, mientras que para los frutos en grado de color 5 fue de 5,06. Rodríguez et al. (2005) reportó que el pH de los frutos en grado de color 5 se ubicó en el rango de 5,00 a 5,35, lo que corresponde a valores de pH adecuados para un fruto maduro (p. 2842). Por otro lado Guerrero (2015) indicó un valor promedio de pH de 4,60 para los frutos en grado de color 4 (p. 76). Además, se pudo observar que la acidez disminuyó a medida que el fruto maduró (color 5), este comportamiento es

el resultado de la maduración de los frutos, etapa en la cual se produce una reducción del contenido de ácidos orgánicos, así como la formación de sales a partir de la neutralización de los ácidos (Codreși, Râpeanu, Alexe, 2012 , p. 244).

El valor promedio de sólidos solubles totales (SST) fue de 16,10 °Brix (color 4) y 15,48 °Brix (color 5). Guerrero (2015) reportó un valor promedio de 17,4 °Brix para los frutos en grado de color 4 (p. 76), mientras que para los frutos en grado de color 5 se determinó un contenido promedio de 16,23 °Brix (Paredes, 2014, p. 41). La pitahaya amarilla es considerada un fruto dulce, con un mayor contenido de SST que las fresas, manzanas y peras, y un menor valor de SST que las cerezas y los mangos (Kader, 2002, p. 50).

En este estudio se reportaron valores promedios de 0,09 y 0,11 % (g/100 g de ácido cítrico) para los frutos en grado de color 4 y 5, respectivamente. Paredes (2014) y Guerrero (2015) en cambio, indicaron un mismo valor de 0,12 % (g/100 g de ácido cítrico) para los frutos en los dos grados de color (p. 40 y p. 76). El porcentaje de ácido cítrico presente en la pitahaya amarilla es mayor que los valores obtenidos en melones y sandías y menor que en tomates cherries y pimientos verdes (Domene y Rodríguez, 2014, p. 14). Los valores de pH y acidez titulable determinan a la pitahaya amarilla como un fruto de baja acidez.

3.1.1.3 Calidad sensorial global

Los frutos que se caracterizaron se encontraron limpios, enteros, en estado fresco tanto el fruto como el pedúnculo, y libres de plagas y/o enfermedades, por lo que de acuerdo con la norma INEN 2003:05 (2005) corresponderían a la categoría I (pp. 5-6), que son los frutos de mejor calidad y libres de cualquier tipo de defectos.

En la Tabla 3.3, se detallan los índices de calidad visual para cada atributo evaluado en los frutos de pitahaya en grado de color 4 y 5 y su respectiva calificación.

Tabla 3.3 Resultados de la evaluación de la calidad visual de los frutos de pitahaya en grado de color 4 y 5 utilizados para la caracterización de la materia prima

ATRIBUTO	VALOR	CALIDAD
Color 4		
Turgencia	4,80 ± 0,41	I
Marchitez del pedúnculo	4,20 ± 0,41	I
% Patógenos	4,80 ± 0,47	I
% Manchas pardas	5,00 ± 0,00	I
Aparición de manchas rojas	4,00 ± 0,00	I
Daño físico	3,17 ± 0,86	I
Color 5		
Turgencia	4,44 ± 0,58	I
Marchitez del pedúnculo	4,20 ± 0,41	I
% Patógenos	4,88 ± 0,33	I
% Manchas pardas	5,00 ± 0,00	I
Daño físico	3,80 ± 0,76	II

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 50)

I: Mantienen las características iniciales

II: Presentan deterioro y daño. Apta para el consumo.

De manera general, los frutos de este estudio fueron clasificados dentro de la Calidad I, según la fórmula [2.2], esto significa que las pitahayas utilizadas presentaron una buena calidad visual y fueron óptimas para el consumo. Únicamente respecto al atributo de daño físico, los frutos obtuvieron Calidad II, es decir que a pesar de que fueron considerados como comerciables, presentaron un cierto deterioro, como daños por espinas y cortes. Según la escala de valoración del índice de aroma en frutos de pitahaya en grado de color 4 y 5, detallada en la Tabla 2.5, los frutos presentaron Calidad I, es decir mantuvieron su aroma característico (sabor y olor a pitahaya fresca).

3.1.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA EN PITAHAYA ENTERA

Los frutos de pitahaya en grado de color 5 después de ser irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy, se los almacenó y evaluó su calidad global a los 0 días

posterior al tratamiento de irradiación y a los 7 y 14 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

3.1.2.1 Pérdida de peso (%)

En este estudio se evaluó el porcentaje de pérdida de peso de los frutos irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy, los resultados fueron comparados entre si para identificar la dosis de radiación a la que esta variable fue menor. En la Figura 3.1, se presenta la pérdida de peso (%) durante el primero y segundo periodo de almacenamiento a 20 °C y 80 % HR de las pitahayas amarillas en grado de color 5 e irradiadas.

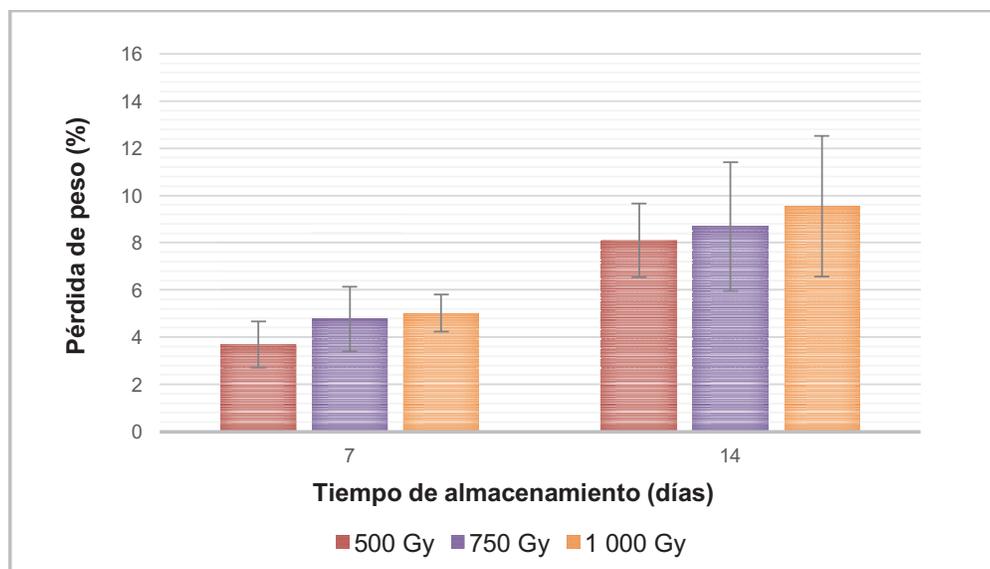


Figura 3.1 Pérdida de peso (%) de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 5 e irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

El valor de pérdida de peso aumentó en todos los frutos irradiados a lo largo del almacenamiento. Procesos biológicos como la respiración y físicos como la transpiración, provocan que los alimentos pierdan peso, ya sea por la pérdida de materia seca en la respiración, o por la pérdida de agua en la transpiración (Kader, 2002, pp. 15-17). La alta dispersión de los datos, representada por las

barras de error en la Figura 3.1. es el resultado de pitahayas amarillas cosechadas en un amplio rango de pesos, debido a que el único parámetro decisivo para la recolección fue el grado de color y no el tamaño.

Al término del segundo periodo de almacenamiento (14 días) si existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la aplicación de una dosis u otra y respecto al tiempo de almacenamiento, tal como se puede observar en la Tabla AVI.1. del Anexo VI, en la que se muestra el análisis de la varianza (ANOVA). Además, se pudo observar que el factor de bloqueo tiempo de almacenamiento fue el que determinó el comportamiento de la variable de respuesta, que en este caso fue la pérdida de peso. En la Figura 3.2, se muestra como a los 14 días la pérdida de peso estuvo influenciada por el tiempo de almacenamiento de las pitahayas.

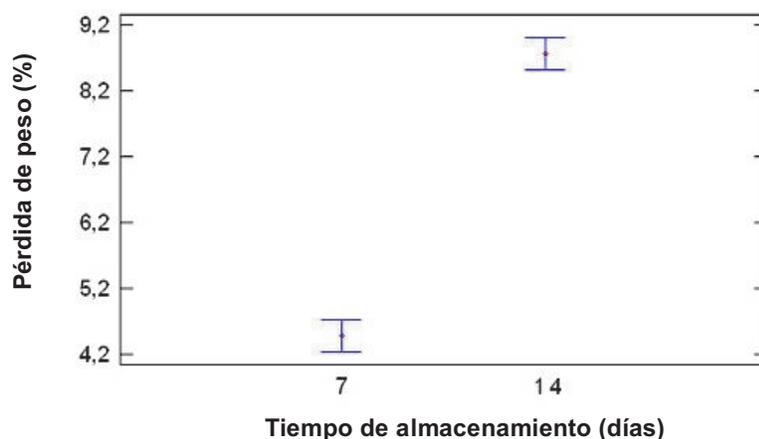


Figura 3.2 Gráfico de medias e intervalos LSD de la variable porcentaje de pérdida de peso de las pitahayas amarillas irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy a los 7 y 14 días de almacenamiento a 20 °C y 80 % HR

Para fijar la mejor dosis de trabajo, se analizó el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.3, en el que se observa que si existieron diferencias significativas entre las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy, por lo que se estableció como mejor dosis de trabajo a la de 500 Gy, debido a que los frutos tratados a esta dosis reportaron los más bajos porcentajes de pérdida de peso.

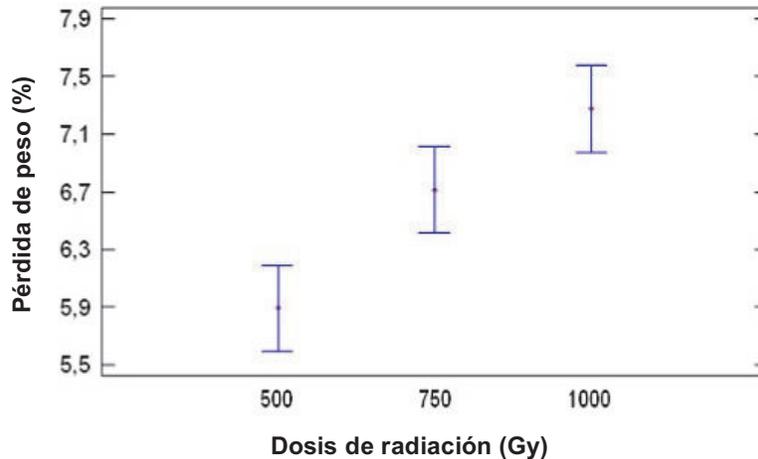


Figura 3.3 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

De manera general, en esta investigación el porcentaje de pérdida de peso se incrementó a medida que la dosis de radiación fue mayor, este comportamiento es similar al de naranjas *Maroc Late* irradiadas a dosis de 125, 250, 375 y 500 Gy, las cuales fueron almacenadas a temperatura ambiente hasta un mes y cuyo porcentaje de pérdida de peso aumentó con la dosis de radiación y con el tiempo de almacenamiento (Arvanitoyannis, 2010, p. 470).

El uso de radiación en este estudio, buscó retardar la maduración de las pitahayas y extender su tiempo de vida útil, para lo cual se emplearon dosis entre los 500 y 1 000 Gy, valores sugeridos en bibliografía para este fin (Parzanese, 2010, p. 2). Se notó que existió una mayor pérdida de peso a medida que la dosis aplicada se acercaba al valor máximo de la dosis recomendada (1 000 Gy).

El tiempo de almacenamiento constituyó un factor significativo en la pérdida de peso de las pitahayas debido a que por su grado de color éstas posiblemente iniciaron su etapa de senescencia durante el almacenamiento. En este periodo la permeabilidad de las membranas de la piel del fruto se incrementa, por lo que los alimentos tienden a perder una mayor cantidad de agua y por consiguiente peso (Guevara y Jiménez, 2000, p. 191).

3.1.2.2 Firmeza

Luego del proceso de irradiación, el mayor valor de firmeza obtenido fue de 9,42 N para las pitahayas irradiadas a 500 Gy, mientras que el menor valor fue de 7,98 N para los frutos tratados a 1 000 Gy. En el primer periodo de almacenamiento se obtuvieron valores promedios de 9,97, 10,94 y 11,17 N para los frutos irradiados a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy, respectivamente. Por otro lado, en el segundo periodo de almacenamiento se reportaron valores promedios de 9,06 N para las pitahayas irradiadas a 500 Gy, 11,09 N para aquellas tratadas a 750 Gy y finalmente 11,45 N para los frutos irradiados a 1 000 Gy. No existieron diferencias estadísticamente significativas respecto a la dosis de radiación ni respecto al tiempo de almacenamiento.

A partir del primer periodo de almacenamiento, se observó que los valores de firmeza de los frutos irradiados a 500 Gy, fueron menores que los reportados para las pitahayas irradiadas a 750 y 1 000 Gy, esto pudo deberse a que los primeros frutos perdieron menor porcentaje de peso y por consiguiente conservaron su consistencia característica, mientras que las pitahayas irradiadas a 750 y 1 000 Gy perdieron una mayor cantidad de agua y se volvieron más firmes, tal como se muestra en este estudio. El rango en el que fluctuaron los valores de firmeza de este experimento no es amplio, por lo que esta variable no constituyó un parámetro determinante para la selección de la dosis de radiación. Los resultados de firmeza categorizaron a las pitahayas amarillas en el grupo de frutos blandos, como se indicó en la caracterización inicial de los frutos.

3.1.2.3 Análisis químicos

La aplicación de 500, 750 y 1 000 Gy en frutos de pitahaya amarilla, así como el tiempo de almacenamiento (14 días), no tuvieron ningún efecto estadísticamente significativo en los valores de pH a lo largo de este estudio. El mayor valor registrado (5,16) fue posterior al proceso de irradiación a 1 000 Gy, mientras que el mínimo valor (4,86) fue reportado en el primer periodo de almacenamiento de

los frutos irradiados a 750 Gy. Los resultados de pH obtenidos en esta investigación se ajustaron al rango establecido para frutos maduros (5,00-5,35), valores que fueron reportados por Rodríguez et al. (2005), quienes estudiaron pitahayas amarillas en grado de color 5 y sin irradiar, almacenadas a 19 °C y 70 % HR hasta 13 días (p. 2842).

El contenido de SST no presentó diferencias significativas respecto a la dosis de radiación ni respecto al tiempo de almacenamiento. La cantidad de SST en pitahayas amarillas e irradiadas, variaron desde $15,10 \pm 0,45$ hasta $16,61 \pm 0,72$ °Brix. Los valores de SST se redujeron en el transcurso del almacenamiento como consecuencia de la senescencia de los frutos, etapa en la cual el dulzor de los alimentos disminuye debido al uso de las reservas de carbohidratos para la respiración (Kader, 2002, p. 45). Rodríguez et al. (2005) reportaron un rango de SST entre 13,33 y 16,67 °Brix para pitahayas amarillas en grado de color 5 y sin irradiar, almacenadas hasta 13 días a 19 °C y 70 % HR (p. 2843), por lo que los valores de SST de este estudio se ajustaron al rango encontrado para frutos de pitahaya sin irradiar.

No existieron diferencias estadísticamente significativas para la acidez titulable respecto a la dosis de radiación ni respecto al tiempo de almacenamiento. La acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico presentó un valor de $0,09 \pm 0,01$ % a lo largo de todo este estudio, resultado que se identificó con el reportado en la caracterización inicial de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 5 y sin irradiar.

3.1.2.4 Calidad sensorial global

Se valoró la calidad visual en pitahayas amarillas en grado de color 5 e irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy (30 frutos/dosis). Los atributos que se evaluaron fueron turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, manchas pardas y daño físico. La escala adoptada fue de 1 a 5 puntos, donde 1 se le atribuyó a la peor cualidad del parámetro evaluado y 5 a la mejor. En la

Tabla 3.4, se muestran los resultados obtenidos en la valoración de la calidad visual de frutos irradiados de pitahaya amarilla a lo largo del almacenamiento.

En la primera evaluación que se realizó posterior al proceso de irradiación (0 días), las pitahayas se mostraron turgentes y firmes, con el paso del tiempo los frutos perdieron frescura, de manera que al término del segundo periodo de almacenamiento los frutos irradiados a 500 y 750 Gy se mostraron medianamente secos, mientras que los irradiados a 1 000 Gy mostraron una apariencia seca, siendo éstos los frutos que mayor turgencia perdieron a lo largo del almacenamiento.

Tanto la dosis de radiación como el tiempo de almacenamiento influyeron significativamente ($p < 0,05$) en la turgencia de los frutos; sin embargo, el factor de bloqueo tiempo de almacenamiento, fue el que tuvo un mayor efecto sobre la variable de respuesta, tal como se muestra en el análisis de la varianza (ANOVA) de la Tabla AVI.2. del Anexo VI. En este estudio se observó que las pitahayas irradiadas a 500 Gy fueron las que mostraron la menor pérdida de turgencia, como se indica en el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.4. La pérdida de este atributo es provocada por la pérdida de agua, lo que resulta en una relación directa con la pérdida de peso, en este experimento los valores más altos de pérdida de peso coincidieron con los promedios más bajos de turgencia, los cuales fueron reportados por los frutos irradiados a 750 y 1 000 Gy .

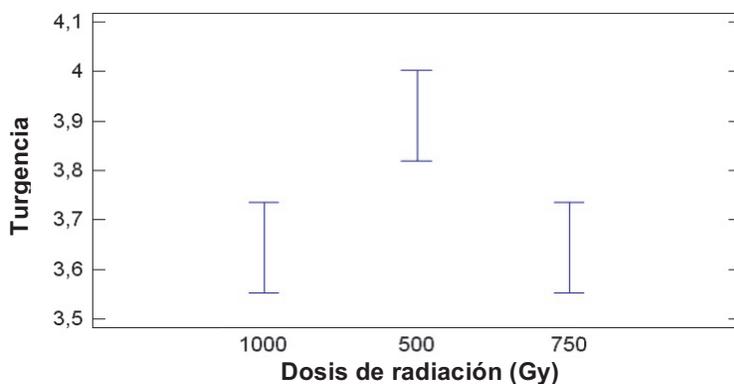


Figura 3.4 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable turgencia de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

Durante el almacenamiento la marchitez de los pedúnculos pasó de discreta a moderada. El único factor que influyó significativamente ($p < 0,05$) en esta variable de respuesta fue el factor de bloqueo tiempo de almacenamiento, ya que fue el que provocó la deshidratación de los pedúnculos, los mismos que son partes del fruto con un alto contenido de agua muy susceptibles a la marchitez.

Al término de los 14 días no existió descomposición de los pedúnculos, pero si un ataque de hongos, cuyas hifas fueron de color blanco y gris.

Para la presencia de patógenos, existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) tanto respecto a la dosis de radiación como al tiempo de almacenamiento, como se indica en el ANOVA de la Tabla AVI.3. del Anexo VI, de la cual se concluyó que el factor de bloqueo tiempo de almacenamiento fue el que mayor efecto tuvo sobre el comportamiento de la variable de respuesta.

Durante este estudio se observó que los frutos irradiados a 500 Gy fueron los que mostraron la menor superficie infectada por patógenos, como se observa en el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.5.

Al término de los 7 días, los frutos irradiados a 500 Gy presentaron patógenos en menos del 5 % de su superficie, mientras que los irradiados a 750 y 1 000 Gy se mostraron afectados en un 10 %. Luego de los 14 días, los patógenos incrementaron, tal como era de esperarse por la carga microbiana inicial. La superficie infectada fue de hasta el 25 % en todas las pitahayas sin importar la dosis de radiación.

Se registró la presencia de patógenos debido a que las dosis utilizadas no fueron lo suficientemente altas como para lograr una eliminación de agentes patógenos, ya que para este fin se requieren dosis mayores a 1 kGy (ICGFI, 1999, p. 16).

Las hifas de los hongos que atacaron a las pitahayas fueron de color negro y blanco. Los hongos fueron observados principalmente alrededor de las mamilas o en lugares donde hubo un daño físico previo.

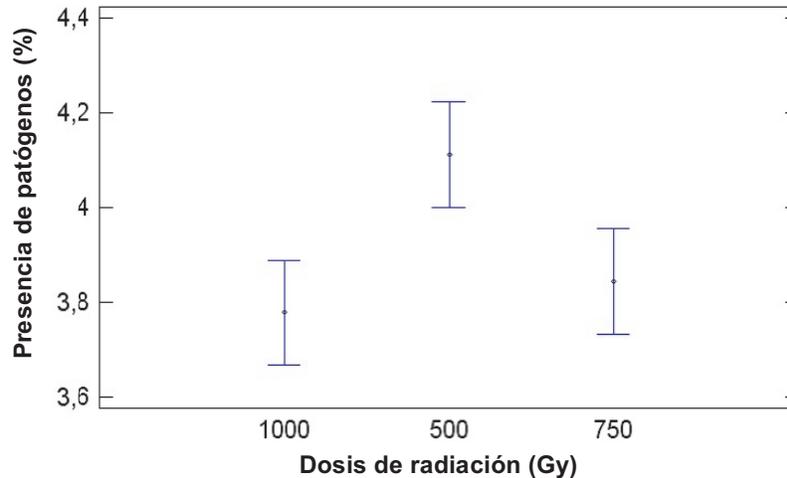


Figura 3.5. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable presencia de patógenos (%) de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

Para el parámetro daño físico, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto al factor de bloqueo tiempo de almacenamiento únicamente.

A los 0 días después de la irradiación, los frutos tratados a 750 Gy fueron los que presentaron el mayor daño físico, el cual estuvo localizado entre el 5 y 10 % de su superficie, por otro lado las pitahayas irradiadas a 500 y 1 000 Gy presentaron daños físicos en menos del 5 % de su superficie.

En el segundo periodo de almacenamiento los frutos irradiados a 500 Gy reportaron el menor daño físico, el cual se localizó entre el 5 y 10 % de su superficie, mientras que para los frutos a 750 y 1 000 Gy la superficie afectada fue de entre el 10 y 25 %.

Los daños físicos que se observaron en las pitahayas fueron golpes en las mamilas, espinas incrustadas, cortaduras y puntos rojos en la cáscara de los frutos. Estos puntos fueron de color rojo claro y aparecieron como consecuencia del daño por espinas, únicamente se los evidenció en el transcurso del almacenamiento, más no después de la cosecha.

Tabla 3.4. Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 5 irradiada a 500, 750 y 1 000 Gy almacenada hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)		
		500	750	1 000
Turgencia	0 días a 20 °C ¹	4,30±0,60 a	3,97±0,59 b	4,30±0,47 a
	7 días a 20 °C ²	3,77±0,50 a	3,67±0,72 a	3,47±0,57 a
	14 días a 20 °C ³	3,62±0,62 a	3,30±0,75 b	2,97±0,65 c
Marchitez del pedúnculo	0 días a 20 °C	3,97±0,18 a	3,87±0,35 a	3,97±0,19 a
	7 días a 20 °C	3,50±0,51 a	3,53±0,57 a	3,63±0,49 a
	14 días a 20 °C	2,96±0,33 a	2,81±0,48 a	2,40±0,86 b
Presencia de patógenos	0 días a 20 °C	4,90±0,31 a	4,60±0,50 b	4,13±0,63 c
	7 días a 20 °C	4,67±0,61 a	3,97±0,92 b	3,73±0,98 b
	14 días a 20 °C	2,77±1,01 a	2,93±0,92 a	2,93±0,75 a
Presencia de manchas pardas	0 días a 20 °C	5,00±0,00 a	4,67±0,48 b	3,43±0,86 c
	7 días a 20 °C	3,60±1,25 a	3,33±0,92 a	1,60±0,67 b
	14 días a 20 °C	3,10±1,09 a	2,55±0,69 b	2,41±0,87 b
Daño físico	0 días a 20 °C	4,43±0,68 a	3,87±0,71 b	4,60±0,56 a
	7 días a 20 °C	3,13±1,01 a	3,23±0,93 a	2,77±1,04 a
	14 días a 20 °C	2,97±0,50 a	2,59±0,68 b	2,50±0,82 b

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

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Letras diferentes en la etapa de evaluación denotan que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en los tratamientos con radiación a 500, 750 y 1 000 Gy

Como consecuencia de la radiación se pudo observar la aparición de manchas de color rojo oscuro en la superficie de los frutos, de manera especial en la base de las mamilas, tal como se observa en la Figura 3.6, esto sucedió en todas las pitahayas irradiadas.

La cantidad de manchas y su intensidad se incrementó a medida que la dosis de radiación fue mayor, es así que las pitahayas irradiadas a 1 000 Gy fueron las que más se vieron afectadas por este fenómeno.



Figura 3.6. Pitahaya irradiada a 1 000 Gy y almacenada hasta 7 días a 20 °C y 80 % HR con presencia de manchas rojas oscuras por efecto de la radiación

En el presente estudio la valoración de este tipo de manchas fue incluida dentro del parámetro de manchas pardas, por lo que se reportaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a la dosis de radiación y al tiempo de almacenamiento. En el análisis de la varianza (ANOVA) de la Tabla AVI.4. del Anexo VI, se puede observar como la dosis y el factor de bloqueo tiempo de almacenamiento tuvieron el mismo efecto sobre el comportamiento de la variable de respuesta, que en este caso fue la presencia de manchas pardas.

En los frutos tratados a 500 Gy las manchas pardas aparecieron a partir de los 7 días, llegando a ocupar hasta el 10 % de la superficie de los frutos al término de los 14 días. Las pitahayas irradiadas a 1 000 Gy fueron las más susceptibles a la aparición de manchas pardas, ya que la superficie afectada llegó a ser mayor del 25 % en el primer y segundo periodo de almacenamiento. En el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.7, se muestra como durante este estudio los frutos tratados a 500 Gy son aquellos con la menor superficie infectada por patógenos.

En el transcurso del almacenamiento las manchas rojas se tornaron pardas, por lo que su aparición por efecto de la radiación marcó el inicio de la senescencia en los frutos, ya que las manchas pardas no solo aparecen por daños por frío como

lo reportó Paredes (2014, p. 64), sino también como una clara señal de deterioro por senescencia, tal como se observó en este estudio.

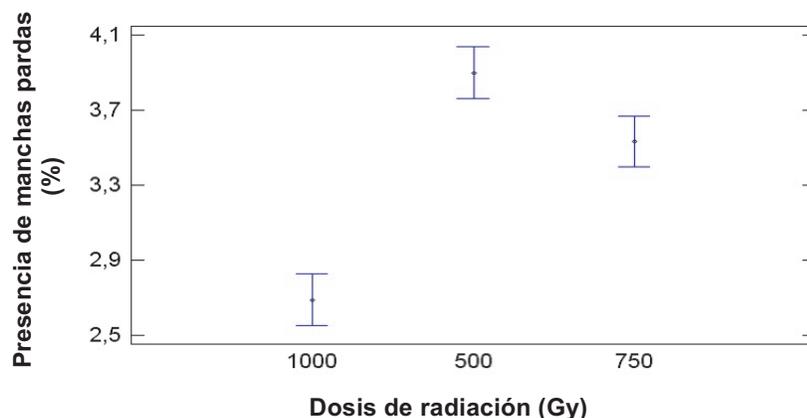


Figura 3.7 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable presencia de manchas pardas (%) de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

El segundo efecto que se pudo observar, fue el cambio de color de las cortezas de las pitahayas, ya que de poseer un tono amarillo antes de ser irradiadas, adquirieron una coloración levemente anaranjada después del proceso de irradiación. El grado de oscurecimiento del color en los frutos aumentó con la dosis de radiación. En la Figura 3.8, se muestra el cambio de tonalidad que sufrieron las pitahayas amarilla al haber sido tratadas con rayos gamma.

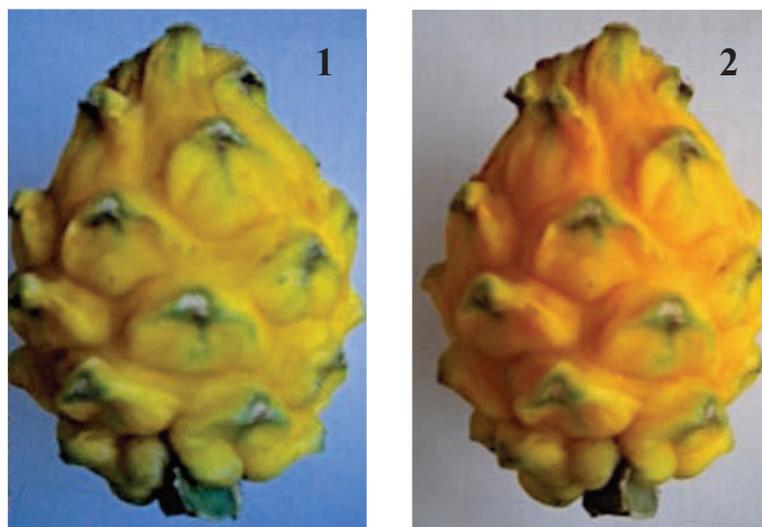


Figura 3.8 Pitahaya antes del proceso de irradiación (1) y pitahaya después de haber sido irradiada a 750 Gy (2)

Entre los posibles efectos adversos de la radiación en la calidad visual de los frutos, se encuentran: el ablandamiento, el escaldado, la aparición de puntos tipo picaduras, el oscurecimiento y la decoloración (Wall, 2012, p. 5). En este estudio se registraron dos de estos efectos, el primero fue la aparición de manchas rojas, especialmente en la base de las mamilas, que fueron consideradas las partes del fruto más vulnerables a los daños físicos, y el segundo efecto en cambio, fue el oscurecimiento del color en los frutos. El oscurecimiento de productos hortofrutícolas por efecto de la radiación es producto de la oxidación de compuestos fenólicos ferrosos, los cuales al contacto con el aire se transforman en compuestos fenólicos férricos con pigmentaciones azules y negras características. Varios factores como el pH, el contenido de hierro, ortodifenoles y ácidos orgánicos contribuyen a este tipo de reacciones (Hutchings, 2012, p. 377).

En un estudio con pitahayas rojas (*Hylocereus undatus*), irradiadas con rayos X a 200, 400, 600 y 800 Gy, cosechadas en dos grados de madurez a los 40 y 50 días después de la antesis (DDA) y almacenadas a 10 °C hasta 12 días, se reportó cambios de color en la corteza. Las pitahayas cosechadas en un grado de madurez mayor (50 DDA), fueron las únicas que presentaron cambios de color y apareamiento de manchas, estos frutos antes de ser irradiados presentaron un color rojo intenso, mientras que después de la irradiación mostraron un tono rojo oscuro. Con el incremento de la dosis de radiación se presentaron además, manchas de color gris y amarillo en las cáscaras de las pitahayas maduras (Wall y Khan, 2008, p. 2118). Muchos otros frutos, como guineos y mangos tratados con rayos X a dosis de 800 Gy, o sandías irradiadas con rayos gamma a 500 y 1 000 Gy, presentaron oscurecimiento tras la aplicación de radiación (Wall, 2012, p. 15 y Arvanitoyannis, 2010, p. 490).

Según lo reportado por Wall y Khan (2008) en su estudio con pitahayas rojas irradiadas (p. 2118) y con lo obtenido en este experimento, se determinó que la posible aplicación de altas dosis de radiación en pitahayas maduras (color 5), tiene un mayor efecto sobre la calidad visual de los frutos, en especial con lo que respecta a cambios de color y aparición de manchas. Además, se debe considerar el alto contenido de agua que poseen las pitahayas, por lo que el

efecto secundario de la radiación fue aún mayor debido a la gran cantidad de productos radiolíticos formados, los cuales pudieron haber acelerado la maduración de los frutos y su deterioro.

A continuación, en la Tabla 3.5, se presenta la valoración final de la calidad visual de las pitahayas irradiadas, posterior a la irradiación y en los dos periodos de almacenamiento.

Tabla 3.5. Índices de la calidad visual de los frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 5 a lo largo del almacenamiento

TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)		
	500	750	1 000
0 días a 20 °C ¹	I	I	I
7 días a 20 °C ²	II	II	II
14 días a 20 °C ³	II	III	III

I: 4-5; II: 4-3; III:<3

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Seguidamente del proceso de irradiación, los frutos tratados con las 3 dosis presentaron Calidad I, es decir que las pitahayas se mostraron frescas, la marchitez de los pedúnculos fue discreta, no existió presencia de patógenos y los daños físicos que presentaron fueron poco notorios, sin embargo, la aparición de manchas pardas fue leve en las pitahayas irradiadas a 1 000 Gy y ninguna en los frutos tratados a 500 y 750 Gy.

En el primer periodo de almacenamiento todos los frutos irradiados a las tres dosis tuvieron Calidad II, lo que implicó pitahayas menos frescas y firmes con una moderada resequeidad de los pedúnculos. La presencia de manchas pardas y patógenos fue notable en todos los frutos; sin embargo, en los irradiados a 1 000 Gy las manchas pardas fueron mucho más evidentes. Los daños físicos observados fueron significativos y a pesar del deterioro que presentaron las pitahayas, estas fueron aptas para el consumo.

En el segundo periodo de almacenamiento los frutos irradiados a 500 Gy presentaron Calidad II y fueron aptos para el consumo, mientras que los frutos irradiados a 750 y 1 000 Gy obtuvieron Calidad III, lo que significó que no eran comerciables ni contaban con las características apropiadas para su consumo. Las pitahayas al igual que sus pedúnculos se mostraron secos, la presencia de patógenos y manchas pardas fue severa al igual que los daños físicos. En el Anexo VII, se muestran las fotografías de las pitahayas amarillas irradiadas a tres dosis y el efecto de la radiación en la calidad visual durante el almacenamiento.

El tiempo de almacenamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo en la calidad visual de los frutos ($p < 0,05$), esto se pudo evidenciar con el severo deterioro que presentaron los frutos irradiados al final del segundo periodo de almacenamiento. El tiempo fue determinante porque se deduce que la etapa de senescencia inició durante el almacenamiento, ya que por la madurez de las pitahayas cosechadas (color 5), se pudo haber inducido al desarrollo de este proceso. Entre las características que presentan las pitahayas amarillas en la fase de senescencia están el ablandamiento de los frutos, la pérdida de turgencia, la aparición de manchas pardas en la corteza y la marchitez de los pedúnculos (Dueñas, Narváez y Restrepo, 2012, pp. 260-261). Por otro lado, la temperatura a la cual fueron almacenados los frutos (20 °C), contribuyó a que la maduración se desarrolle de una forma mucho más rápida, ya que el rango óptimo de temperatura para acelerar la maduración de los productos hortofrutícolas es entre 18 y 25 °C (Hernández, Barrera y Melgarejo, 2010, p. 170).

El motivo por el cual se utilizó la temperatura de 20 °C para el almacenamiento de las pitahayas en este estudio, fue para observar en un periodo corto de tiempo (14 días) los efectos de la radiación y el almacenamiento sobre la calidad global de los frutos y de esta manera anticiparse a los posibles resultados de futuros experimentos a diferentes condiciones de almacenamiento.

Una vez que las pitahayas irradiadas fueron evaluadas visualmente, se pudo llevar a cabo la valoración del aroma (sabor y olor) de las mismas. Para esto se utilizó una escala del 1 al 4, donde 1 se asignó a las pitahayas con una alta

presencia de sabores y olores extraños, mientras que 4 fue para los frutos con sabores y olores característicos. En el segundo periodo de almacenamiento no se realizó la evaluación del aroma debido a que las pitahayas presentaron agentes patógenos en hasta el 25 % de su superficie, así como una apariencia poco aceptable.

Se reportaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a la dosis de radiación y al tiempo de almacenamiento para la variable de respuesta aroma. En el análisis de la varianza (ANOVA) de la Tabla AVI.5. del Anexo VI, se puede observar como la dosis de radiación es la que determina el comportamiento de esta variable. En el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.9, se muestra como durante este experimento los frutos irradiados a 500 Gy son los únicos que presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las pitahayas tratadas a 750 y 1 000 Gy, con los más altos puntajes a lo largo del almacenamiento.

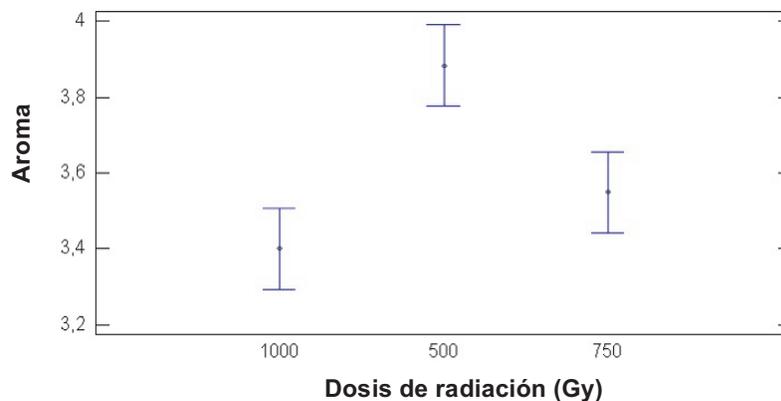


Figura 3.9. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable aroma de los frutos de pitahaya amarilla irradiados a 500, 750 y 1 000 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

Los frutos tratados con 500 y 750 Gy obtuvieron Calidad I, ya que reportaron valores de 3,90 y 3,80, respectivamente, a estos frutos se los atribuyó un aroma característico a pitahaya fresca, favoreciendo así su consumo. En cambio, los frutos irradiados a 1 000 Gy obtuvieron Calidad II y reportaron un puntaje promedio de 3,40. Dentro de la Calidad II, se ubicaron los frutos con alteración en su aroma y con un posible rechazo por parte del consumidor.

Un comportamiento similar se observó en un estudio con uvas Rio Red, las cuales fueron irradiadas a 70, 200, 400 y 700 Gy y almacenadas por 4 semanas a 10 °C y una semana a 20 °C. El sabor de las uvas fue evaluado posterior a la irradiación y se reportó que a mayor tiempo de almacenamiento y altas dosis (400 y 700 Gy), mayor fue la presencia de sabores extraños, tanto así que las uvas tratadas a 700 Gy fueron consideradas inaceptables por su sabor extremadamente desagradable (Patil, Vanamala, Hallman, 2004, p. 63).

De manera general, no existieron olores extraños en las pitahayas irradiadas de este estudio, la única modificación que mostraron fue en su sabor. En bibliografía se encontró que la secuela organoléptica más notable en alimentos irradiados en presencia de aire es la rancidez (Fellows, 2000, p. 36); sin embargo, esta característica estuvo ausente en las pitahayas irradiadas debido a la poca cantidad de lípidos que presentan en su composición. Con respecto a los olores típicos de alimentos irradiados, estos se producen de forma especial en productos cárnicos sometidos a altas dosis. Se ha reportado que compuestos azufrados, hidrocarburos y alcoholes son parte de los compuestos volátiles que se desprenden al irradiar un alimento (Suárez, 2001, p. 96). En otros estudios se ha reportado que los cambios del aroma en productos irradiados, se minimizan o desaparecen en el transcurso del tiempo (Morton y Marquina, 2000, p. 104).

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se pudo identificar a la calidad visual como el parámetro más afectado, tanto por la radiación como por el tiempo de almacenamiento. A pesar del deterioro que sufrieron los frutos, se observó que la dosis que visualmente conservó mejor a las pitahayas y con la que perdieron menor peso fue la de 500 Gy, por lo que se la consideró como la mejor dosis de trabajo para los estudios siguientes.

Una vez seleccionada la dosis, se buscó la manera de contrarrestar el efecto de la radiación en la calidad visual de los frutos, para esto se contempló un nuevo estudio con pitahayas amarillas irradiadas a 500 Gy, pero cosechadas en un grado de color menor (color 4). A continuación, se presenta el desarrollo y resultados de dicho experimento.

3.1.3 SELECCIÓN DEL GRADO DE COLOR ADECUADO PARA LA APLICACIÓN DE RADIACIÓN GAMMA

En este estudio se irradiaron pitahayas en grado de color 4 y 5 con la finalidad de comparar el efecto de la radiación en la calidad global de los frutos en los dos grados de color y sus respectivos controles (frutos sin irradiar). La dosis seleccionada fue la de 500 Gy, ya que fue la mejor dosis de trabajo del estudio anterior. Una vez que los frutos fueron irradiados, se los almacenó a 20 °C y 80 % HR. Las pruebas de calidad se efectuaron posterior a la irradiación, a los 7 y 14 días de almacenamiento. Los parámetros en los cuales el grado de color y la radiación influyeron significativamente se presentan a continuación.

3.1.3.1 Pérdida de peso

Se evaluó el porcentaje de pérdida de peso en los frutos de pitahaya en grado de color 4 y 5 irradiados a 500 y 0 Gy. La finalidad de este análisis fue identificar el grado de color en el cual las pitahayas perdieron el menor porcentaje de peso. Se observó que la pérdida de peso aumentó en todos los frutos a lo largo del almacenamiento, tal como se muestra en la la Figura 3.10.

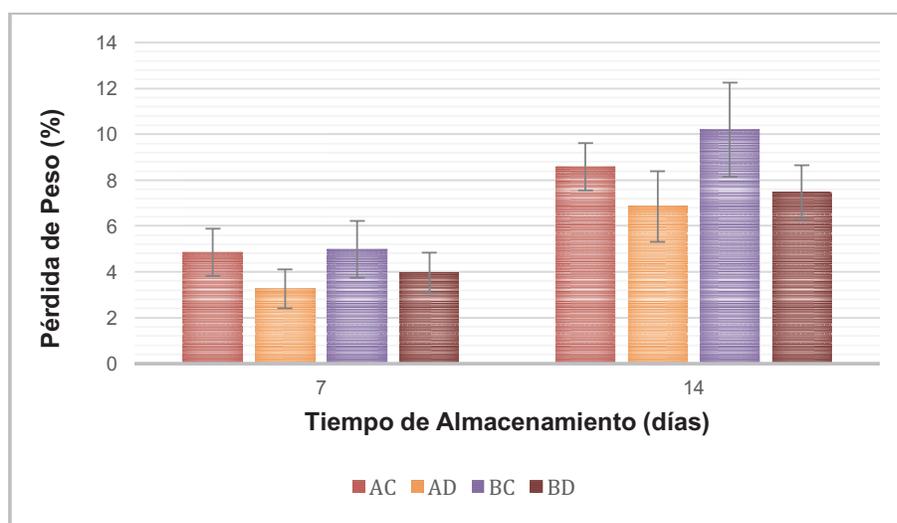


Figura 3.10. Pérdida de peso (%) en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 (A) y 5 (B) irradiados a 500 Gy (C) y 0 Gy (D) almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

Al término del segundo periodo de almacenamiento, el grado de color y la radiación influyeron significativamente ($p < 0,05$) en la pérdida de peso. Dentro del grupo de frutos irradiados se reportaron también diferencias significativas respecto al grado de color. El tratamiento que registró la menor pérdida de peso fue el AD con un valor promedio de 6,85 %, mientras que el tratamiento que registró la mayor pérdida de peso fue el BC, cuyo valor promedio fue de 10,20 %. Dentro del grupo de frutos irradiados a 500 Gy, las pitahayas en grado de color 4 (tratamiento AC) perdieron alrededor de un 16 % de peso menos que los frutos en grado de color 5 (tratamiento BC). En el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.11, se observa como la pérdida de peso es menor en aquellas pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy.

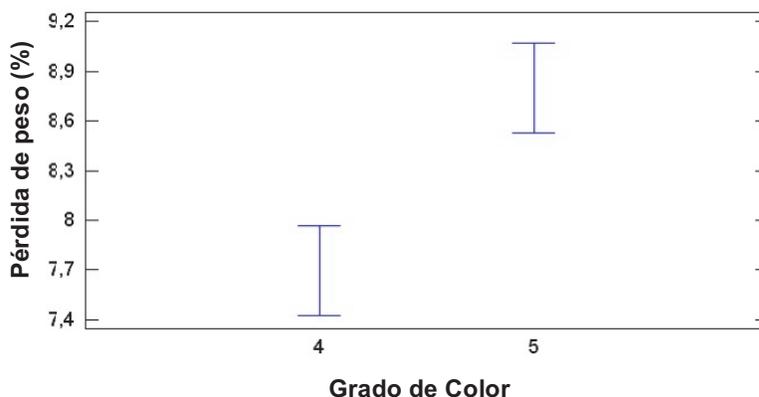


Figura 3.11. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 y 5 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

En este estudio las pitahayas irradiadas presentaron una mayor pérdida de peso debido al posible efecto de la radiación en la estructura de la cutícula de los frutos, lo que pudo haber causado una mayor permeabilidad de esta membrana y por consiguiente una mayor pérdida de agua y peso (Ladaniya, Singh y Wadhawan, 2003, p. 670). La cutícula es la capa externa de los frutos que funciona como barrera protectora con el fin de disminuir la pérdida de agua y la difusión de gases (Siddiq, 2012, p. 24). Los frutos en grado de color 5 presentaron una mayor pérdida de peso, como se lo esperaba, esto debido a la reducción del grosor de la cutícula por efecto de la maduración, ya que a medida que los frutos maduran esta capa se reduce y la pérdida de agua aumenta (Tafolla-Arellano,

González-León, Tiznado-Hernández, García y Báez-Sañudo, 2013, p. 7).

En investigaciones con otros frutos, se observó que en naranjas dulces Mosambi tratadas a 500 Gy y almacenadas hasta 90 días a 7 °C y 95 % HR, existió una mayor pérdida de peso (≈ 4 %) que en naranjas sin irradiar (Ladaniya, Singh y Wadhawan, 2003, p. 670). En un estudio con papayas irradiadas a 750 Gy en tres estados de madurez: 0 (10 % amarillo), 1 (20 % amarillo) y 2 (30 % amarillo) almacenadas hasta 14 días a 11 °C más 6 días a 24 °C, se reportó que las papayas en estado de madurez 2 fueron las que perdieron el mayor porcentaje de peso al final del almacenamiento (≈ 10 %) (Pimentel y Walder, 2004, pp. 149-150).

En el estudio que Guerrero (2015) llevó a cabo con pitahayas amarillas en grado de color 4 sin irradiar, se reportó que los valores promedios de pérdida de peso fueron de 1,35 y 3,50 % a los 7 y 11 días de almacenamiento a 20 °C y 90 % HR (p. 70). Por otro lado, Paredes (2014) reportó que pitahayas amarillas (color 5) almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C y empacadas en láminas de policloruro de vinilo (PVC) alcanzaron una pérdida de peso de alrededor de 1,5 % (p. 52). Los valores de pérdida de peso de este estudio superaron en más de tres veces a los resultados de estudios anteriores con pitahaya, por lo que se distingue la significativa influencia del tratamiento de irradiación en esta variable.

3.1.3.2 Color

En el estudio anterior con pitahayas amarillas en grado de color 5, se observó que la cáscara adquirió una tonalidad más intensa de color naranja después de haber sido irradiada, por lo que se vio necesario cuantificar el color de los frutos a 500 y 0 Gy y comparar sus resultados, para este fin se utilizó la escala de amarillo al 99 % (Y99) de la quinta parte del Atlas de Colores de Küppers.

A continuación en la Tabla 3.6, se observan las coordenadas del color de los frutos que en promedio adquirieron según el tratamiento y periodo de almacenamiento.

Tabla 3.6. Coordenadas del color de las pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

PRIMER PERIODO DE ALMACENAMIENTO¹			
AC	Coordenadas	AD	Coordenadas
	Y99,M30,C30		Y99,M10,C30
SEGUNDO PERIODO DE ALMACENAMIENTO²			
AC	Coordenadas	AD	Coordenadas
	Y99,M30,C20		Y99,M20,C10
PRIMER PERIODO DE ALMACENAMIENTO			
BC	Coordenadas	BD	Coordenadas
	Y99,M30,C20		Y99,M20,C00
SEGUNDO PERIODO DE ALMACENAMIENTO			
BC	Coordenadas	BD	Coordenadas
	Y99,M40,C30		Y99,M20,C20

A: Grado de color 4; B: Grado de color 5; C: 500 Gy; D: 0 Gy (frutos control)

1: 7 días a 20 °C y 80 % HR

2: 14 días a 20 °C y 80 % HR

En frutos irradiados y de control se distinguió que el almacenamiento no tuvo un efecto representativo en el cambio de color de las pitahayas, mientras que la aplicación de radiación si lo tuvo. El cambio de color de las pitahayas irradiadas fue notable, tanto para los frutos en grado de color 4 como en 5.

Después del segundo periodo de almacenamiento, se observó que dentro del grupo de pitahayas en grado de color 4, el 46,67 % de los frutos irradiados presentó un 99 % de color amarillo, un 30 % de color magenta y un 20 % de cyan, mientras que el 43,33 % de los frutos control presentó un 99 % de color amarillo, un 20 % de magenta y 10 % de cyan. Como resultado de la radiación existió un incremento del 10 % en los colores magenta y cyan. Con respecto a los frutos en grado de color 5, el 62,07 % de las pitahayas irradiadas presentó un 99 % de color amarillo, un 40 % de magenta y un 30 % de cyan, mientras que el 56,67 % de los frutos control presentó un 99 % de amarillo, un 20 % de magenta y un 20 % de cyan. En este caso la radiación aumentó el porcentaje de color magenta en un 20 % y el porcentaje de color cyan en un 10 %.

Independientemente del tiempo de almacenamiento, se observó que la radiación

fue la que provocó el oscurecimiento de los frutos, tal como se puede observar en la Tabla 3.6; este hecho se vio reflejado en el incremento de los porcentajes de cian y magenta, en especial este último color, el cual fue reportado en mayor porcentaje en las pitahayas irradiadas y que al mezclarse con el amarillo en proporciones desiguales, dio como resultado la tonalidad anaranjada de los frutos irradiados en este estudio. A medida que el porcentaje de magenta fue mayor, el color naranja oscuro de las pitahayas se vio incrementado.

El mayor cambio de color reportado con respecto a los frutos control, fue el de las pitahayas irradiadas a 500 Gy en grado de color 5 almacenadas hasta 14 días, en las cuales se registró el color más oscuro (café-naranja) de este estudio y consecuentemente, el mayor porcentaje de magenta (40 %). Por otro lado, la mínima diferencia de color entre frutos irradiados y control, se registró en las pitahayas a 500 Gy en grado de color 4 almacenadas hasta 14 días, las cuales, con respecto al color de los frutos control incrementaron únicamente un 10 % de magenta y cian. Con estos resultados se percibió la posibilidad de que a mayor estado de madurez, mayor es el efecto de la radiación en el color de los frutos.

En un estudio con papayas irradiadas a 750 Gy en tres estados de madurez: 0 (10 % amarillo), 1 (20 % amarillo) y 2 (30 % amarillo), almacenadas hasta 14 días a 11 °C más 6 días a 24 °C, se reportó que las papayas a 750 Gy mostraron un color más claro e intenso que aquellas a 0 Gy, por lo que dio la impresión de que el color amarillo se había desarrollado más rápido (Pimentel y Walder, 2004, p. 149).

3.1.3.3 Evaluación de la calidad visual

Se valoró la calidad visual en pitahayas amarillas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy. Los atributos que se evaluaron fueron turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, manchas pardas, daño físico y aparición de manchas rojas, este último atributo fue evaluado debido a los resultados del estudio anterior en el que se observó la aparición de puntos rojos

en la cáscara de la pitahaya como consecuencia de la radiación. La escala adoptada para todos los parámetros a excepción del daño físico y la aparición de manchas rojas, fue de 1 a 5 puntos, donde 1 se le atribuyó a la peor calidad del parámetro evaluado y 5 a la mejor. Para los atributos de daño físico y aparición de manchas rojas se utilizó una escala del 1 a 4, donde 1 implicó una presencia severa de manchas rojas o daño físico y 4 la ausencia de los mismos.

En la Tabla 3.7, se muestran los resultados obtenidos en la valoración de la calidad visual de frutos de pitahaya irradiados a 500 y 0 Gy en grado de color 4 y 5 a lo largo del almacenamiento.

Luego de la irradiación (0 días), las pitahayas de todos los tratamientos se mostraron turgentes y firmes. Al término del primer y segundo periodo de almacenamiento, los tratamientos no presentaron diferencias significativas respecto al grado de color ni a la radiación, por lo que la turgencia se vio influenciada por el tiempo de almacenamiento. A los 14 días, los frutos se mostraron medianamente secos.

La marchitez de los pedúnculos fue discreta inmediatamente después de la irradiación y moderada al término de los 14 días de almacenamiento para todos los tratamientos. Para este atributo existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto al grado de color en el segundo periodo de almacenamiento. A los 14 días, se observó que los frutos de los tratamientos AC y AD fueron los que registraron la menor marchitez, indistintamente de la aplicación de radiación o no. No existió descomposición de los pedúnculos al final del almacenamiento, pero si el ataque de hongos, cuyas hifas eran de color blanco y gris.

Para la presencia de patógenos, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a la radiación ni al grado de color en el segundo periodo de almacenamiento. Al término de los 14 días, los frutos de todos los tratamientos presentaron entre el 10 y 25 % de su superficie infectada, sin importar de si fueron irradiados o no, debido a que la dosis utilizada (500 Gy) no fue la suficiente como para reducir y/o eliminar agentes patógenos.

Para la presencia de manchas pardas, no se reportó la influencia significativa del grado de color ni de la radiación en el segundo periodo de almacenamiento. Al final de los 14 días, todos los frutos presentaron manchas pardas en el 10 y 25 % de su superficie, como parte de su proceso de maduración y senescencia.

Para la aparición de manchas rojas, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a la radiación en el primer y segundo periodo de almacenamiento. A los 14 días, se observó que la aparición de manchas rojas en las pitahayas de los tratamientos AD y BD fue leve, mientras que para los frutos de los tratamientos AC y BC ésta aparición fue media. Por efecto de la radiación existió una mayor aparición de manchas rojas en los frutos tratados a 500 Gy que en aquellos tratados a 0 Gy; aunque también se las pudo observar y de una manera leve en los frutos de control en grado de color 4 y 5. La presencia de este tipo de manchas se hizo más notable en el transcurso del tiempo.

Para el daño físico, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a la radiación y al grado de color a los 0 días después de la irradiación. En este tiempo, las pitahayas de los cuatro tratamientos reportaron una ausencia de daño físico o una aparición leve. El menor daño físico evidenciado fue en los frutos del tratamiento BC y el mayor en las pitahayas del tratamiento AD. No existió diferencia estadísticamente significativa respecto al grado de color ni a la aplicación de radiación en los dos periodos de almacenamiento, por lo que el daño físico se vio influenciado por el tiempo de almacenamiento únicamente. Al término de los 14 días las pitahayas presentaron un daño físico medio.

Tabla 3.7. Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 y 5 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
		AC	BC	AD	BD
Turgencia	0 días a 20 °C ¹	4,82±0,39 a	4,48±0,57 b	4,82±0,39 a	4,83±0,38 a
	7 días a 20 °C ²	4,03±0,68 a	3,87±0,63 a	4,27±0,64 a	4,04±0,72 a
	14 días a 20 °C ³	3,14±0,85 a	3,00±0,80 a	3,53±0,86 a	3,24±0,91 a

Tabla 3.7 Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 y 5 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR (**continuación...**)

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
		AC	BC	AD	BD
Marchitez del pedúnculo	0 días a 20 °C	4,00±0,00 a	4,00±0,00 a	4,11±0,31 a	4,00±0,00 a
	7 días a 20 °C	4,00±0,00 a	3,87±0,35 a	4,00±0,00 a	3,23±0,71b
	14 días a 20 °C	2,78±0,51 a	2,68±0,77 a	2,81±0,40 a	2,18±0,48 b
Presencia de patógenos	0 días a 20 °C	4,93±0,26 a	4,72±0,65 a	4,89±0,31 a	4,93±0,25 a
	7 días a 20 °C	3,86±1,16 a	3,50±1,14 a	4,90±0,31b	4,04±0,66 a
	14 días a 20 °C	2,39±0,83 a	2,21±0,90 a	2,97±1,05 a	2,79±0,82 a
Presencia de manchas pardas	0 días a 20 °C	4,64±0,78 a	4,48±0,63 a	5,00±0,00 b	4,97±0,18 b
	7 días a 20 °C	4,24±1,21 a	3,93±1,05 a	4,43±0,91 a	4,04±1,00 a
	14 días a 20 °C	2,21±0,74 a	2,24±0,87 a	2,07±0,89 a	2,17±0,85 a
Aparición de manchas rojas	0 días a 20 °C	3,93±0,26 a	3,79±0,41 b	4,00±0,00 a	4,00±0,00 a
	7 días a 20 °C	3,07±0,59 a	2,83±0,79 a	3,90±0,31b	3,54±0,51b
	14 días a 20 °C	2,61±0,57 a	2,04±0,69 a	3,53±0,74 b	3,29±0,66 b
Daño físico	0 días a 20 °C	3,36±0,62 a	3,69±0,47 b	3,21±0,57 a	3,40±0,67 a
	7 días a 20 °C	2,66±0,61 a	2,40±0,72 a	2,73±0,54 a	2,50±0,58 a
	14 días a 20 °C	2,00±0,61 a	1,89±0,69 a	2,13±0,88 a	2,07±0,81 a

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

A: Grado de color 4; B: Grado de color 5; C: 500 Gy; D: 0 Gy (frutos control)

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Letras diferentes en los tratamientos AC, BC, AD y BD en la etapa de evaluación señalan que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

Por medio de este estudio se pudo identificar que los puntos o manchas de color rojo oscuro que aparecieron en la corteza de las pitahayas irradiadas a las tres dosis del estudio anterior, son un fenómeno normal que ocurre en todos los frutos de pitahaya, independientemente de si se los irradia o no. Adicionalmente, se observó que la aplicación de radiación gamma contribuyó al incremento de este tipo de manchas, así como el grado de color al cual fueron cosechados, ya que aquellos frutos en grado de color 5 irradiados a 500 y 0 Gy mostraron una mayor aparición de manchas rojas que aquellos en grado de color 4, por lo que este fenómeno de pigmentación a través de puntos rojos en la superficie de las pitahayas podría ser una característica de la maduración de los frutos.

A continuación, en las Tabla 3.8 y 3.9, se presentan las valoraciones finales de la calidad visual de las pitahayas irradiadas en dos grados de color posterior a la irradiación y en los dos periodos de almacenamiento.

Tabla 3.8 Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) durante el almacenamiento para los atributos turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de manchas pardas y patógenos

TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
	AC	BC	AD	BD
0 días a 20 °C ¹	I	I	I	I
7 días a 20 °C ²	I	II	I	II
14 días a 20 °C ³	III	III	III	III

I: 4-5; II: 4-3; III:<3

A: Grado de color 4; B: Grado de color 5; C: 500 Gy; D: 0 Gy (frutos control)

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Tabla 3.9 Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) durante el almacenamiento para los atributos aparición de manchas rojas y daño físico

TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
	AC	BC	AD	BD
0 días a 20 °C ¹	I	I	I	I
7 días a 20 °C ²	II	II	I	I
14 días a 20 °C ³	II	III	II	II

I: 4-3; II: 3-2; III:<2

A: Grado de color 4; B: Grado de color 5; C: 500 Gy; D: 0 Gy (frutos control)

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

En el primer periodo de almacenamiento los frutos de los tratamientos AC y AD obtuvieron Calidad I, para los atributos: turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y manchas pardas, lo que implicó que los frutos en grado

de color 4 no se vieron influenciados por la radiación (AC) ni por el tiempo de almacenamiento (AD) y lograron conservar sus características iniciales y calidad óptima para el consumidor. En cambio, las pitahayas de los tratamientos BC y BD obtuvieron Calidad II, lo que significó que en frutos en grado de color 5, la radiación (BC) y el tiempo de almacenamiento (BD) influyeron en su calidad visual, provocándoles daño y deterioro, pero conservándolos aún con características comerciables y aptas para el consumidor. Por otro lado, para los atributos: aparición de manchas rojas y daño físico, los frutos de los tratamientos AC y BC presentaron Calidad II mientras que los tratamientos AD y BD obtuvieron Calidad I, esto era de esperarse como consecuencia de la radiación en la aparición de manchas rojas en la corteza de los frutos a 500 Gy (AC y BC). De manera general, los frutos de este periodo de almacenamiento presentaron una moderada pérdida de turgencia y resequedad de los pedúnculos, las manchas pardas y patógenos ocuparon entre el 5 y 10 % de la superficie de los frutos y la aparición de manchas rojas y daño físico fueron leves.

En el segundo periodo de almacenamiento y para los atributos: turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y manchas pardas, los frutos de todos los tratamientos obtuvieron Calidad III, lo que significó que las pitahayas no eran comerciables. Los frutos y los pedúnculos se mostraron secos, los patógenos al igual que las manchas pardas ocuparon entre el 10 y 25 % de la superficie de los frutos. El deterioro fue atribuido al efecto significativo del tiempo de almacenamiento en la calidad visual de las pitahayas. Por otro lado, para los atributos: aparición de manchas rojas y daño físico, los frutos obtuvieron Calidad II, a excepción de las pitahayas del tratamiento BC, las cuales calificaron como Calidad III, ya que como se había indicado anteriormente, la radiación y el aumento del grado de color contribuyeron a una mayor aparición de manchas rojas. De manera general, los frutos de pitahaya al término de los 14 días de almacenamiento se ubicaron en la categoría de frutos no comerciables y no aptos para el consumo debido a su deterioro.

En estudios anteriores con pitahaya amarilla, como en el de Paredes (2014), quien estudió pitahayas en grado de color 5 almacenadas en empaques de

polietileno de baja densidad (LPDE) y cloruro de polivinilo (PVC) hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, determinó que la calidad visual de los frutos disminuyó a lo largo del almacenamiento, pero sin perder su valor comercial, ubicándose en la categoría de Calidad II de este estudio (p. 82). Por otro lado, Guerrero (2015) indicó que en pitahayas en grado de color 4 y almacenadas hasta 11 días a 20 °C, la calidad visual presentó deterioro pero se conservaron en condiciones adecuadas para el consumo (p. 81).

El grado de color seleccionado para continuar con la experimentación fue el 4, debido a que las pitahayas irradiadas en este grado de color registraron menores pérdidas de peso que los frutos en grado de color 5. Además, presentaron la menor variación de cyan y magenta tras ser irradiadas, por lo que existió un menor cambio de tonalidad en las cáscaras. Finalmente, la calidad visual de los frutos irradiados en grado de color 4 presentó Calidad I, es decir pitahayas que conservaron las características iniciales de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y manchas pardas, hasta el primer periodo de almacenamiento: 7 días a 20 °C y 80 % HR y Calidad II, que implicó pitahayas aptas para el consumo pero con una aparición media de manchas rojas y daño físico, hasta el segundo periodo de almacenamiento: 14 días a 20 °C y 80 % HR. En el Anexo VIII, se muestran las fotografías de las pitahayas irradiadas a 500 y 0 Gy, en grado de color 4 y 5 almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR.

3.2 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA ENTERA ALMACENADA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA (HR)

Se valoró la calidad de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy, a lo largo del almacenamiento hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR más tres días a 20 °C y 80 % HR para simular el tiempo de vida en estante. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso, firmeza, color, pH,

contenido de SST, acidez titulable y calidad sensorial global del fruto. Los resultados fueron analizados estadísticamente con el programa Statgraphics con un 95 % de confianza. La evaluación de la calidad de los frutos se realizó al inicio (0 días) y después de 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 12 °C más 3 o 5 días a temperatura ambiente (20 °C y 80 % HR); estos tiempos fueron designados como primer, segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente.

3.2.1 PÉRDIDA DE PESO

En este experimento se buscó comparar la pérdida de peso de los frutos de pitahaya irradiados a 500 Gy con frutos a 0 Gy, a los cuales se los denominó frutos control, almacenados bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, para determinar el efecto de la combinación de radiación y refrigeración en la variable pérdida de peso de las pitahayas. En la Figura 3.12, se observa como el porcentaje de pérdida de peso aumenta en todos los frutos a lo largo de los tres periodos de almacenamiento.

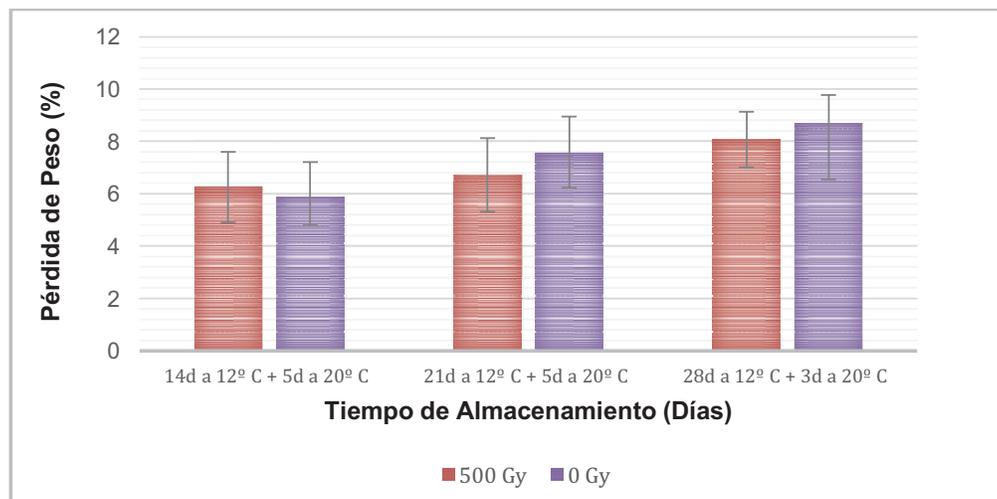


Figura 3.12. Pérdida de peso (%) en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 e irradiados a 500 y 0 Gy almacenados durante 14, 21 y 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR

La única diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a la radiación para la pérdida de peso fue al término del segundo periodo de almacenamiento,

tal como se puede observar en el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.13. La menor pérdida de peso promedio reportada fue de 6,72 % para las pitahayas irradiadas a 500 Gy y la mayor para aquellos tratados 0 Gy con un valor de 7,54 % en promedio.

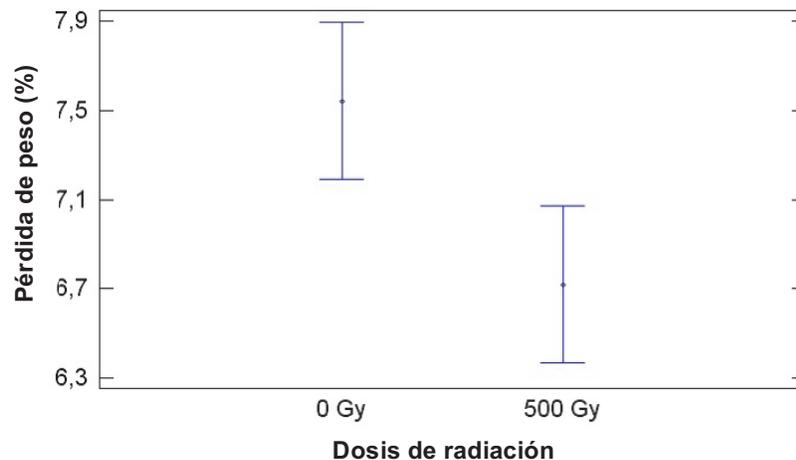


Figura 3.13 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 e irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 21 días a 12 °C y 90 % HR más 5 días a 20 °C y 80 % HR

Luego del primer periodo de almacenamiento se reportaron valores promedios de pérdida de peso de 6,25 % para los frutos irradiados y 5,87 % para los frutos de control. Después del tercer período de almacenamiento se registraron valores promedios de 8,07 % y 8,69 % para las pitahayas irradiadas y de control, respectivamente.

En estos dos periodos no existieron diferencias significativas entre los porcentajes de pérdida de peso de las pitahayas irradiadas y las de control, por lo que esta atributo se vio más influenciado por el tiempo de almacenamiento que por la aplicación o no de rayos gamma.

En la Figura 3.14, se muestra el gráfico de medias e intervalos LSD del factor tiempo de almacenamiento y como a medida de que éste es mayor la pérdida de peso en los frutos también se incrementa.

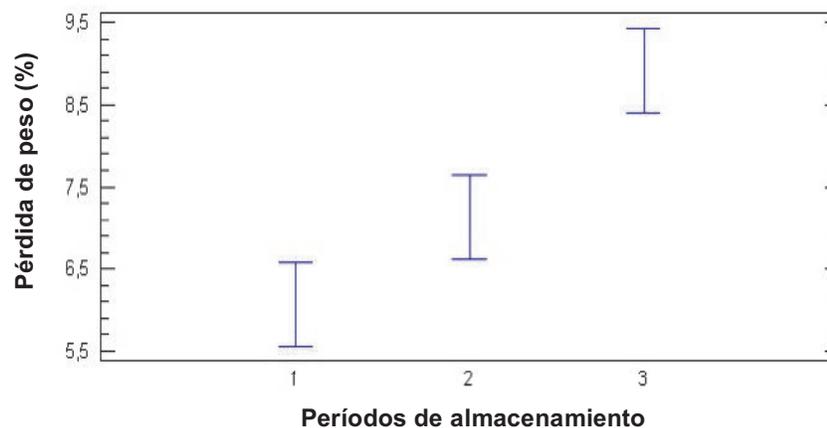


Figura 3.14. Gráfico de medias e intervalos LSD de la variable porcentaje de pérdida de peso de los frutos de pitahaya amarilla en el primer periodo de almacenamiento (1), en el segundo periodo de almacenamiento (2) y en el tercer periodo de almacenamiento (3)

Se observó que hasta el primer periodo de almacenamiento la pérdida de peso en los frutos irradiados fue mayor que en las pitahayas de control aunque sin diferencias significativas; sin embargo, a partir del segundo periodo de almacenamiento esta tendencia se invirtió y los frutos a 500 Gy fueron los que perdieron menor porcentaje de peso hasta el final del almacenamiento. Este comportamiento reflejó posiblemente uno de los efectos de la radiación, la cual pudo haber provocado que los procesos fisiológicos de las pitahayas se aceleren inmediatamente después ser irradiadas y continúen hasta los 14 días, tiempo a partir del cual los frutos prosiguieron con su proceso normal de maduración pero a una velocidad más lenta respecto a los frutos control.

El uso de condiciones de refrigeración (12 °C y 90 % HR) para el almacenamiento de las pitahayas, desempeñó un papel fundamental en la pérdida de peso de los frutos. Al disminuir la temperatura de almacenamiento y aumentar la humedad relativa, se buscó disminuir el gradiente de temperatura y humedad entre la atmósfera interna del fruto y la externa del ambiente que lo rodea, para que así exista una menor transpiración y consecuentemente una menor pérdida de peso (Siddiq, 2012, p. 26). Es así que a diferencia del estudio anterior, en el que se almacenó pitahayas a temperatura ambiente (20 °C y 80 % HR) hasta 14 días, en este experimento se registraron valores cercanos e inclusive menores de pérdida de peso al término del tercer periodo de almacenamiento.

En tomates de árbol del cultivar “anaranjado gigante” irradiados a 500 Gy con rayos gamma y almacenados hasta 60 días a 5 °C y 90 % HR más 7 días a 20 °C, se reportó una pérdida de peso de alrededor de 5,65 % (Abad, 2014, p. 73). Por otro lado, pitahayas rojas (*Hylocereus undatus*) irradiadas a 600 y 800 Gy con rayos X y almacenadas hasta 12 días a 10 °C, reportaron al final del almacenamiento pérdidas de peso ligeramente mayores que los frutos control, con valores cerca del 1,5 % (Wall y Khan, 2008, p. 2118).

En un estudio con pitahayas amarillas en grado de color 4, de calibre 14 (151 - 200 g), sin irradiar y almacenadas hasta 20 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, Guerrero (2015) reportó una pérdida de peso de los frutos de alrededor de 7,6 % al término del almacenamiento (p. 84).

Respecto a los estudios antes mencionados, las pitahayas de este experimento registraron mayores pérdidas de peso, tanto las irradiadas como las de control. La principal razón pudo haber sido la elevada relación área superficial/volumen del fruto como resultado del tamaño de las pitahayas, ya que éstas fueron caracterizadas en su mayoría como calibre 16, el cual hace referencia a pitahayas de tamaño pequeño (111 – 150 g) (NTE-INEN-025, 2005, p. 6). El coeficiente área/volumen es mayor en frutos pequeños que en aquellos grandes, por lo que los primeros son más susceptibles a elevadas pérdidas por evaporación y consecuentemente pérdidas de peso (FAO, 2013, p. 1).

3.2.2 FIRMEZA

Los resultados de firmeza de los frutos de pitahaya amarilla lo largo del almacenamiento bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, se presentan a continuación en la Figura 3.15.

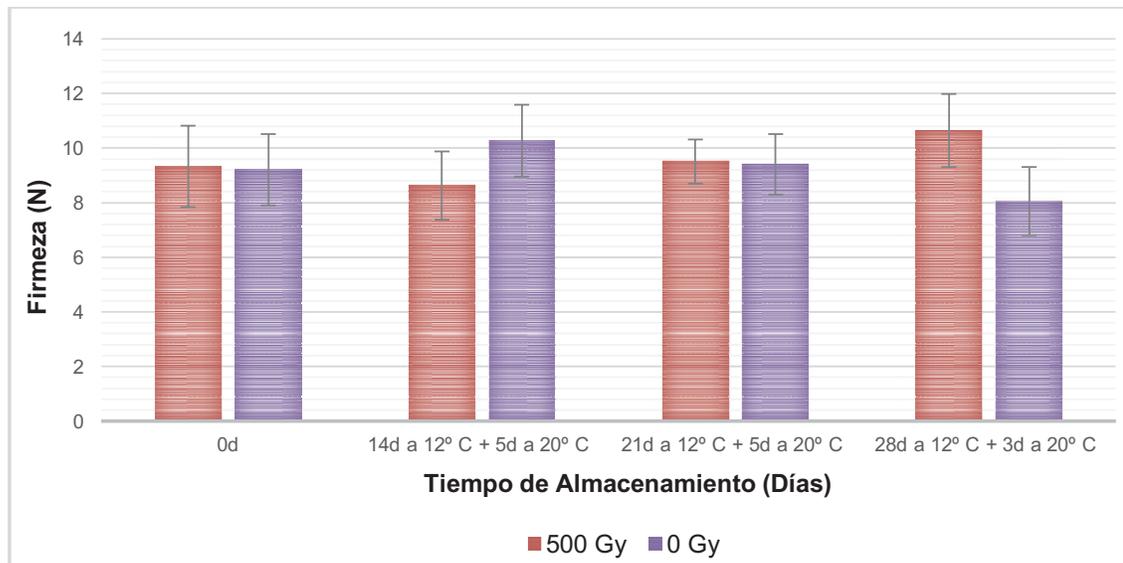


Figura 3.15. Firmeza (N) de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada durante 14, 21 y 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR

A los 0 días después de la aplicación de radiación, no existieron diferencias significativas entre la firmeza de las pitahayas irradiadas y las de control, el primer grupo de frutos reportó un valor promedio de 9,33 N, mientras que el segundo obtuvo 9,21 N de firmeza promedio.

Luego del segundo periodo de almacenamiento, si se reportaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre la firmeza de los frutos irradiados y los de control. Las pitahayas irradiadas se presentaron menos firmes con un valor promedio de 8,63 N, mientras que para los frutos control se reportó 10,27 N.

Después del segundo periodo de almacenamiento, no existieron diferencias significativas entre los valores de firmeza. Luego del tercer periodo de almacenamiento, si existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre la firmeza de los frutos irradiados y de control, los primeros reportaron el valor de firmeza más alto de este estudio que en promedio fue de 10,64 N, mientras que los frutos control reportaron un valor promedio de 8,05 N.

Después del primer periodo de almacenamiento, la firmeza de los frutos irradiados fue menor que los frutos control, pero aumentó con el tiempo de almacenamiento

hasta llegar a ser significativamente mayor al término del tercer periodo de almacenamiento. Este comportamiento se contradijo con la pérdida de peso registrada por los frutos a 500 Gy, ya que éstos al perder menor porcentaje de peso después del segundo periodo de almacenamiento, debían reportar una menor firmeza que los frutos control, por la cantidad de agua conservada; sin embargo, este hecho no sucedió y a menor pérdida de peso existió una mayor firmeza por parte de las pitahayas irradiadas, por lo que esta conducta se le atribuye exclusivamente a los efectos de la radiación.

El tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en la firmeza de las pitahayas irradiadas a 500 y 0 Gy.

La aplicación de rayos gamma posiblemente retardó la actividad de algunas enzimas, como la poligalacturonasa, la beta – galactosidasa y la pectina metilesterasa, encargadas de la solubilización de pectinas que conforman la pared celular de los frutos y que son las encargadas de mantenerlos firmes a lo largo del proceso de maduración (Pimentel y Walder, 2004, p. 149).

En un estudio llevado a cabo con papayas irradiadas a 750 Gy en tres estados de madurez: 0 (10 % amarillo), 1 (20 % amarillo) y 2 (30 % amarillo), almacenadas hasta 14 días a 11 °C más 6 días a 24 °C, se observó que la firmeza mantuvo la misma tendencia que en este experimento, ya que las papayas irradiadas en los tres grados de madurez presentaron una mayor firmeza a lo largo del almacenamiento respecto a las papayas control (Pimentel y Walder, 2004, 148).

3.2.3 COLOR

A continuación en la Tabla 3.10, se observan las coordenadas del color de las pitahayas irradiadas a 500 y 0 Gy que en promedio adquirieron a lo largo del almacenamiento bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa.

Tabla 3.10. Coordenadas del color de las pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 días a 20 °C y 80 % HR

0 DIAS			
500 Gy	Coordenadas	0 Gy	Coordenadas
	Y99,M10,C30		Y99,M10,C30
PRIMER PERIODO DE ALMACENAMIENTO ¹			
500 Gy	Coordenadas	0 Gy	Coordenadas
	Y99,M10,C20		Y99,M10,C20
SEGUNDO PERIODO DE ALMACENAMIENTO ²			
500 Gy	Coordenadas	0 Gy	Coordenadas
	Y99,M20,C10		Y99,M20,C10
TERCER PERIODO DE ALMACENAMIENTO ³			
500 Gy	Coordenadas	0 Gy	Coordenadas
	Y99,M20,C00		Y99,M20,C20

1: 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C

2: 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C

3: 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C

Como se puede observar en la Tabla 3.10, no existió diferencia entre el color de las pitahayas a 500 Gy y los frutos a 0 Gy, las condiciones de almacenamiento (12 °C y 90 % HR) ayudó de manera significativa a retardar los cambios de color detectados anteriormente como consecuencia de la radiación. El tiempo de almacenamiento fue el único factor que influyó de manera importante en el cambio de color de las cortezas de las pitahayas tanto irradiadas como de control.

A los 0 días después de la irradiación el 80 % de frutos irradiados y el 50 % de los frutos control, presentaron un 99 % de amarillo, un 10 % de magenta y un 30 % de cyan. Luego del primer periodo de almacenamiento, el 46,67 % de las pitahayas irradiadas a 500 Gy y el 43,33 % de los frutos tratados a 0 Gy, reportaron un 99 % de amarillo, un 10 % de magenta y un 20 % de cyan. Los frutos en este periodo difirieron del color de los anteriores por su disminución de cyan en un 10 %, lo que implicó la pérdida de los matices verdes característicos de las pitahayas en grado de color 4.

Después del segundo periodo de almacenamiento, el 43,33 % de los frutos

irradiados y el 40 % de pitahayas control, presentaron un 99 % de amarillo, un 20 % de magenta y un 10 % de cyan, estos frutos respecto a los anteriores difirieron con un aumento de magenta y disminución de cyan en un 10 % para los dos colores, por lo que existió la desaparición de matices verdes y la aparición de la tonalidad naranja en las cáscaras de las pitahayas.

Finalmente al término del almacenamiento, el 53,33 % de las pitahayas irradiadas a 500 Gy presentaron un 99 % de amarillo, un 20 % de magenta y un 0 % de cyan, mientras que el 56,67 % de los frutos tratados a 0 Gy, reportaron un 99 % de amarillo y un 20 % de magenta y cyan. En este caso, los frutos control fueron los que presentaron una tonalidad naranja más oscura que los irradiados, esta tonalidad fue un indicador del proceso de maduración de los frutos a lo largo del almacenamiento. La combinación de radiación y refrigeración retardó el desarrollo de pigmentos oscuros en las cáscaras de pitahayas irradiadas, por lo que no se pudo observar en este estudio el color anaranjado característico que apareció en los frutos de los experimentos anteriores, como consecuencia únicamente de la aplicación de rayos gamma.

Pimentel y Walder (2014) indicaron que en papayas irradiadas a 750 Gy en tres estados de madurez almacenadas hasta 14 días a 11 °C más 6 días a 24 °C, se reportó una maduración normal con respecto al color y al contrario de este estudio con pitahayas, la combinación de refrigeración y radiación no retardó el desarrollo del color en los frutos irradiados (p. 149).

3.2.4 ANÁLISIS QUÍMICOS

Para las pitahayas irradiadas, el valor de pH reportado a los 0 días después de la irradiación fue de $4,79 \pm 0,04$, mientras que para el primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento fue de $4,99 \pm 0,05$. Para las pitahayas de control, el pH reportado a los 0 días luego de la irradiación fue de $4,75 \pm 0,05$ y $5,01 \pm 0,07$ para el primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento. No se reportaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de pH de los frutos

irradiados y los de control tanto posterior a la irradiación como durante el almacenamiento; sin embargo, el tiempo si influyó significativamente ($p < 0,05$) en el pH de todos los frutos, tal como se puede observar en la Figura 3.16.

El pH de los frutos aumentó en alrededor del 5 % durante el almacenamiento, como consecuencia de la maduración de las pitahayas, etapa en la cual el pH de los frutos se incrementa debido a la disminución del contenido de ácidos orgánicos, los cuales son utilizados como sustratos en la respiración (Tosun, Ustun y Tekguler, 2008, p. 89). Los valores de pH reportados en este estudio fueron comparables con los obtenidos por Guerrero (2015), quien reportó valores de pH entre 4,4 y 4,6 para pitahaya amarilla en grado de color 4 y sin irradiar, almacenada hasta 20 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (p. 87).

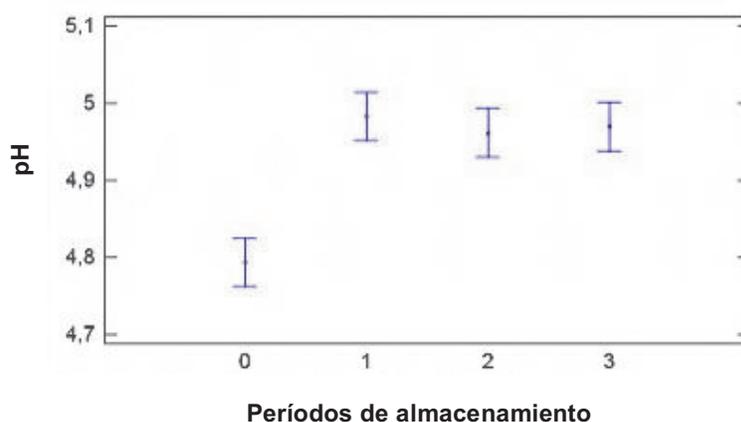


Figura 3.16 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis para el pH de los frutos de pitahaya irradiados a 500 y 0 Gy en el primer periodo de almacenamiento (M), en el segundo periodo de almacenamiento (N) y en el tercer periodo de almacenamiento (O)

Para el contenido de SST no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las pitahayas irradiadas y de control tanto posterior a la irradiación como durante el almacenamiento. Inmediatamente de la irradiación se reportaron valores promedios de 15,70 y 15,37 para los frutos a 500 y 0 Gy, respectivamente. Para las pitahayas irradiadas, el contenido de SST disminuyó a lo largo del almacenamiento en alrededor del 1,40 %. El valor obtenido después del primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento fue de $15,48 \pm 0,50$. Para los frutos de control, existió una disminución del contenido de SST luego del

primer periodo de almacenamiento en alrededor del 3,25 % respecto al valor inicial; sin embargo, después del segundo periodo de almacenamiento los SST incrementaron en un 1,30 % y se mantuvieron constantes en este valor hasta el final del tercer periodo. El valor de SST reportado para estas tres etapas de almacenamiento fue de $15,21 \pm 0,71$. El tiempo de almacenamiento no influyó significativamente en los valores de SST de este estudio.

El incremento del contenido de SST en los frutos a lo largo del almacenamiento es considerado como un proceso normal dentro de la maduración de los frutos, como resultado de la hidrólisis de polisacáridos, como el almidón y las pectinas que son parte de la pared celular, dando lugar a la acumulación de azúcares, como la glucosa, fructosa y sacarosa, incrementando así el contenido de SST (Torres, Montes, Pérez y Andrade, 2013, p. 54). Este comportamiento se vio reflejado en las pitahayas de control, mientras que en las irradiadas sucedió el efecto contrario. La disminución del contenido de SST en este grupo de frutos pudo haber estado relacionado con la pérdida de peso, la cual fue menor respecto a las pitahayas de control.

Los valores de SST obtenidos en este estudio se encontraron dentro del rango de SST reportado por Guerrero (2015), el cual abarcó valores entre 15,20 y 17,70 ° Brix para pitahaya amarilla en grado de color 4 y sin irradiar, almacenada hasta 20 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (p. 87).

No existió diferencias estadísticamente significativas para la acidez titulable entre las pitahayas irradiadas y de control durante todos los periodos de almacenamiento y posterior a la irradiación. El valor reportado de acidez titulable para todos los frutos de pitahaya fue de $0,09 \pm 0,01$ g/100 g de ácido cítrico a lo largo de todo el almacenamiento.

No se registraron incrementos de la acidez titulable como se esperaba por efecto del proceso de la maduración de los frutos. Los valores obtenidos en este estudio se ubicaron dentro del rango reportado por Guerrero (2015), el cual varió entre 0,07 y 0,14 g/100 g de ácido cítrico (p. 87).

3.2.5 CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

3.2.5.1 Evaluación de la calidad visual

Se valoró la calidad visual en pitahayas amarillas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy. Los atributos que se evaluaron fueron turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, manchas pardas, aparición de manchas rojas y daño físico con las mismas escalas indicadas anteriormente. En la Tabla 3.11, se muestran los resultados obtenidos en la valoración de la calidad visual de los frutos irradiados de pitahaya amarilla a lo largo del almacenamiento.

Para el parámetro de turgencia, existió diferencia significativa ($p < 0,05$) respecto a la aplicación de radiación, tanto a los 0 días como en los tres periodos de almacenamiento. Los frutos irradiados a 500 Gy fueron los que obtuvieron las puntuaciones más altas de turgencia durante todo este estudio, por lo tanto se mostraron más frescos y firmes que aquellos tratados a 0 Gy, esto posiblemente debido a que las pitahayas irradiadas fueron las que registraron la menor pérdida de peso en esta investigación así como los valores más altos de firmeza. Al final del tercer periodo de almacenamiento, las pitahayas irradiadas se presentaron medianamente secas, mientras que los frutos control se mostraron secos.

A los 0 días la marchitez de todos los pedúnculos fue discreta y al igual que en el primer y segundo periodo de almacenamiento no existieron diferencias significativas entre la marchitez de los pedúnculos de los frutos irradiados y los de control. La aplicación de radiación influyó de manera significativa ($p < 0,05$) únicamente al término del tercer periodo de almacenamiento, tal como se observa en el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.17, en el cual se muestra como al final del almacenamiento la marchitez de los pedúnculos de los frutos irradiados es menor que la marchitez de aquellos tratados a 0 Gy. El incremento de la marchitez de los pedúnculos coincidió con la pérdida de peso de los frutos a lo largo del tiempo.

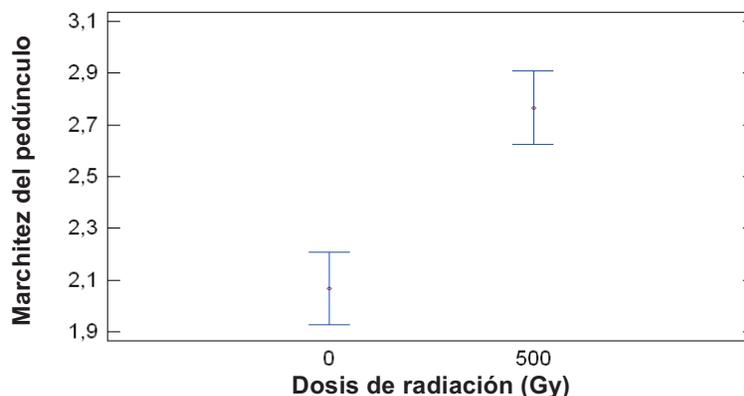


Figura 3.17. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la marchitez de los pedúnculos de frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C

Para la presencia de patógenos, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a la aplicación de radiación únicamente a los 0 días, tiempo al cual los frutos irradiados estuvieron libres de microorganismos, mientras que los frutos de control reportaron entre el 0 y 5 % de su superficie infectada. Con el paso del tiempo la presencia de patógenos en la superficie de los frutos aumentó, hasta llegar a valores del 10 % al término del almacenamiento. El crecimiento de patógenos se desarrolló especialmente en el almacenamiento a temperatura ambiente (20 °C) debido a que temperaturas cálidas favorecen a una mayor proliferación de agentes microbianos, tales como hongos y bacterias, en especial el hongo *Fusarium* sp., el cual es uno de los principales patógenos que ataca a los frutos de pitahaya (Brennan y Grandison, 2013, p. 10; Guerrero, 2015, p. 81).

Se ha identificado que los posibles patógenos que atacan a las pitahayas amarillas de mayor a menor incidencia son los siguientes hongos: *Bipolaris* sp., *Alternaria* sp., *Rhizopus* sp., *Fusarium* sp. y *Cladosporium* sp. (Guerrero, 2015, p. 81). La dosis de radiación gamma requerida para inactivar a *Rhizopus* sp. se encontró que es de 1 kGy, mientras que para reducir significativamente la población de *Fusarium* sp se necesitan dosis de 3 kGy. De manera general, para reducir una población representativa de hongos en productos hortofrutícolas frescos se requieren dosis ≥ 5 kGy, por lo que si se busca que la radiación sea efectiva, se debe combinar con otros tratamientos, como la inmersión en agua

caliente o el uso de recubrimientos comestibles (Calado, Venâncio y Abrunhosa, 2014, pp. 1056 - 1058).

Con la información antes detallada se explica el porque la radiación no influyó significativamente en la presencia de patógenos a lo largo del almacenamiento, ya que tanto los frutos irradiados como los de control presentaron alrededor del 10 % de su superficie infectada. Por motivo de la baja dosis de radiación utilizada en este estudio (500 Gy) no se podía esperar una importante reducción de la carga microbiana ni mucho menos la inactivación de agentes patógenos presentes en frutos de pitahaya amarilla.

En el estudio que Guerrero (2015) realizó con pitahayas amarillas en grado de color 4 sin irradiar y almacenadas hasta 20 días a 12 °C, se reportó que el 13 % de los frutos presentaron más del 60 % de su superficie infectada por hongos y un 33 % de pitahayas mostraron hasta un 60 % de patógenos en la corteza (p. 80). En otro experimento con pitahayas rojas (*Hylocereus undatus*) irradiadas a 600 y 800 Gy con rayos X y almacenadas hasta 12 días a 10 °C, se obtuvo una presencia de patógenos de entre el 5 y 10 % en la mayoría de los frutos (Wall y Khan, 2008, p, 2117). En esta investigación la superficie infectada por patógenos fue de hasta el 10 %, por lo que adicional a la irradiación, influyó también el buen manejo de los frutos en la cosecha, su lavado, transporte y adecuada desinfección, lo que permitió reducir la carga microbiana desde un inicio.

A los 0 días posterior a la irradiación, los frutos de pitahaya se mostraron exentos de manchas pardas, tanto los irradiados como los de control. En el primer y tercer periodo de almacenamiento existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a la aplicación de radiación para este atributo. A los 19 días de almacenamiento, las pitahayas irradiadas reportaron manchas pardas en un área menor al 5 %, mientras que los frutos control en un área de hasta el 10 %. En el segundo periodo de almacenamiento, la radiación no influyó significativamente en la aparición de manchas pardas, por lo que las pitahayas irradiadas y las de control presentaron este tipo de manchas en hasta el 25 % de su superficie. Luego del tercer periodo de almacenamiento, la aplicación de radiación contribuyó

para que los frutos irradiados sean los que presenten menor área afectada (5 - 10 %) que los frutos control (10 - 25 %), como observa en la Figura 3.18, en la cual se aprecia como los frutos irradiados a 500 Gy obtienen puntuaciones más altas respecto a los frutos tratados a 0 Gy, debido a la menor cantidad de manchas pardas que presentan.

Las manchas pardas que aparecieron en los frutos de este experimento son una secuela del daño por frío, el cual sufrieron las pitahayas al haber estado almacenadas bajo temperaturas de refrigeración (Paredes, 2014, p. 63), por lo que se podría decir que a mayor tiempo de almacenamiento, mayor es el incremento de manchas pardas en la superficie de los frutos. La radiación probablemente disminuyó el efecto del frío en la membrana celular, la cual una vez afectada puede provocar coloraciones externas e internas, hundimientos y aparición de zonas acuosas en la corteza de los alimentos (Siddiq, 2012, p. 26).

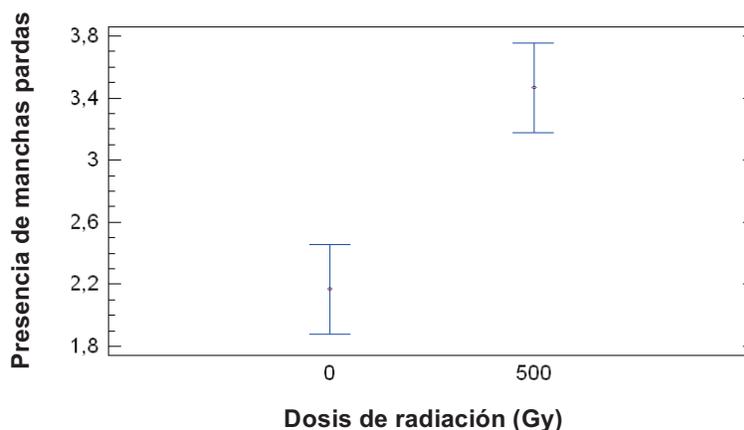


Figura 3.18. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la presencia de manchas pardas en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C

A los 0 días después de la irradiación, no se reportó la aparición de manchas rojas en la superficie de las pitahayas irradiadas ni de control. Luego del primer periodo de almacenamiento la radiación no influyó de manera importante, por lo que existió una aparición leve de manchas rojas en todas las pitahayas. En el segundo y tercer periodo de almacenamiento si existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto a la radiación para este atributo

visual, de modo que existió una aparición media en los frutos irradiados y una aparición leve de manchas rojas en los frutos de control, esta tendencia se mantuvo constante hasta los 31 días de almacenamiento. En la Figura 3.19, se muestra la diferencia entre las puntuaciones de los frutos irradiados y de control respecto a la aparición de manchas rojas al término del almacenamiento.

Como ya se había descrito en los experimentos anteriores a este estudio, las manchas rojas que aparecieron como puntos de color rojo oscuro en la superficie de los frutos, fueron una posible característica de la maduración de las pitahayas, ya que fueron mucho más notorias en frutos en grado de color 5 que en aquellos en grado de color 4 y aparecieron en todas las pitahayas sin importar el tratamiento que se les haya aplicado. En este experimento al igual que en los anteriores, la radiación gamma aumentó la aparición de este tipo de puntos, siendo los frutos irradiados los que mayor cantidad presentaron. Finalmente, el almacenamiento bajo condiciones de refrigeración no disminuyó el efecto de la radiación en la aparición de estas manchas.

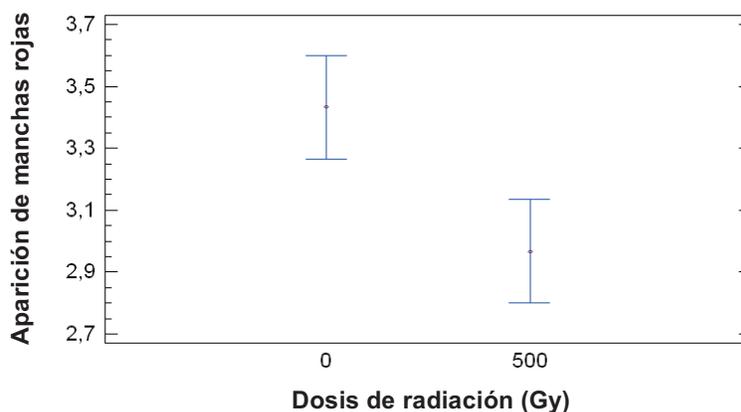


Figura 3.19. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para la aparición de manchas rojas en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C

A los 0 días después de la irradiación, los frutos de pitahaya a 500 y 0 Gy no presentaron diferencias significativas respecto a la radiación para el daño físico y presentaron un deterioro físico leve, como pequeños cortes y lesiones. En cambio, en el primer, segundo y tercer periodo de almacenamiento si existieron

diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los valores de daño físico para los frutos irradiados y los de control. El primer grupo de frutos fue el que reflejó los menores daños mecánicos, mientras que el segundo fue el que se mostró más afectado.

El daño físico visualizado en las pitahayas a 500 Gy, fue calificado como medio y se mantuvo constante desde el primer periodo de almacenamiento hasta el último, mientras que para los frutos a 0 Gy fue leve al inicio y severo durante los tres periodos de almacenamiento. En la Figura 3.20, se aprecia la influencia de la radiación en las valoraciones de daño físico tanto en las pitahayas irradiadas como en las de control.

El daño físico más importante que se observó en los frutos a 0 Gy, fue la aparición de puntos de color rojo claro, tipo manchas alrededor de toda la superficie y en algunas ocasiones también en la corteza. Estas manchas rojas fueron ocasionadas por las espinas de las propias pitahayas, las cuales se incrustaron en el mismo fruto o en otro al momento de la cosecha, del lavado y desinfección, provocando así lesiones en la superficie y/o corteza de los frutos. Estas manchas fueron evidenciadas únicamente con el paso del tiempo. El uso combinado de radiación y refrigeración permitió que no se desarrollen este tipo de manchas rojas por daño físico en los frutos irradiados a 500 Gy. La radiación impidió el desarrollo de procesos bioquímicos, que muchas veces resultan en la pigmentación de tejidos tras daños mecánicos, deteriorando así la calidad de los productos hortofrutícolas y disminuyendo su tiempo de vida útil (Brennan y Grandison, 2013, p. 171).

En la Figura 3.21, se muestra la fotografía de una pitahaya irradiada a 500 Gy y otra a 0 Gy almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, y como el primer fruto no presenta manchas rojas, las cuales son consideradas como el principal y característico daño físico en todos los frutos de pitahaya a causa de sus espinas.

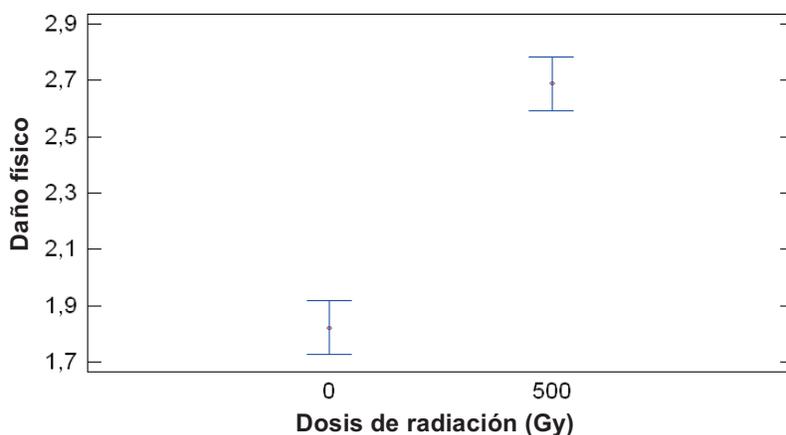


Figura 3.20. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación para el daño físico en frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C



Figura 3.21. Pitahaya irradiada a 500 Gy (izq.) y pitahaya de control (der.) almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C

Tabla 3.11. Valoración de la calidad visual global de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy y almacenada hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 días a 20 °C y 80 % HR

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)	
		500	0
Turgencia	0 días	4,97 ± 0,18 a	4,57 ± 0,51 b
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ¹	4,47 ± 0,51 a	4,00 ± 0,00 b
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ²	3,37 ± 0,49 a	2,93 ± 0,45 b
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C ³	3,80 ± 0,66 a	2,17 ± 0,65 b

Tabla 3.11. Valoración de la calidad visual global de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy y almacenada hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 días a 20 °C y 80 % HR (**continuación...**)

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)	
		500	0
Marchitez del Pedúnculo	0 días	4,00 ± 0,00 a	4,00 ± 0,00 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	3,23 ± 0,43 a	3,10 ± 0,37 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	2,60 ± 0,56 a	2,33 ± 0,71 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	2,77 ± 0,50 a	2,07 ± 0,52 b
% Patógenos	0 días	5,00 ± 0,00 a	4,83 ± 0,38 b
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	4,47 ± 0,57 a	4,47 ± 0,63 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	3,83 ± 1,05 a	3,77 ± 1,22 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	3,57 ± 0,86 a	3,20 ± 1,09 a
% Manchas Pardas	0 días	5,00 ± 0,00 a	5,00 ± 0,00 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	4,13 ± 0,73 a	3,13 ± 1,31 b
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	3,10 ± 1,32 a	2,67 ± 1,49 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	3,47 ± 1,07 a	2,17 ± 1,11 b
Aparición de Manchas Rojas	0 días	4,00 ± 0,00 a	4,00 ± 0,00 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	3,23 ± 0,57 a	3,53 ± 0,51 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	2,60 ± 0,89 a	3,63 ± 0,49 b
	28 d a 12 °C + 3d a 20 °C	2,97 ± 0,76 a	3,43 ± 0,50 b
Daño Físico	0 días	3,60 ± 0,56 a	3,40 ± 0,56 a
	14d a 12 °C + 5d a 20 °C	2,77 ± 0,63 a	1,80 ± 0,58 b
	21 d a 12 °C + 5d a 20 °C	2,57 ± 0,57 a	1,97 ± 0,72 b
	28 d a 12 °C + 3d a 20 °C	2,73 ± 0,64 a	1,70 ± 0,67 b

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

1: primer periodo de almacenamiento

2: segundo periodo de almacenamiento

3: tercer periodo de almacenamiento

Letras diferentes en la etapa de evaluación denotan que existe diferencia significativa

(p < 0.05) en los tratamientos con radiación a 500 y 0 Gy

A continuación, en las Tablas 3.12 y 3.13, se presentan las valoraciones finales de la calidad visual de las pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy a lo largo de tres periodos de almacenamiento y posterior a la irradiación.

Tabla 3.12. Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) durante el almacenamiento para los atributos de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de manchas pardas y patógenos

TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)	
	500	0
0 días	I	I
14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ¹	I	II
21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ²	II	III
28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C ³	II	III

I: 4-5; II: 3-4; III:<3

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Tabla 3.13. Índice de la calidad visual de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) durante el almacenamiento para los atributos de aparición de manchas rojas y daño físico

TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)	
	500	0
0 días	I	I
14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ¹	I	II
21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ²	II	II
28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C ³	II	II

I: 3-4; II: 2-3; III:<2

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Inmediatamente después de la irradiación

2: Primer periodo de almacenamiento

3: Segundo periodo de almacenamiento

Después del proceso de irradiación, todos los frutos de los tratamientos presentaron Calidad I, es decir las pitahayas se mostraron frescas, la marchitez de los pedúnculos fue discreta, no existió presencia de patógenos ni manchas pardas, a excepción de los frutos control que si reportaron agentes patógenos en menos del 5 % de su superficie; además, no se observó la aparición de manchas rojas y los daños físicos observados fueron leves.

En el primer periodo de almacenamiento las pitahayas a 500 Gy presentaron Calidad I respecto a todos los atributos evaluados, en otras palabras la aplicación de radiación y el tiempo de almacenamiento no deterioraron la calidad de los frutos y se lograron conservar con sus características iniciales. Las pitahayas irradiadas se mostraron turgentes, con sus pedúnculos moderadamente secos, con una presencia de patógenos y manchas pardas de hasta el 5 % y con una aparición de manchas rojas y daños físicos leves. En cambio, los frutos a 0 Gy, obtuvieron Calidad II, debido a que las pitahayas se manifestaron ligeramente secas, con sus pedúnculos moderadamente secos, con una presencia de patógenos de hasta el 5 %, con manchas pardas del 5 al 10 %, con una aparición leve de manchas rojas y un daño físico severo. A pesar del deterioro de los frutos a 0 Gy, éstos conservaron las condiciones apropiadas para su consumo.

Luego del segundo periodo de almacenamiento, las pitahayas a 500 Gy obtuvieron Calidad II para todos sus atributos, este grupo de frutos se caracterizó por mostrar una apariencia medianamente seca, unos pedúnculos con marchitez moderada, una presencia de patógenos de hasta el 5 %, manchas pardas entre el 5 y 10 % y una aparición de manchas rojas y daños físicos leves. Por otro lado, los frutos a 0 Gy obtuvieron Calidad III para los atributos de: turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y manchas pardas, es decir que las pitahayas se mostraron medianamente secas, con unos pedúnculos severamente marchitos, con una presencia de patógenos de entre el 5 y 10 % y manchas pardas del 10 al 25 %; en cambio, para los atributos: aparición de manchas rojas y daño físico presentaron Calidad II, ya que las manchas rojas fueron leves y el daño físico severo. En este caso los frutos a 0 Gy no cumplieron con los requisitos de calidad para ser considerados como comerciales.

Al final del almacenamiento, los frutos irradiados presentaron Calidad II para todos sus parámetros visuales evaluados, por lo que se mostraron en las mismas condiciones que luego del segundo periodo de almacenamiento. De la misma manera sucedió para los frutos a 0 Gy, los cuales obtuvieron Calidad III para los atributos de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de manchas pardas y patógenos y Calidad II, para los atributos de aparición de manchas rojas y daño

físico. Por lo tanto, las pitahayas irradiadas fueron consideradas aptas para el consumo a pesar de su deterioro, mientras que los frutos de control fueron rechazados para su comercialización debido a su bajo índice de calidad visual.

La razón del porque las pitahayas irradiadas y de control presentaron los mismos índices de calidad visual que los frutos en el segundo periodo de almacenamiento, fue la disminución del tiempo de vida en estante, ya que de 5 días, que fue el valor inicial para el primer y segundo periodo de almacenamiento, pasaron a ser 3 días para el tercer periodo de almacenamiento. Este reajuste de días se lo realizó con la intención de evitar un severo deterioro en la calidad de los frutos, ya que como se había mencionado anteriormente los efectos fueron más notorios en el almacenamiento a temperatura ambiente (20 °C y 80 % HR), por lo que se buscó aumentar el tiempo de vida útil del fruto reduciendo su tiempo de vida en estante.

Debido a que las pitahayas en grado de color 4 irradiadas con rayos gamma a 500 Gy conservaron Calidad II hasta el final del almacenamiento para todos sus atributos visuales, se pudo estimar que su tiempo de vida útil fue de 28 días a 12 °C y 90 % HR más un tiempo de vida en estante de 3 días a 20 °C y 80 % HR. Las pitahayas de control, en cambio, presentaron un tiempo de vida útil menor, el cual fue de 14 días a 12 °C y 90 % HR más 5 días a 20 °C y 80 % HR, ya que a partir de este periodo obtuvieron Calidad III para la mayoría de sus atributos y por lo tanto no fueron consideradas como aptas para su comercialización.

En el estudio realizado por Rodríguez et al. (2005) con pitahayas en grado de color 5, se indicó que a 8 °C el fruto alcanzó 15 días de vida útil, tiempo después del cual se evidenciaron severos daños por frío (p. 2841). Por otra parte, Guerrero (2015) señaló que pitahayas en grado de color 4 almacenadas a 12 °C más 5 días a 20 °C alcanzaron un tiempo de vida útil de 19 días con Calidad II (p. 97). En esta investigación la combinación de refrigeración y radiación gamma extendió el tiempo de vida útil de la pitahaya amarilla en grado de color 4 hasta 31 días, 15 días más que los estudios anteriormente citados. En el Anexo IX, se muestran las fotografías de los frutos en grado de color 4 irradiados a 500 y 0 Gy, almacenados hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR más 3 días a 20 °C y 80 % HR.

3.2.5.2 Análisis sensorial

El análisis sensorial de los frutos de pitahaya se realizó mediante una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas. Para la preparación de las muestras se utilizaron 5 pitahayas seleccionadas al azar de cada tratamiento, se les retiró la cáscara y cortó en rodajas de 1 cm aproximadamente, cada panelista recibió dos rodajas en una fuente desechable etiquetada con 3 números al azar. A continuación, en la Tabla 3.14, se muestran los resultados del análisis sensorial de pitahaya amarilla entera, tanto posterior a la irradiación como a lo largo de los tres periodos de almacenamiento.

Tabla 3.14. Análisis sensorial de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de color 4 irradiada a 500 y 0 Gy almacenada hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	DOSIS (Gy)	
		500	0
Aroma	0 días	5,47 ± 2,45 a	6,25 ± 2,28 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ¹	6,30 ± 1,55 a	6,25 ± 1,52 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C ²	5,21 ± 1,91 a	4,24 ± 1,71 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C ³	5,38 ± 1,45 a	5,31 ± 1,67 a
Apariencia	0 días	7,48 ± 2,35 a	7,58 ± 2,67 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	7,73 ± 1,71 a	7,44 ± 1,95 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	6,50 ± 2,08 a	6,28 ± 2,45 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	7,07 ± 2,47 a	7,42 ± 2,11 a
Dulzor	0 días	5,95 ± 2,74 a	6,65 ± 2,01 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	6,83 ± 1,50 a	6,08 ± 2,05 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	5,95 ± 1,69 a	5,54 ± 2,11 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	6,16 ± 1,56 a	5,90 ± 1,40 a
Sabores extraños	0 días	1,66 ± 2,35 a	1,37 ± 1,90 a
	14 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	0,56 ± 0,40 a	0,65 ± 0,76 a
	21 días a 12 °C + 5 días a 20 °C	1,26 ± 1,54 a	2,28 ± 2,85 a
	28 días a 12 °C + 3 días a 20 °C	0,68 ± 0,68 a	1,21 ± 2,02 a

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

1: primer periodo de almacenamiento

2: segundo periodo de almacenamiento

3: tercer periodo de almacenamiento

Letras diferentes en la etapa de evaluación denotan que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) en los tratamientos con radiación a 500 y 0 Gy.

No se reportaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los atributos evaluados de los frutos a 500 y 0 Gy durante los tres periodos de almacenamiento y posterior a la irradiación.

De acuerdo a la percepción de los jueces, las muestras de pitahaya irradiada y de control presentaron un aroma intenso a fruta a lo largo del almacenamiento, con puntuaciones en promedio mayor a 5 en la escala de valoración. Únicamente después del segundo periodo de almacenamiento, el valor promedio de las muestras control descendió hasta cerca de 4, por lo que el aroma fue considerada como débil. Estas valoraciones concuerdan con la evaluación del aroma llevada a cabo en los experimentos preliminares de este estudio, en los cuales los frutos presentaron un aroma (sabor y olor) intenso característico.

La apariencia de las muestras irradiadas y de control fue considerada como fresca durante todo el almacenamiento, con una puntuación en promedio superior a 6 ubicándose así dentro del rango de 5,00 a 7,50 de la escala de evaluación. Para el atributo de dulzor se obtuvieron calificaciones en promedio mayor a 5, por lo que las muestras de pitahaya fueron consideradas dulces a lo largo de todo el almacenamiento, esto coincidió con los valores de SST que se mostraron invariables en esta investigación. No se registró la presencia de sabores extraños en las muestras de pitahaya evaluadas, los valores promedios que se reportaron fueron menores a 2, por lo que se ubicaron en el rango de 0,00 a 2,50 de la escala de evaluación que corresponde a una ausencia total de sabores extraños.

Finalmente, las muestras de pitahaya irradiada y de control de este estudio fueron caracterizadas como frescas, con un sabor y olor intenso a fruta, dulces y sin presencia de sabores extraños.

Los resultados de este análisis sensorial difirieron con los obtenidos por Paredes (2014), en su estudio con pitahayas amarillas en grado de color 5 almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C y empacadas con láminas de PVC y LPDE, en el cual los jueces apreciaron pitahayas con un aroma intenso a fruta, con un mayor dulzor y frescura (p. 67). Los frutos de este estudio reportaron un

menor dulzor debido al grado de color de las pitahayas (color 4), ya que como se había indicado anteriormente a mayor grado de color o estado de madurez, el contenido de SST aumenta como resultado de la maduración de los frutos. Paredes (2014) obtuvo valores de apariencia de hasta siete (p. 68), mientras que en este estudio se reportaron puntuaciones de hasta 6 en la escala de evaluación, esto pudo haberse atribuido a la pérdida de peso de los frutos, la cual fue mayor que en estudios anteriores.

En este estudio que combinó la radiación gamma con la refrigeración, se observó que las pitahayas a 500 Gy perdieron un menor porcentaje de peso que aquellas a 0 Gy, a partir del segundo periodo de almacenamiento aunque sin diferencias significativas. Con respecto a la firmeza, este grupo de frutos presentó mayor consistencia que las pitahayas de control desde el segundo periodo hasta llegar a un valor superior al 24 % al final del almacenamiento. El color de los frutos irradiados mantuvo similitud con el color de los frutos control. Los valores de pH y contenido de SST para los frutos a 500 Gy presentaron ligeras variaciones, el pH aumentó en el primer periodo de almacenamiento y se mantuvo constante hasta los 31 días, mientras que los valores de SST disminuyeron a lo largo del almacenamiento, contradiciendo así el incremento que se esperaba por efecto de la maduración. La acidez titulable se mantuvo constante tanto para los frutos irradiados como de control durante todo el almacenamiento. Con respecto a la calidad visual al término del tercer periodo de almacenamiento, las pitahayas irradiadas se mostraron medianamente secas, con unos pedúnculos con marchitez moderada, una presencia de patógenos de hasta el 5 %, manchas pardas entre el 5 y 10 % y una aparición de manchas rojas y daños físicos leves, por lo que fueron calificadas como aptas para el consumo. Los frutos control, en cambio, no fueron considerados como comerciales, en especial por la severa marchitez de sus pedúnculos, la presencia de manchas pardas en el 10 y 25 % de su superficie y el severo daño físico. Las muestras de pitahaya irradiada y de control fueron calificadas como frescas, con un aroma intenso, dulces y sin presencia de sabores extraños. La vida útil de las pitahayas estudiadas fue de 31 y 19 días para los frutos irradiados y de control, respectivamente.

3.2.1 TASA DE RESPIRACIÓN

La tasa de respiración de los frutos de pitahaya amarilla entera e irradiada fue establecida mediante un sistema cerrado. Las cámaras de respiración fueron almacenadas con tres frutos en su interior ($\approx 0,5$ kg) a 10 ± 1 °C y 90 % HR. Las mediciones fueron efectuadas al inicio y cada dos días por el tiempo que duró el almacenamiento. El CO₂ producido por las pitahayas fue determinado por un Analizador Rápido de CO₂/O₂. Los valores de tasa de respiración fueron expresados en mg CO₂/kg h.

Los resultados de tasa de respiración de los frutos irradiados y de control, se reportaron únicamente hasta los 16 días a 10 ± 1 °C, debido a que partir de este tiempo se detectó la presencia de patógenos en más del 25 % de la superficie de los frutos, los mismos que afectaron las mediciones de CO₂ e incrementaron la tasa de respiración, arrojando valores erróneos que no correspondían a la medida de respiración de los frutos enteros. En la Figura 3.22, se puede observar la tasa de respiración de los frutos de pitahaya amarilla entera, irradiados (500 Gy) y de control (0 Gy), hasta los 14 días a 10 ± 1 °C más 5 días a 20 °C para simular su vida en estante y hasta los 19 días a 10 ± 1 °C.

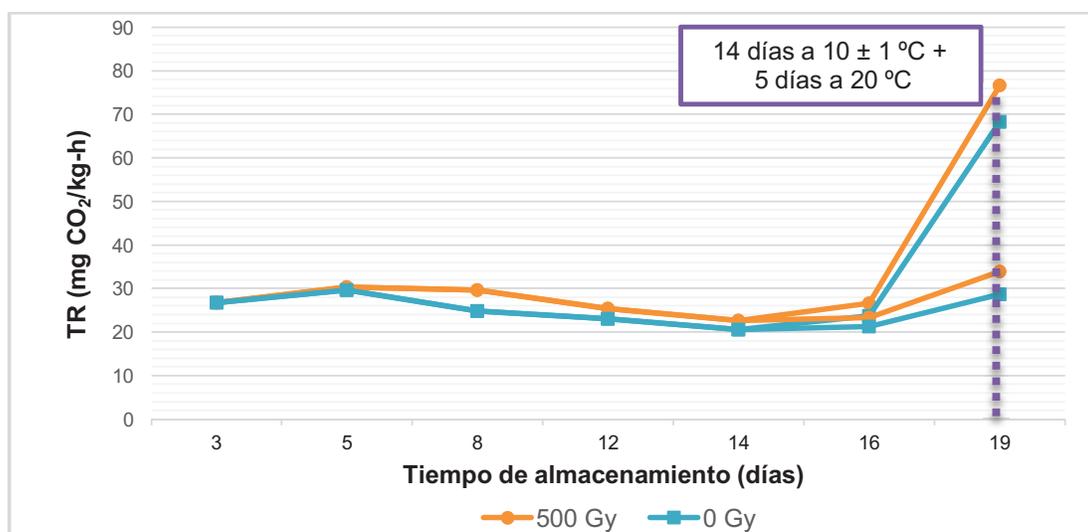


Figura 3.22. Tasa de respiración (mg CO₂/kg h) de frutos de pitahaya amarilla entera en grado de color 4, irradiados a 500 y 0 Gy almacenados hasta 14 días a 10 ± 1 °C más 5 días a 20 °C y hasta 19 días a 10 ± 1 °C

Los valores de tasa de respiración de los frutos irradiados y de control, no presentaron diferencias estadísticamente significativas durante el almacenamiento. Kader (2003), había manifestado que la radiación estimula la tasa de respiración de los frutos, tanto climatéricos como no climatéricos, acelerando así sus procesos de maduración y senescencia (p. 1006), tal comportamiento no se observó en este experimento, posiblemente por la baja dosis de radiación utilizada, la cual no entregó la energía suficiente a los alimentos como para alterar su tasa de respiración.

El valor inicial de TR para los frutos irradiados a 500 y 0 Gy almacenados a 10 ± 1 °C, fue en promedio 26,79 mg CO₂/kg h para los dos casos. Los frutos en el transcurso del tiempo registraron leves incrementos y decrementos de la TR, hasta llegar al final de los 16 días con valores de 21,25 y 23,34 mg CO₂/kg h para las pitahayas irradiadas y de control, respectivamente. La disminución de la tasa de respiración de los frutos fue gradual y no se distinguió ningún pico climatérico durante el almacenamiento.

En esta investigación al igual que en el estudio realizado por Paredes (2014) con pitahayas en grado de color 5, no se registraron picos climatéricos durante el almacenamiento (p. 45). Por otro lado Guerrero (2015) reportó totalmente lo contrario, ya que ubicó a la pitahaya amarilla en la categoría de frutos climatéricos (p. 92). El motivo por el cual en este experimento no se reportó la aparición de algún pico climatérico, tal como Guerrero (2015) que analizó la TR de pitahayas en el mismo grado de color que en este estudio (color 4), fue porque eventualmente los frutos analizados no presentaron una madurez uniforme y por lo tanto no existió una tendencia en su patrón respiratorio.

Cuando se simuló la vida en estante de los frutos, es decir cuando se los almacenó a 20 °C y 80 % HR hasta 5 días, se pudo observar que los valores de TR incrementaron, como consecuencia del aumento de la temperatura. Los valores de TR registrados al final de los 5 días fueron de 76,7 mg CO₂/kg h para los frutos irradiados y de 68,26 mg CO₂/kg h para aquellos de control, por lo que estos resultados excedieron en 3 veces la TR de los frutos almacenados en

condiciones de refrigeración. Siddiq (2012) indicó que por cada 10 °C de incremento en la temperatura, la TR aumenta en un factor de 2 o 3 (p. 20).

3.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PITAHAYA CORTADA, EMPACADA AL VACÍO E IRRADIADA ALMACENADA EN REFRIGERACIÓN

Para la elaboración de rodajas de pitahaya amarilla, se utilizaron frutos en grado de color 4 limpios y desinfectados. Las rodajas de 7 mm aproximadamente, fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico y ácido ascórbico al 0,10 % p/p durante tres minutos y escurridas por un minuto aproximadamente. Se prepararon empaques de co-extruido de nylon y polietileno con 150 g de producto, los cuales fueron sellados al vacío y en atmósfera normal. Los empaques fueron irradiados a 500 y 0 Gy y almacenados a 4 ± 1 °C y 90 % HR hasta 12 días.

La evaluación de la calidad de las rodajas de pitahaya se efectuó al inicio (día 0) y después de 4, 8 y 12 días, estos tiempos fueron denominados como primer, segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente. Las variables de respuesta fueron: pérdida de peso (%), firmeza (N), pH, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable, calidad sensorial global del fruto y análisis microbiológico.

3.3.1 PÉRDIDA DE PESO

A continuación en la Figura 3.23, se muestran los porcentajes de pérdida de peso de las rodajas de pitahaya irradiadas a 500 y 0 Gy, empacadas al vacío y en atmósfera normal. Se observa como el porcentaje de pérdida de peso aumenta en todos los tratamientos durante el almacenamiento. Los alimentos mínimamente procesados son más vulnerables a pérdidas de agua que los productos enteros, debido a la ausencia de su barrera biológica (cáscara) y a los daños mecánicos que conlleva el procesamiento, ya que provocan un aumento en la transpiración y en la tasa de respiración (García y Barret, 2002, p. 22).

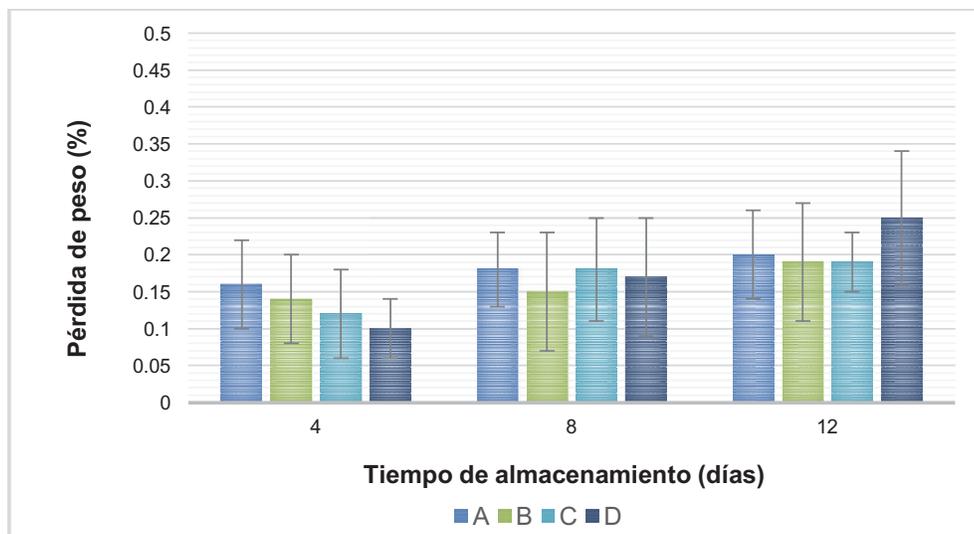


Figura 3.23. Porcentaje de pérdida de peso (%) de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (A), a 500 Gy y en atmósfera normal (B), a 0 Gy y al vacío (C) y a 0 Gy y en atmósfera normal (D), almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C

Los altos valores de desviación estándar observados en la Figura 3.23, se deben a que las rebanadas de pitahaya a pesar de tener un mismo grosor, no presentaron uniformidad en su tamaño, debido a la falta de homogeneidad de los frutos. Al mostrar poca uniformidad, cada rodaja de pitahaya presentó una relación área superficial/volumen diferente y por consiguiente una mayor o menor velocidad de transpiración, por lo que los porcentajes de pérdida de peso reportados por empaque fueron dispares.

Después del primer periodo de almacenamiento, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) respecto a la aplicación de radiación, para la pérdida de peso de todos los tratamientos. De esta manera, las rodajas de pitahaya irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A) y en atmósfera normal (tratamiento B), presentaron mayor pérdida de peso que aquellas rodajas a 0 Gy empacadas al vacío (tratamiento C) y en atmósfera normal (tratamiento D), tal como se observa en el gráfico de medias e intervalos LSD de la Figura 3.24. El menor porcentaje de pérdida de peso tuvo un valor promedio de 0,10 % y fue reportado por los empaques del tratamiento D, mientras que el mayor porcentaje de pérdida de peso fue registrado por parte de las rebanadas del tratamiento A, con un valor promedio de 0,16 %.

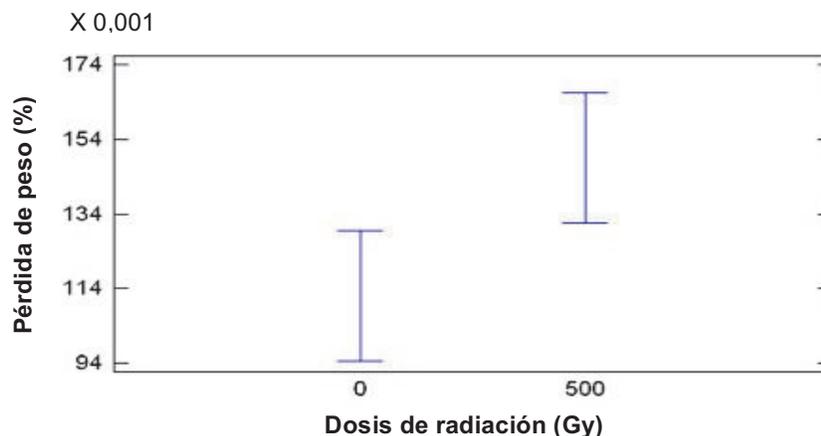


Figura 3.24 Gráfico de medias e intervalos LSD del factor dosis de radiación (Gy) para la pérdida de peso (%) de rodajas de pihaya irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 4 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR

Luego del segundo periodo de almacenamiento, no existieron diferencias estadísticamente significativas respecto a la aplicación de radiación ni al tipo de atmósfera.

La mayor pérdida de peso fue registrada por los empaques de los tratamiento A y C, con un valor promedio de 0,18 % para los dos casos, mientras que la menor pérdida de peso fue reportada por las rodajas del tratamiento B, con un valor de 0,15 % en promedio

Después del tercer periodo de almacenamiento, no se reportaron diferencias significativas entre los valores de pérdida de peso para ninguno de los tratamientos; no obstante, existió interacción entre la dosis de radiación y el tipo de atmósfera, como se muestra en la Figura 3.25, en la cual se observa como la pérdida de peso esta influenciada por la dosis de radiación cuando las rodajas son empacadas en atmósfera normal, ya que a 0 Gy se favorece a una mayor pérdida de peso (0,25 %) y a 500 Gy una menor pérdida (0,19 %).

Los valores de pérdida de peso de los tratamientos con rebanadas empacadas al vacío e irradiadas a 500 y 0 Gy, fueron en promedio 0,20 y 0,19 %, respectivamente. El tratamiento A fue el que presentó la menor variación de pérdida de peso durante el almacenamiento.

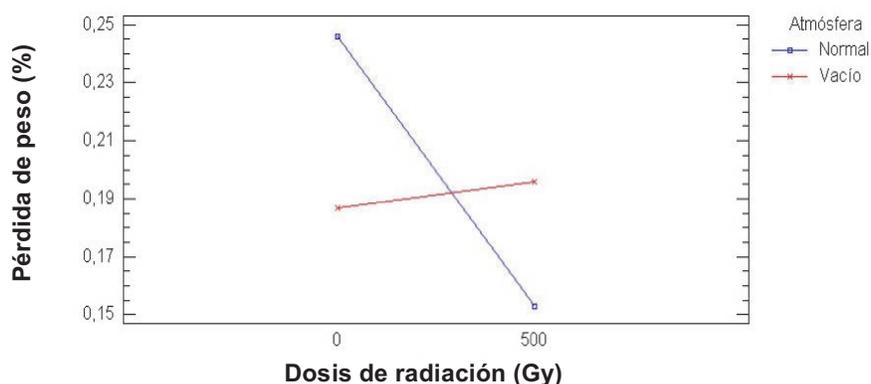


Figura 3.25. Interacción entre la dosis de radiación y el tipo de atmósfera para el porcentaje de pérdida de peso de rodajas de pitahaya amarilla en el tercer periodo de almacenamiento

Al inicio del almacenamiento se observó como los empaques con rodajas irradiadas mostraron alrededor de un 27 % más de pérdida de peso que aquellos con rodajas sin irradiar, tendencia que cambió con el transcurso del tiempo, ya que a partir del segundo periodo de almacenamiento estos empaques reportaron pérdidas de peso iguales e inclusive menores que aquellos con rodajas a 0 Gy. La energía entregada a las rodajas de pitahaya por efecto de la radiación, pudo haber acelerado inicialmente algunos procesos fisiológicos, como la transpiración y tasa de respiración, provocando así una elevada y súbita pérdida de peso; sin embargo, estos efectos disminuyeron durante el almacenamiento.

En el estudio que llevó a cabo Tinitana (2014), con rebanadas de pitahaya sometidas a una inmersión en solución de ácidos (cítrico y ascórbico 0,10 %p/p), almacenadas a 4 °C hasta 8 días y empacadas en láminas de PVC y PEBD, se registraron pérdidas de peso de 1,26 % para los empaques de PVC y 1,63 % para aquellos de PEBD al final del almacenamiento (p. 71). Estos valores superaron en hasta 8 veces los resultados de esta investigación.

El factor que posiblemente redujo de manera significativa la pérdida de peso de las rodajas empacadas, fue la baja permeabilidad que posee el empaque utilizado en este experimento (co - extruido de nylon y polietileno), tanto al vapor de agua como a otros gases.

3.3.2 FIRMEZA

La firmeza de las rodajas en cada uno de los tratamientos, disminuyó conforme el transcurso del primer, segundo y tercer período de almacenamiento, como se observa en la Figura 3.26. El daño celular que sufren los tejidos de los alimentos por efecto del procesamiento, así como el incremento de la tasa de respiración y la producción de etileno, son factores que disminuyen la firmeza de los alimentos de IV gama. La producción de etileno en especial, acelera la maduración de los alimentos cortados, provocando la biosíntesis de enzimas responsables de cambios fisiológicos, como el ablandamiento (Ahvenainen, 1999, p. 180).

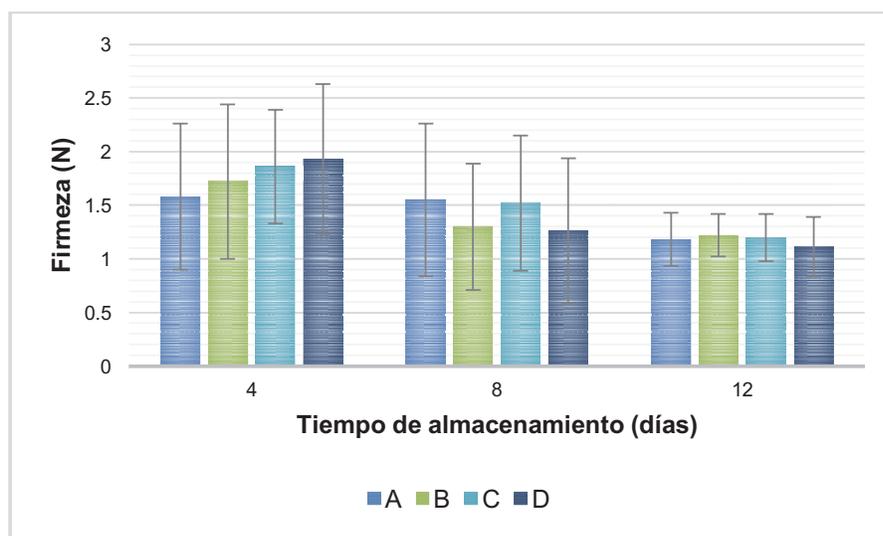


Figura 3.26. Firmeza (N) de rodajas de pitahaya irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (A), a 500 Gy y en atmósfera normal (B), a 0 Gy y al vacío (C) y a 0 Gy y en atmósfera normal (D), almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C

No existieron diferencias significativas respecto a la aplicación de rayos gamma ni al tipo de atmósfera en el que fueron almacenadas las rodajas, para ninguno de los tratamientos en los periodos de evaluación de este estudio.

La firmeza de los alimentos cortados es uno de los factores más afectados por la aplicación de radiación (Kamolprasert, 2004, p. 99); sin embargo, esto no se observó en este experimento, debido a que posiblemente la dosis de radiación empleada (500 Gy) no fue capaz de provocar la despolimerización de los

polisacáridos componentes de la pared celular (celulosa y pectina) de las rodajas de pitahaya y por esta razón no existió un ablandamiento notorio ni pérdidas de firmeza significativas (Kamolprasert, 2004, p. 99).

Inmediatamente después de la irradiación (0 días), las rodajas de pitahaya registraron valores promedios de firmeza de 2,53, 2,65 y 2,78 N para los tratamientos A, B y D, respectivamente. Por otro lado, al término del almacenamiento (12 días) se reportaron valores en promedio de 1,18, 1,22, 1,20 y 1,11 N, correspondientes a la firmeza de las rodajas de los tratamientos A, B, C y D. Con base en estos resultados, se pudo notar la significativa influencia del almacenamiento en la disminución de la firmeza de las rodajas en todos los tratamientos. Resultados parecidos se encontraron en un estudio con rodajas de manzana irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 3 semanas a 10 °C, la firmeza de estas rebanadas disminuyó durante el almacenamiento, indistintamente de si fueron irradiadas o no (Fan, Niemera, Mattheis, Zhuang y Olson, 2005, p. 146).

En este experimento, la disminución de la firmeza estuvo relacionada con la pérdida de peso, es así que a mayor pérdida de peso, mayor fue la pérdida de firmeza por parte de las rodajas de pitahaya. Esto se pudo comprobar con los empaques de los tratamientos A (500 Gy + vacío), B (500 Gy + atmósfera normal) y D (0 Gy + atmósfera normal), los cuales presentaron los porcentajes más altos de pérdida de peso y consecuentemente la menor firmeza en el primer periodo de almacenamiento y tercero para el tratamiento D. El ablandamiento de los frutos, así como la pérdida de peso, son en parte atribuidos a la pérdida de agua que sufren los alimentos durante el almacenamiento (Siddiq, 2012, p. 23).

3.3.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

A continuación en la Tabla 3.15, se muestran los resultados de pH, contenido de SST y acidez titulable obtenidos en la experimentación con rodajas de pitahaya amarilla almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR

Tabla 3.15. Valores de pH, sólidos solubles totales y acidez titulable para pitahaya amarilla cortada, irradiada y empacada al vacío, almacenada hasta 12 días a 4 ± 1 °C

TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
	A	B	C	D
pH				
0 días	4,64±0,01 a	4,59±0,01 a	-	4,59±0,01 a
4 días a 4 ± 1 °C ¹	4,67±0,01 a	4,66±0,03 a	4,63±0,02 a	4,54±0,01 b
8 días a 4 ± 1 °C ²	4,68±0,01 a	4,59±0,01 b	4,59±0,01 b	4,58±0,01 b
12 días a 4 ± 1 °C ³	4,62±0,02 a	4,56±0,01 b	4,55±0,03 b	4,51±0,01 b
Contenido de SST (°Brix)				
0 días	17,88±0,72 a	17,60±0,73 a	-	18,36±0,27 a
4 días a 4 ± 1 °C	17,56±0,95 a	17,92±0,48 a	17,52±0,47 a	17,92±0,53 a
8 días a 4 ± 1 °C	17,48±0,81 a	18,36±0,71 a	18,24±0,41 a	17,04±0,69 a
12 días a 4 ± 1 °C	18,36±0,39 a	17,88±0,48 a	18,60±0,18 a	17,84±0,45 a
Acidez titulable (g/100g de ácido cítrico)				
0 días	0,15±0,00 a	0,15±0,01 a	-	0,15±0,01 a
4 días a 4 ± 1 °C	0,15±0,01 a	0,15±0,02 a	0,15±0,01 a	0,17±0,01 a
8 días a 4 ± 1 °C	0,15±0,01 a	0,15±0,01 a	0,16±0,01 a	0,17±0,01 a
12 días a 4 ± 1 °C	0,16±0,02 a	0,16±0,02 a	0,17±0,01 a	0,16±0,01 a

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

A: 500 Gy + vacío; B: 500 Gy + atmósfera normal; C: 0 Gy + vacío; D: 500 Gy + atmósfera normal

1: primer periodo de almacenamiento

2: segundo periodo de almacenamiento

3: tercer periodo de almacenamiento

Letras diferentes en los tratamientos A, B, C y D en la etapa de evaluación señalan que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

Para el pH de las rodajas de pitahaya existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre las variables dosis de radiación y tipo de atmósfera, en los tres periodos de almacenamiento. Los empaques irradiados a 500 Gy y empacados al vacío (tratamiento A), fueron los que presentaron los mayores valores de pH (4,60 – 4,69) y por lo tanto la menor acidez dentro de este estudio. Estos resultados contrastaron con los reportados por Fan et al. (2005), en su estudio con rodajas de manzana irradiadas a 500 Gy, en el cual indica que la radiación no influyó de manera significativa en el pH de las rodajas (p. 146).

La interacción entre las variables presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en el primer y segundo periodo de almacenamiento. La aplicación de radiación en rodajas empacadas, tanto al vacío como en atmósfera normal, incrementó de manera ligera el valor de pH, mientras que su ausencia lo disminuyó, en especial

en aquellas rodajas del tratamiento D, que fueron las que reportaron la mayor acidez a lo largo del almacenamiento, con valores de pH entre 4,50 y 4,60.

Para el contenido de SST ($^{\circ}$ Brix) no hubo influencia significativa de la dosis de radiación ni del tipo de atmósfera en ninguno de los periodos de almacenamiento. La cantidad de SST se ubicó en el rango de 16,35 y 18,68 $^{\circ}$ Brix. Para la acidez titulable no existió diferencia estadísticamente significativa respecto a la dosis de radiación ni al tipo de atmósfera utilizada, en ninguno de los periodos de almacenamiento. El rango en el que varió la acidez titulable durante todo el almacenamiento fue de 0,14 y 0,18 (g/100g ácido cítrico). Estos valores resultaron ser mayores que aquellos reportados en el experimento anterior con pitahaya entera e irradiada (0,08 – 0,10 g/100 g de ácido cítrico), por motivo de la inmersión de las rodajas en la solución de ácidos antes de ser empacadas. Los resultados de este experimento coincidieron con los reportados por Tinitana (2015), en su estudio con pitahaya cortada almacenada hasta 8 días a 4 $^{\circ}$ C, quien obtuvo valores de pH entre 4,22 y 4,42, contenido de SST entre 16,54 y 18,32 $^{\circ}$ Brix y acidez titulable entre 0,10 y 0,14 (g/100g de ácido cítrico) (p. 70).

3.3.4 CALIDAD SENSORIAL GLOBAL

3.3.4.1 Evaluación de la calidad visual

Se valoró la calidad visual en rodajas de pitahaya amarilla irradiadas y empacadas al vacío con sus respectivos controles. Los atributos que se evaluaron fueron pardeamiento, marchitez de las rebanadas y presencia de hongos. La escala adoptada fue de 1 a 5 puntos, donde 1 se le atribuyó a la peor cualidad del atributo evaluado y 5 a la mejor. En la Tabla 3.16, se muestran los resultados obtenidos en la valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla cortada a lo largo del almacenamiento.

Para el pardeamiento, la marchitez de las rebanadas y la presencia de hongos, no existió diferencia estadísticamente significativa respecto a la dosis de radiación y

tipo de atmósfera empleada, en ninguno de los periodos de almacenamiento ni posterior a la aplicación de radiación. A los 0 días, las rodajas de pitahaya irradiadas y empacadas, tanto al vacío (tratamiento A) como en atmósfera normal (tratamiento B), conservaron sus características iniciales de antes de la irradiación, es decir no hubo signos de pardeamiento, ni de marchitez y mucho menos de presencia de hongos. Estos mismos resultados fueron apreciados en los empaques de control (tratamiento D).

En el primer periodo de almacenamiento, no existió pardeamiento en las rodajas empacadas, ya que la mínima puntuación promedio obtenida fue de 4,60 en la escala de evaluación. A pesar de que no existió influencia significativa de ninguna de las variables para la marchitez de las rodajas, se advirtió que aquellas del tratamiento A (500 Gy + vacío), fueron las que más marchitas se mostraron en relación a las demás y con un valor de 4,67 en promedio, lo cual estuvo relacionado con el alto porcentaje de pérdida de peso de estos empaques a los 4 días. No se evidenció la presencia de hongos en ninguno de los tratamientos.

En el segundo periodo de almacenamiento, no se observó un significativo aumento en el deterioro de la calidad de la pitahaya cortada. No se reportó pardeamiento ni marchitez de las rodajas, ya que se obtuvieron puntuaciones en promedio mayores a 4,60 para los dos atributos. No se pudo detectar de forma visual la presencia de hongos, aunque si fueron reportados en el análisis microbiológico del acápite 3.3.4.3, los cuales se ubicaron dentro de un rango bajo, con valores entre $1,20E+02$ y $2,80E+02$ UFC/g para anaerobios totales y mohos.

En el último periodo de almacenamiento, tanto el pardeamiento de las rodajas del tratamiento D (0 Gy + atmósfera normal), como la marchitez de la pitahaya cortada en todos los empaques fueron discretos, con calificaciones en promedio mayores a 4,33 y 4,00, respectivamente. La reducción de la cantidad de O_2 en los empaques (tratamientos A y C) redujo el pardeamiento por acción de la polifenolxidasa, enzima que en presencia de oxígeno convierte los compuestos fenólicos de los alimentos en pigmentos oscuros y coloreados, en especial en las superficies de corte (Beaulieu y Gorny, 2004, p. 3). Se apreció la presencia de

hongos en menos del 5 % de la superficie de algunas rodajas de los tratamientos C (0 Gy + vacío) y D (0 Gy + atmósfera normal), cuyas hifas fueron de color blanco; no obstante, estos dos últimos tratamientos ya no fueron considerados como aptos para el consumo por la presencia evidente de hongos.

En el estudio efectuado por Tinitana (2014), se registró a los 8 días de almacenamiento a 4 °C un ligero pardeamiento, una marchitez moderada de las rebanadas y una inexistente presencia de hongos en su superficie (p. 78). A pesar de que en estos dos estudios, se realizó el mismo tipo de inmersión, con agentes antioxidantes (ácido cítrico y ascórbico) al 0,10 %p/p durante 3 minutos previo al empacado, se consiguió un menor pardeamiento en las rodajas de este experimento, como una posible consecuencia del retraso de algunos procesos fisiológicos por efecto de la radiación, empacado al vacío y film utilizado.

Figura 3.16. Valoración de la calidad visual de pitahaya amarilla minimamente procesada irradiada y empacada al vacío almacenada hasta 12 días a 4 ± 1 °C

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
		A	B	C	D
Pardeamiento	0 días	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	-	5,00±0,00 a
	4 días a 4 ± 1 °C ¹	4,80±0,41 a	4,67±0,49 a	4,80±0,41 a	4,60±0,51 a
	8 días a 4 ± 1 °C ²	4,60±0,51 a	4,67±0,49 a	4,67±0,49 a	4,60±0,51 a
	12 días a 4 ± 1 °C ³	4,60±0,51 a	4,67±0,49 a	4,73±0,49 a	4,33±0,46 a
Marchitez de las rodajas	0 días	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	-	5,00±0,00 a
	4 días a 4 ± 1 °C	4,67±0,49 a	5,00±0,00 a	4,80±0,41 a	5,00±0,00 a
	8 días a 4 ± 1 °C	4,67±0,49 a	4,60±0,51 a	4,60±0,51 a	4,67±0,49 a
	12 días a 4 ± 1 °C	4,00±0,00 a	4,53±0,52 a	4,47±0,52 a	4,53±0,52 a
% Presencia de hongos	0 días	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	-	5,00±0,00 a
	4 días a 4 ± 1 °C	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a
	8 días a 4 ± 1 °C	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a
	12 días a 4 ± 1 °C	5,00±0,00 a	5,00±0,00 a	4,87±0,35 a	4,47±0,52 a

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 15)

A: 500 Gy + vacío; B: 500 Gy + atmósfera normal; C: 0 Gy + vacío; D: 500 Gy + atmósfera normal

1: primer periodo de almacenamiento

2: segundo periodo de almacenamiento

3: tercer periodo de almacenamiento

Letras diferentes en los tratamientos A, B, C y D en la etapa de evaluación señalan que existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$)

A continuación, en la Tabla 3.17, se presenta las valoraciones finales de la calidad visual de las rebanadas de pitahaya amarilla irradiadas y empacadas al vacío, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C.

Tabla 3.17. Índice de la calidad visual de rodajas de pitahaya amarilla durante el almacenamiento

TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
	AC	BC	AD	BD
0 días	I	I	I	I
4 días a 4 ± 1 °C ¹	I	I	I	I
8 días a 4 ± 1 °C ²	I	I	I	I
12 días a 4 ± 1 °C ³	I	I	I	I

I: 4-5; II: 4-3; III: <3

A: 500 Gy + vacío; B: 500 Gy + atmósfera normal; C: 0 Gy + vacío; D: 500 Gy + atmósfera normal

I: Mantiene las características iniciales

II: Presenta deterioro y daño. Apta para el consumo

III: No comerciable

1: Primer periodo de almacenamiento

2: Segundo periodo de almacenamiento

3: Tercer periodo de almacenamiento

Con base en la información de la Tabla 3.17, se puede observar que tanto a los 0 días como en los tres periodos de almacenamiento, las rodajas de pitahaya obtuvieron Calidad I, es decir conservaron sus características iniciales y se mostraron aptas para el consumo y comercialización; no obstante, en algunas rodajas de los tratamientos C (0 Gy + vacío) y D (0 Gy + atmósfera normal) si se logró observar de forma visual la presencia de hongos a los 12 días de almacenamiento, por lo que estos tratamientos ya no fueron considerados como comerciables.

El efecto de la radiación (tratamientos A y B) logró conservar a las rodajas de pitahaya con excelentes características visuales y sin presencia de hongos, hasta los 12 días a 4 ± 1 °C, por lo que su tiempo de vida útil aumentó en 4 días más comparado con lo indicado por Tinitana (2014), quien reportó que el tiempo de vida útil de rodajas de pitahaya con y sin inmersión y empacadas en láminas de PVC y PEBD, fue únicamente de hasta 8 días a 4 °C (p. 81). El uso de radiación

en alimentos cortados garantiza productos higiénicos que no suponen ningún riesgo para la salud del consumidor, debido a que es un tratamiento eficiente en la eliminación de agentes patógenos que deterioran la calidad sensorial global del alimento y acortan su tiempo de vida útil (Komolprasert, 2004, p. 93). En el Anexo XIII se muestran las fotografías de las rodajas de pitahaya irradiadas a 500 y 0 Gy, empacadas al vacío y en atmósfera normal, a los 0 días y en los tres periodos de almacenamiento.

3.3.4.2 Análisis sensorial

A continuación, en la Tabla 3.18 se muestran los resultados del análisis sensorial de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas, empacadas al vacío y almacenadas a 4 ± 1 °C. El estudio sensorial completo se lo efectuó únicamente a los 0 días después de la irradiación en los empaques a 500 Gy y de control (0 Gy + atmósfera normal) y en el primer periodo de almacenamiento para todos los tratamientos.

Tabla 3.18 Resultados del análisis sensorial de pitahaya amarilla cortada, irradiada y empacada al vacío, almacenada por 4 días a 4 ± 1 °C

ATRIBUTO	TIEMPO (días)	TRATAMIENTOS			
		A	B	C	D
Aroma	0 días	4,55±2,26	5,25±1,97	-	4,33±2,74
	4 días a 4 ± 1 °C ¹	5,20±2,65	3,87±2,02	4,59±2,48	4,21±2,86
Apariencia	0 días	8,12±1,51	6,98±2,57	-	7,00±2,11
	4 días a 4 ± 1 °C	5,99±2,30	7,06±1,37	6,82±0,96	6,32±1,83
Acidez	0 días	1,70±1,00	1,63±1,63	-	2,04±1,58
	4 días a 4 ± 1 °C	1,04±0,70	2,30±1,87	1,58±0,89	1,42±0,99
Dulzor	0 días	6,03±2,12	6,86±1,30	-	5,90±2,01
	4 días a 4 ± 1 °C	5,13±2,94	5,05±2,47	6,15±2,24	4,71±2,64
Sabores extraños	0 días	1,47±0,94	1,19±1,15	-	1,14±0,52
	4 días a 4 ± 1 °C	3,25±1,78	0,58±1,05	1,06±0,85	1,44±1,05

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

A: 500 Gy + vacío; B: 500 Gy + atmósfera normal; C: 0 Gy + vacío; D: 500 Gy + atmósfera normal

1: primer periodo de almacenamiento

Inmediatamente después de la irradiación de los empaques (0 días), como después del primer periodo de almacenamiento, no existió influencia significativa de la radiación ni del tipo de atmósfera empleada en los atributos sensoriales de las rodajas de pitahaya.

Según la percepción de los jueces, todas las rodajas de pitahaya mostraron un aroma (sabor y olor) débil a fruta, con puntuaciones entre 3,00 y 5,00 en promedio, a excepción de las rodajas del tratamiento B (500 Gy + atmósfera normal) y las del tratamiento A (500 Gy + vacío), que presentaron un aroma intenso a fruta con valores mayores a 5,00 en la escala de calificación, a los 0 y 4 días, respectivamente. Las dosis de radiación utilizadas en alimentos de IV gamma producen un efecto mínimo en la alteración del aroma de los alimentos (Kamolprasert, 2004, p. 99), comportamiento que se vio reflejado en el aroma de las rodajas de pitahaya de este estudio.

La apariencia de las muestras a los 0 días, fue considerada como muy fresca para las rodajas del tratamiento A y frescas para aquellas de los tratamientos B y D. Luego de los 4 días de almacenamiento, la apariencia de las rodajas de todos los tratamientos fue percibida como fresca, con una puntuación en promedio superior a 6 ubicándose así dentro del rango de 5,00 a 7,50 de la escala de evaluación. A pesar de que en promedio todas las muestras fueron consideradas como frescas, las rodajas del tratamiento A presentaron una alta desviación estándar respecto a los demás tratamientos, esto como resultado de la significativa pérdida de peso que reportaron a los 4 días, por lo que algunos jueces las apreciaron como secas.

La acidez de las rodajas fue poca para todos los tratamientos, las puntuaciones obtenidas se ubicaron en el rango de 0,00 a 2,50 en la escala de evaluación. La acidez percibida fue atribuida a la inmersión de las rodajas en una solución de ácidos (cítrico y ascórbico) previo al empaqueo. De acuerdo a las calificaciones obtenidas por parte de los panelistas, las rodajas del tratamiento A (500 Gy + vacío), fueron las que presentaron la menor acidez, lo cual coincidió con los valores de pH de este estudio que ratifican lo mismo.

Las muestras de pitahaya cortada fueron consideradas como dulces, debido a que obtuvieron calificaciones en promedio mayor a 5,00 durante todo el almacenamiento, a excepción de las rodajas del tratamiento D, las cuales fueron percibidas como medianamente dulces, ya que obtuvieron a los 4 días un valor promedio de 4,71 en la escala de evaluación. Estos resultados no necesariamente coincidieron con los valores reportados para el contenido de SST a los 0 y 4 días, debido a las diferentes percepciones de los jueces, las cuales se vieron reflejadas en las altas desviaciones estándares para este atributo.

Las rodajas de pitahaya presentaron ausencia de sabores extraños a lo largo del periodo de valoración, con puntuaciones de hasta 1,44; sin embargo, existió un único tratamiento que reportó calificaciones por encima de los demás resultados, este fue el tratamiento A (500 Gy + vacío), el cual reportó a los 4 días de almacenamiento un valor promedio de 3,78, confirmando así una leve presencia de sabores extraños. La combinación de radiación con ausencia de oxígeno pudo haber originado ciertos productos de fermentación dentro de los empaques, como acetaldehído, etanol y lactato, siendo estos los posibles responsables de los sabores extraños reportados (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012, p. 99).

Finalmente, las muestras de pitahaya cortada de este estudio fueron caracterizadas como frescas, con un aroma débil a fruta, dulces, poco ácidas y sin presencia de sabores extraños, a excepción de las rodajas del tratamiento A que por efecto del vacío posiblemente se produjo una leve fermentación que dio origen a una leve presencia de sabores extraños.

3.3.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El crecimiento de mohos y levaduras así como el de aerobios totales, se incrementó en el transcurso del tiempo, como se puede observar en la Figura 3.27, en la cual se representa el conteo de mohos y levaduras así como el conteo total de aerobios, los cuales fueron efectuados en rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 y 0 Gy, empacadas al vacío y en atmósfera normal,

almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C. No existió la presencia de coliformes totales en las rodajas de pitahaya de los diferentes tratamientos, debido a que durante todo el almacenamiento la presencia de estos microorganismos fue constante, con un valor $<3\text{NMP}$. Al término de los 12 días, no se evidenció hinchazón en ninguno de los empaques.

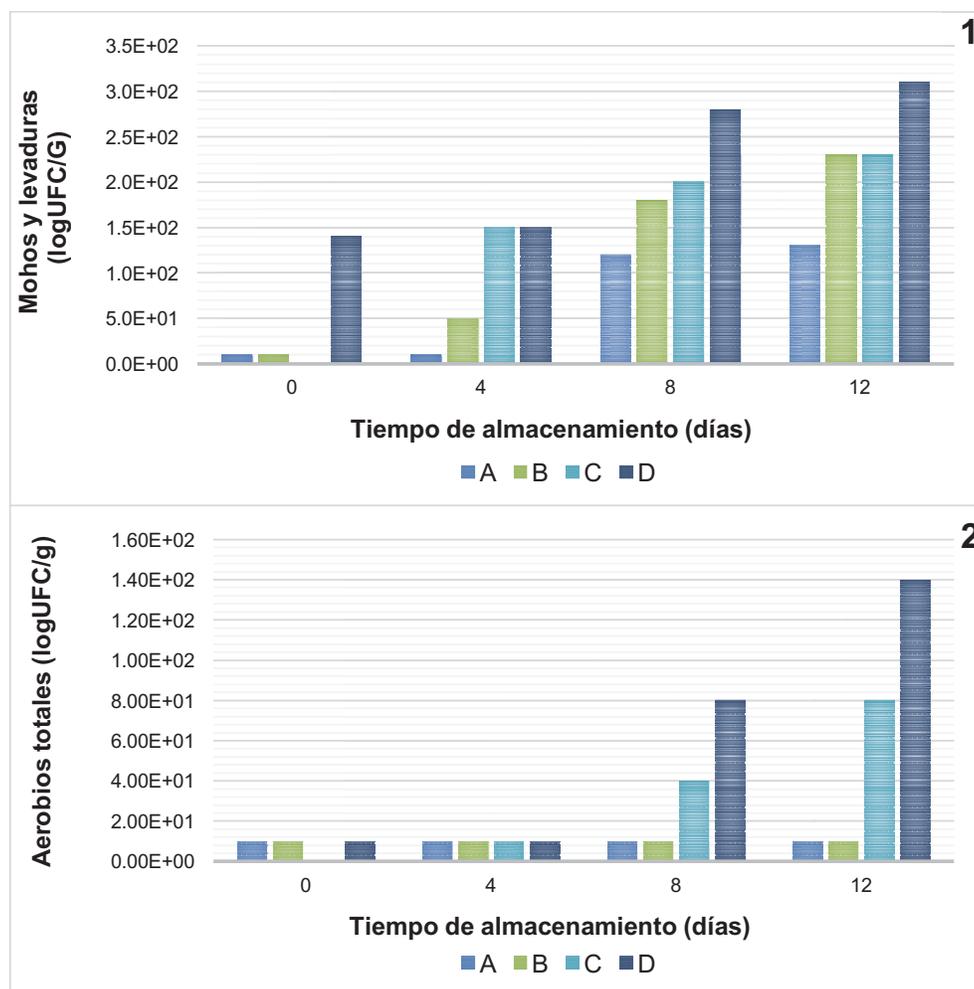


Figura 3.27. Contaje de mohos y levaduras (1) y de aerobios totales (2) en rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (A), a 500 Gy y en atmósfera normal (B), a 0 Gy y al vacío (C) y a 0 Gy y en atmósfera normal (D), almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C

De acuerdo a lo presentado en las Figura 3.27, se puede distinguir que al final del almacenamiento (12 días), las rodajas de pitahaya irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), fueron las que presentaron el menor contaje

de mohos y levaduras así como de aerobios totales, con valores de $1,30E+02$ y $<1,00E+01$ UFC/g, respectivamente. Estos resultados se contrastaron con los reportados por aquellas rodajas a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), cuyos contajes de mohos y levaduras así como de aerobios correspondieron a los valores más altos de este análisis microbiológico, con valores de $3,10E+02$ y $1,40E+02$ UFC/g, respectivamente. La aplicación de radiación gamma y la ausencia de oxígeno en los empaques inhibió el crecimiento microbiano durante el almacenamiento.

A partir de los 8 días de almacenamiento, se notó que en los empaques al vacío a 0 Gy (tratamiento C), se reportó la presencia de aerobios a pesar de la ausencia de oxígeno, esto se debió a que dentro del grupo de aerobios totales se consideran también a los microorganismos microaerófilicos y a los anaerobios facultativos, los cuales son capaces de continuar con sus funciones metabólicas con pequeñas concentraciones de O_2 para el primer caso, o en ausencia de oxígeno para el segundo caso (Pedrique y Rodríguez, 2008, p. 8). Con estos resultados se evidenció que el empacado al vacío no fue suficiente para retardar el crecimiento de aerobios totales.

La irradiación de frutos cortados ha demostrado ser efectiva en la reducción del número de bacterias presentes en los productos, pero más no en la cantidad de hongos y levaduras. En este experimento se pudo observar que a pesar de la aplicación de radiación no existió una disminución significativa en la cantidad de hongos y levaduras a lo largo del almacenamiento, esto como consecuencia de la baja dosis de radiación utilizada (500 Gy), ya que para destruir levaduras y hongos se requieren de dosis en el rango de 1 500 a 20 000 Gy, las cuales lamentablemente no pueden ser empleadas por el severo daño que causarían en los tejidos de los frutos cortados (Beaulieu y Gorny, 2004, p.9).

De acuerdo con la Norma Sanitaria Peruana N° 071 (MINSA/DIGESA, 2008), el contaje de aerobios mesófilos totales y el de hongos y levaduras reportados en este estudio, si se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles, que son de $10E+04$ UFC/g para aerobios totales y de $10E+02$ UFC/g para hongos y

levaduras (pp. 17-18). Para el conteo de coliformes totales, los resultados obtenidos no sobrepasaron el límite máximo de tolerancia de estos microorganismos, valor que es $<3\text{NMP}$ según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 67.04.50:08, 2008, p. 14).

La aplicación de radiación así como de atmósferas modificadas (vacío), más la inmersión de las rodajas en una solución de ácidos y el tipo de empaque usado, permitió preservar a todas las rebanadas de pitahaya en condiciones óptimas y seguras para la salud del consumidor hasta el final del almacenamiento (12 días). Además, de las buenas prácticas de manufactura como el control de la temperatura desde el momento del procesamiento de la materia prima, garantizó cargas iniciales bajas de microorganismos.

Los mejores resultados obtenidos en este análisis microbiológico fue por parte del tratamiento A (500 Gy + vacío) almacenado hasta 12 días a 4 ± 1 °C, los mismos que difirieron con los reportados por Tinitana (2014) en su mejor tratamiento de 8 días a 4 °C (rodajas con inmersión + láminas de PVC), debido a que el conteo de mohos y levaduras fue menor ($5,8\text{E}+01$ UFC/g), mientras que el conteo de aerobios totales fue mayor ($9,4\text{E}+02$ UFC/g), con esta información se corrobora lo explicado anteriormente respecto a la eficacia de la radiación y el uso de vacío en la eliminación de microorganismos aerobios y en el efecto nulo de los rayos gamma en hongos y levaduras a dosis bajas. La cantidad de coliformes totales se mantuvo constante en los estudios ($<3\text{NMP}$) (p. 85).

Finalmente, las rodajas del tratamiento A (500 Gy + vacío) y las rodajas del tratamiento B (500 Gy + atmósfera normal) fueron los empaques que menor variación de pérdida de peso presentaron durante el almacenamiento (0,04 - 0,05 %), la firmeza de las rodajas no presentó diferencias significativas, el pH aumentó ligeramente por efecto de la radiación, por lo que presentaron la más baja acidez de este estudio, hecho que fue detectado por los jueces en el análisis sensorial. El tipo de atmósfera y la radiación no influyeron significativamente en el contenido de SST (° Brix) ni en los valores de acidez titulable. Las características visuales al final del almacenamiento fueron las mismas que presentaron al inicio,

por lo que obtuvieron Calidad I al no presentar pardeamiento y una marchitez ligera. El conteo de aerobios y coliformes totales, así como el de mohos y levaduras se conservaron por debajo de los límites permisibles. Las rodajas fueron juzgadas como frescas, con aroma débil a fruta, dulces y sin presencia de sabores extraños, a excepción de aquellas del tratamiento A, que fueron percibidas con una leve presencia de sabores extraños, razón por la cual el tratamiento B, fue considerado como el mejor de este estudio, ya que logró conservar la calidad global de las rodajas de pitahaya hasta 12 días a 4 ± 1 °C.

3.3.6 TASA DE RESPIRACIÓN

La tasa de respiración de pitahaya amarilla cortada e irradiada, fue establecida mediante un sistema cerrado de respiración. Las cámaras fueron almacenadas con aproximadamente 0,5 kg de rodajas a 4 ± 1 °C y 90 % HR. Las mediciones fueron efectuadas al inicio y cada dos días hasta completar el periodo de almacenamiento (12 días). El CO₂ producido por las pitahayas fue determinado por un Analizador Rápido de CO₂/O₂ y los valores resultantes fueron expresados en mgCO₂/kg h. En la Figura 3.28, se puede observar la tasa de respiración de las rodajas de pitahaya amarilla, irradiadas (500 Gy) y de control (0 Gy), almacenadas hasta los 12 días a 4 ± 1 °C.

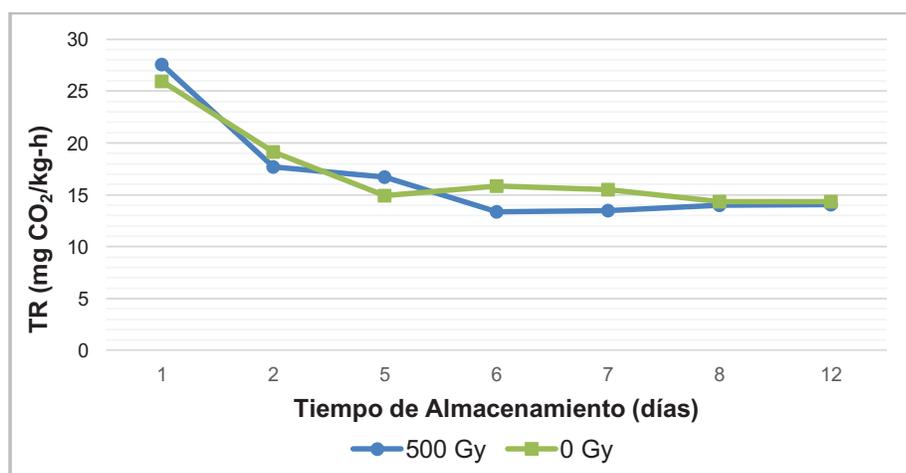


Figura 3.28. Tasa de respiración (mg CO₂/kg h) de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 y 0 Gy, almacenadas hasta 12 días a 4 ± 1 °C

Los valores de tasa de respiración de las rodajas irradiadas y de control, no presentaron diferencias estadísticamente significativas durante el almacenamiento, posiblemente por la baja dosis de radiación utilizada, la cual no fue la suficiente como para alterar la tasa de respiración de las rebanadas.

El valor inicial de TR de las rodajas irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas a 4 ± 1 °C, fue en promedio 27,58 y 25,95 mg CO₂/kg h, respectivamente. Las rodajas presentaron sus máximos valores de TR al inicio del almacenamiento, tal como se lo esperaba por efecto del procesamiento y daño mecánico recibido. Inicialmente las rebanadas a 500 Gy presentaron mayor TR que aquellas de control, con el paso del tiempo la TR de todas las rodajas disminuyó. Al día 5, la actividad respiratoria de las rodajas irradiadas disminuyó en aproximadamente un 16 % respecto a las rodajas de control, hasta el día 8 en el cual la TR de las rodajas a 0 Gy se redujo hasta 14,34 mg CO₂/kg h, valor que se mantuvo hasta el término del almacenamiento. A los 12 días, las rodajas irradiadas registraron una TR muy similar a la de las rodajas de control, con un valor de 14,07 mg CO₂/kg h.

La disminución de la tasa de respiración de la pitahaya cortada fue gradual y no se distinguió ningún pico climatérico durante el almacenamiento.

En otros estudios con mango, piña y melón mínimamente procesados y empacados en films de PET (polietilentereftalato), OPS (poliestireno orientado) y OPLA (polilactida orientada), se reportaron en promedio valores de TR de 64,47, 29,56 y 38 mg CO₂/kg h, respectivamente y presentaron un tiempo de vida útil de 6 días para el mango y melón y 13 días para la piña. La vida en estante de un alimento de IV gama es inversamente proporcional a su tasa de respiración, es así que a mayores valores de TR, menor es su tiempo de vida útil (Rangel-Marrón y López-Malo, 2012, p. 99).

En este experimento los valores de TR fueron bajos comparados con los de otros frutos, por lo que la baja actividad respiratoria por parte de las rodajas de pitahaya permitió que el deterioro de su calidad global sea lento y que por lo tanto su tiempo de vida útil se alargue hasta 12 días.

3.4 DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA, EMPACADA E IRRADIADA

Se desarrolló el diseño de una planta para la producción de pitahaya amarilla cortada, empacada al vacío e irradiada con rayos gamma, con la finalidad de brindar al consumidor un producto innovador, inocuo y listo para consumir, que garantice la calidad nutricional y organoléptica de la pitahaya fresca entera. Se elaboraron empaques al vacío de co-extruído de nylon y polietileno de 13 cm x 21 cm, con alrededor de 150 g de rodajas de pitahaya. El diseño fue realizado en función de los balances de masa y de energía, con los que se elaboró los diagramas BFD, PFD y la distribución en planta (Lay out). El servicio de irradiación se consideró como un servicio externo que prestaría la Escuela Politécnica Nacional, con la fuente de Co-60 recargada a 100 000 Ci.

3.4.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Para el diseño de la planta se tomó como base el 7 % de la producción anual de la Empresa Agrícola Pitacava, que destina a la cadena de supermercados de la Corporación Favorita S.A. Se consideró también que la producción abastecerá únicamente a las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. La planta operará 8 horas diarias, 5 días a la semana y 250 días al año. El bajo porcentaje de fruta utilizado se justificó con el hecho de que la pitahaya cortada es un producto nuevo y al no ser recomendada para el consumo en grandes cantidades, por su efecto laxante, no se vio la necesidad de una producción en serie, sino solo los empaques necesarios para dar a conocer el producto y buscar su estabilidad en el mercado. De los cálculos se obtuvo que se producirán 62 empaques diarios.

3.4.2 DETALLE DEL PROCESO

Las etapas requeridas para la elaboración de pitahaya cortada, irradiada y empacada al vacío son las siguientes:

- ✓ Recepción
- ✓ Cortado 1
- ✓ Pelado
- ✓ Cortado 2
- ✓ Inmersión
- ✓ Empacado y sellado al vacío
- ✓ Irradiación

Todas las etapas del proceso se ejecutarán a una temperatura de 4 °C, excepto la recepción de la materia prima, el empacado, el sellado al vacío y la irradiación de los empaques, operaciones que se efectuarán a temperatura ambiente. La descripción de cada una de las etapas, se encuentra detallada en el Anexo XVII.

3.4.3 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Los balances de masa y de energía para la planta de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada se efectuaron en función de las consideraciones expuestas en los acápites 3.4.1 y 3.4.2. En el Anexo XVII se muestra la cantidad de materia prima y de reactivos necesarios, así como el consumo energético de la planta y los detalles de los balances. En las Figuras AXVIII.1, AXVIII.2 y AXVIII.3 del Anexo XVIII, se presentan los diagramas de bloques del proceso (BFD), el diagrama de flujo (PFD) y la distribución en planta (Layout), respectivamente, los mismos que fueron realizados en función de los balances y la selección de los equipos.

3.4.4 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE PITAHAYA CORTADA, EMPACADA AL VACÍO E IRRADIADA

La estimación de los costos para el tratamiento de irradiación se realizó para un total de 2 500 kg/año de pitahaya cortada y empacada al vacío. Se consideró que la planta va a operar 8 horas diarias, 5 días a la semana y 250 días al año. En el

Anexo XIX, se muestra la Tabla AXIX.1, en la cual se especifican los costos de la materia prima, insumos, servicios básicos y sueldos del personal, mientras que en la Tabla AXIX.2 se detallan los costos de instalaciones, equipos y servicios externos contratados.

Se calculó el valor de un kg de pitahaya cortada empacada al vacío e irradiada en función de los costos detallados en las Tablas AXIX.1 y AXIX.2 del Anexo XIX. Además, se consideró un tiempo de proyección de la planta de 10 años, con el objetivo de que este proyecto se mantenga a través del tiempo. En la Tabla 3.19, se muestran los costos de operación e implementación de esta planta para el tiempo de proyección establecido de 10 años.

Tabla 3.19. Costos de operación e implementación de una planta de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada para una proyección de 10 años

Detalle	Valor
Costo de la materia prima, insumos y servicios básicos [USD]	144 637,00
Costo de personal [USD]	144 000,00
Costo de instalaciones, equipos y utensilios [USD]	48 136,40
Costo de servicios externos [USD]	77 928,00
Costo Total [USD]	414 702,00
Kilogramos de pitahaya cortada en 10 años [kg]	23 250,00
Costo por kilogramo [USD/kg]	17,84
Costo por empaque [USD/150g]	2,68

Como se puede observar en la Tabla 3.19, el costo por empaque de pitahaya cortada es alto a comparación de otros productos, como resultado de la baja producción estimada desde un inicio (9,30 kg/día), el elevado precio de la pitahaya entera, la aplicación de tratamientos como vacío e irradiación y el bajo rendimiento del proceso (78%). Sin embargo, se calculó que el precio de venta de cada empaque de pitahaya cortada, al vacío e irradiada será de 3,50 USD, con una ganancia aproximada del 30 %. Tinitana (2014) estimó que bandejas de 150 g de pitahaya cortada costarían cerca de 2,50 USD, sin ningún tipo de tratamiento adicional.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El peso promedio de las pitahayas caracterizadas en grado de color 4 y 5, correspondió al calibre 16, con valores entre los 111 y 150 g, según la NTE-INEN-025. Los valores de firmeza obtenidos en la caracterización, ubicaron a la pitahaya amarilla en la categoría de frutos blandos. Los valores de pH, acidez titulable y SST la calificaron como un fruto dulce de baja acidez.
- ✓ La calidad visual de las pitahayas en grado de color 5, fue el parámetro más afectado por la radiación gamma. Como resultado, se evidenció una aparición de manchas rojas y un cambio de color, ambos en la corteza de los frutos. Posterior a la irradiación, el color de las pitahayas cambió de amarillo a una tonalidad más oscura de color naranja. Estos efectos fueron más severos a medida que la dosis de radiación aumentó.
- ✓ En el segundo ensayo, las pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 Gy presentaron una mayor pérdida de peso que los frutos control, sin embargo, los valores más bajos se registraron en las pitahayas en grado de color 4 tanto irradiadas como sin irradiar.
- ✓ El incremento de los colores, cyan y magenta en un 10 y 40 %, reflejó el cambio de color de los frutos en grado de color 4 y 5 tras ser irradiados. La tonalidad anaranjada característica de las pitahayas tratadas con rayos gamma fue más notoria en los frutos en grado de color 5 almacenados hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR.
- ✓ El grado de color seleccionado para la irradiación de las pitahayas fue el 4, debido a que las pitahayas irradiadas registraron menores pérdidas de peso y cambios de color. Además, la calidad visual de los frutos presentó

Calidad A, es decir que las pitahayas conservaron sus características iniciales de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos y manchas pardas, hasta el primer periodo de almacenamiento: 7 días a 20 °C y 80 % HR, pero también obtuvieron Calidad B, que implicó pitahayas aptas para el consumo pero con una aparición media de manchas rojas y daño físico, hasta el segundo periodo de almacenamiento: 14 días a 20 °C y 80 % HR.

- ✓ Después de 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C, los frutos de pitahaya irradiados perdieron menor porcentaje de peso y obtuvieron una mayor firmeza que los frutos control. Se distinguió un 20 % más de cian en el color de los frutos control, por lo que estos se mostraron con una tonalidad naranja más fuerte que las pitahayas a 500 Gy. Los valores de pH se incrementaron y el contenido de SST disminuyó posterior a la irradiación; sin embargo, a lo largo de todo el almacenamiento se mantuvieron constantes al igual que la acidez titulable.
- ✓ Las pitahayas irradiadas mostraron deterioro al cabo de 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C; no obstante, presentaron condiciones óptimas para su consumo. Los frutos de control en cambio, fueron considerados para su comercialización únicamente hasta los 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C. Los frutos de pitahaya se distinguieron por su aroma intenso, dulzor, frescura y ausencia de sabores y olores desagradables.
- ✓ La combinación de radiación gamma y refrigeración a 12 °C más 5 días a 20 °C, aumentó en un factor de 2 el tiempo de vida útil de los frutos de pitahaya amarilla entera, ya que se conservaron aptos para su consumo y comercialización hasta los 31 días.
- ✓ No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de tasa de respiración de las pitahayas irradiadas y de control. No se reportó la aparición de ningún pico climatérico durante el almacenamiento de las pitahayas enteras y cortadas.

- ✓ La aplicación de radiación en rodajas de pitahaya hizo que la variación de la pérdida de peso de los empaques sea mínima durante el almacenamiento. La radiación así como el uso de vacío no influyó significativamente en los valores de firmeza, contenido de SST y acidez titulable de las rodajas de pitahaya. Las muestras irradiadas presentaron ligeros incrementos en su pH, por lo que se mostraron menos ácidas.
- ✓ Las rodajas de pitahaya irradiadas al término de los 12 días de almacenamiento no presentaron pardeamiento pero si una ligera marchitez. A los cuatro días, estas fueron consideradas por lo panelistas como frescas, con un aroma débil a fruta, poco ácidas, dulces y sin presencia de sabores extraños, a excepción de las rodajas irradiadas y empacadas al vacío, en las cuales si se detectó una leve presencia de sabores extraños.
- ✓ El conteo de mohos y levaduras, así como el de aerobios totales fue significativamente menor en aquellos tratamientos con radiación, sin embargo, la dosis aplicada no fue la necesaria para inhibir el crecimiento de mohos y levaduras. No existió la presencia de coliformes totales en ninguno de los tratamientos. La vida útil de los empaques de pitahaya cortada e irradiada a 500 Gy fue de 12 días, mientras que para aquellos a 0 Gy fue de 8 días únicamente, debido a la presencia de hongos detectados de forma visual en la superficie de las rodajas.
- ✓ La aplicación de radiación gamma no influyó de manera significativa en la tasa de respiración de la pitahaya amarilla cortada. Los máximos valores de CO₂ se registraron en los días posteriores al empacado, tal como se lo esperaba por efecto del procesamiento de la materia prima.
- ✓ El costo de cada empaque al vacío con 150 g de pitahaya cortada e irradiada fue de 3,50 USD.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Debido a los altos valores de pérdida de peso que registraron las pitahayas amarillas enteras e irradiadas, se recomienda estudiar la combinación entre radiación y revestimientos comestibles en este fruto.
- ✓ El color de los frutos irradiados podría ser evaluado mediante un colorímetro, con la intención de medir de una manera más exacta los cambios de color provocados por efecto de la radiación, en especial con respecto a la luminosidad.
- ✓ Realizar un estudio de mercado para determinar la factibilidad para implementar una planta de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada.

5 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 previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
2. Achón, M., Alonso, E., Varela, G. y García, A. (2006). *Alimentos precocinados*. Recuperado de <http://www.fen.org.es/imgPublicaciones/3152007612.pdf> (Junio, 2014).
3. Ahvenainen, R. (1999). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 7(6), 179-187. doi: 10.1016/0924-2244(96)10022-4.
4. AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*. (18ava ed.). Maryland, USA: AOAC International.
5. Artés-Hernández, F., Aguayo, E., Gómez, P. y Artés, F. (2009). Productos vegetales mínimamente procesados o de la “cuarta gamma”. *Horticultura Internacional*, (69), 52-57. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/extras/extra09/52_57.pdf (Junio, 2015).
6. Arvanitoyannis, I. (2010). *Irradiation of food commodities* (1ra Ed.). San Diego, USA: British Library.
7. Atlas de Histología Vegetal y Animal. (2015). *Tejidos vegetales: Protección* Recuperado de http://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guaida_v_proteccion.php (Julio, 2015).
8. Banco Central del Ecuador. (2014). *Importaciones Pitahaya 1999-2002, 2010-*

2013. Quito, Ecuador: Departamento de Estadística del Banco Central del Ecuador. Recuperado de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp (Abril 2014).
9. Beaulieu, J. y Gorny, J. (2004). *Fresh-Cut Fruits*. Recuperado de <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/freshCutFruits.pdf> (Febrero, 2015).
 10. Belloso, O. y Soliva, R. (2011). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. (1ra Ed.). Lleida, España: CRC Press.
 11. Beltrán-Orozco, M., Oliva-Coba, T., Gallardo-Velázquez, T. y Osorio-Revilla, G. (2009). Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43, 153-162. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000200007 (Abril, 2015).
 12. Brennan, J. y Grandison, A. (2012). *Food Processing Handbook* (2da ed.). Weinheim, Alemania: WILEY-VCH.
 13. Brusó, J. (2008). *Dragon fruit health benefits*. Recuperado de <http://healthyeating.sfgate.com/dragon-fruit-health-benefits-3717.html> (Abril 2015).
 14. Calado, T., Venâncio, A. y Abrunhosa, L. (2014). Irradiation for Mold and Mycotoxin Control: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 1049-1061. doi: 10.1111/15414337.12095.
 15. Calderón, V. (2010). *Control de Calidad en Frutas y Hortalizas frescas mínimamente procesadas*. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/upload/laboratorios/alimentos/BROCHURE%20CONTROL%20DE%20CALIDAD%20FRUTAS.pdf> (Agosto, 2015).
 16. Calvo, M. (2013). *Tirosinasa*. Recuperado de

- <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/enzimas/tirosinasa.html> (Julio, 2015).
17. Cantwell, M. y Suslow, T. (2002). *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Aspects of Physiology, Preparation and Handling that Affect Quality*. Recuperado de <http://ucanr.edu/datastoreFiles/608-357.pdf> (Julio, 2015).
 18. Chemah, T.C., Aminah, A., Noriham, A. y Wan Aida, W.M. (2010). Determination of pitaya seeds as a natural oxidant and source of essential fatty acids. *International Food Research Journal*, 17, 1003-1010. Recuperado de [http://www.ifrj.upm.edu.my/17%20\(04\)%202010/\(20\)%20IFRJ-2009-188%20Chemah%20Malaysia\[1\].pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/17%20(04)%202010/(20)%20IFRJ-2009-188%20Chemah%20Malaysia[1].pdf) (Mayo, 2015).
 19. CNS. (2004). Consejo de Seguridad Nuclear. *Guía del Profesor. El CSN y las radiaciones*. Recuperado de <http://www.csn.es/descarga/gupro.pdf> (Mayo, 2015).
 20. Codreși, C., Râpeanu, G. y Alexe, P. (2012). Evolution of flavoured compounds during maturation of Chardonnay grapes. *Journal of Agroalimentary processes and Technologies* 18 (3), 242 – 246. Recuperado de [http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/66117L14_Codresi_Vol.18\(3\)_2012.pdf](http://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/66117L14_Codresi_Vol.18(3)_2012.pdf) (Agosto, 2015).
 21. Conesa, J. y Gomariz, A. (2006). *Conoce los nuevos alimentos* (1era. ed.). Madrid, España: ARÁN Ediciones S.L.
 22. Corpoica. (2013). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. *Tecnología para el manejo de pitahaya amarilla Selenicereus megalanthus (K. Schum. Ex Vaupel) Morán en Colombia*. Recuperado de http://people.scalenet.info/wp-content/uploads/2009/11/Manual-manejo-pitaya-amarilla_2013.pdf (Abril, 2015).

23. Delgado, A., Kondo, T., Imbachi, K., Quintero, E., Manrique, M. Y Medina, J. (2010). Biología y algunos datos morfológicos de la mosca del botón floral de la pitahaya amarilla, *Dasiops saltans* (Townsend) (díptera: Lonchaeidae) en el Valle del Cauca. *Boletín del Museo Entomológico de la Universidad del Valle*, 11(2), 1-10. Recuperado de http://people.scalenet.info/wp-content/uploads/2009/11/Cartilla_Dasiops_saltans.pdf (Mayo, 2015).
24. Díaz, J. (2005). Biología y manejo poscosecha de pitahaya roja y amarilla (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*). *La Calera*, 5(6), 44-49. Recuperado de <http://lacialera.una.edu.ni/index.php/calera/article/view/71/71> (Abril, 2015).
25. Diccionario Médico. (2008). *Yodóforo*. Recuperado de <http://diccionario.medciclopedia.com/y/yodoforo/> (Julio, 2015).
26. Domene, M. Y Rodríguez, M. (2014). *Parámetros de Calidad Interna de Hortalizas y Frutas en la Industria Agroalimentaria*. Recuperado de <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferecia/005-calidad-interna-1410512030.pdf> (Agosto, 2015).
27. Dueñas, Y., Narváez, C. y Restrepo, L. (2012). Ablandamiento de frutos de pitahaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) a temperatura ambiente y en refrigeración: Actividad de Poligalacturonasa, Celulasa y Xilanas. *Acta Biológica Colombia*, 17(2), 259-270. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v17n2/v17n2a3.pdf> (Septiembre, 2015)
28. ECOFINSA. (2011). *Pitahaya*. Recuperado de <http://www.ecofinsa.com/pitahaya.html> (Febrero, 2014).
29. EFSA. (2011). European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the Chemical Safety of Irradiation of Food. *EFSA Journal*, 9(4), 1-57. Recuperado de <http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/doc/1930.pdf> (Mayo, 2015).

30. Esquivel, P. y Araya, Y. (2012). Características del fruto de pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos*, 3(1), 113-129. Recuperado de http://www.rvcta.org/Publicaciones/Vol3Num1/ArchivosV3N1/Esquivel_Patricia_y_Araya-Quesada_RVCTA-V3N1.pdf (Abril, 2015).
31. Fan, X., Niemera, B., Mattheis, J., Zhuang, H. y Olson, D. (2005). Quality of Fresh-cut Apple Slices as Affected by Low-dose Ionizing Radiation and Calcium Ascorbate Treatment. *Journal of Food Science*, 70(2), 143-148. Recuperado de <http://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=8370&content=PDF> (Diciembre, 2015).
32. FAO. (2013). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055S02.htm#1> (Abril, 2015).
33. Fellows P. (2000). *Tecnología del procesado de alimentos: Principios y Práctica* (2da. Ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA S.A.
34. García, E., Gago, L. y Fernández, J. (2002). *Tecnologías de envasado en atmósfera protectora* (1era ed.). Madrid, España: Elecé.
35. García, E. y Barret, D. M. (2002). *Preservative Treatments for Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. Recuperado de http://ucanr.org/sites/Zann_test/files/28711.pdf (Junio, 2015).
36. Guerrero, M. (2015). *Estudio del manejo poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) procedente del cantón Pedro Vicente Maldonado de la Provincia de Pichincha* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

37. Guevara, E. y Jiménez, V. (2000). *Principios y aplicaciones de la fisiología vegetal: Manual de laboratorio* (1era ed.). San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
38. González, G. y Rabin, C. (2011). *Para entender las radiaciones* (1era ed.). Montevideo, Uruguay: DIRAC.
39. Hernández, F. (2015). *La humedad del aire, el punto de rocío y su importancia en la Agricultura*. Recuperado de http://www.agro-tecnologia-tropical.com/la_humedad.html (Mayo, 2015).
40. Hernández, M., Barrera, J. y Melgarejo, L. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal: Fisiología poscosecha*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/> (Abril, 2015).
41. Herrero, A. y Romero, M. (2006). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista Médica Universidad Navarra*, 50(4), 71-74. Recuperado de http://www.unav.es/revistamedicina/50_4/10-INNOVACIONES.pdf (Junio, 2015).
42. Hough G. (2010). *Sensory Shelf Life Estimation of Food Products* (1era. ed.). New York, USA: Taylor and Francis Group.
43. Hui, Y. H. (2006). *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (1era ed.). Iowa, USA: Blackwell Publishing.
44. Hutchings, J. (2012). *Food Colour and Appereance* (1era ed.). New York, USA: Springer Science & Business Media.
45. Ibarzabal, U. (2006). IV Gama: Hortalizas para los nuevos tiempos. *Revista Agropesquera*, (75), 42-47. Recuperado de http://www.nasdap.ejgv.euskadi.eus/r50-7393/es/contenidos/boletin_revista/sustrai_75/es_agripes/adjuntos/75_42_47_c.pdf (Julio, 2015).
46. ICA. (2012). Instituto Colombiano Agropecuario. *Manejo fitosanitario del*

- cultivo de la pitahaya (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer*. Recuperado de <http://www.ica.gov.co/getattachment/87a2482e-a36a-4380-80ae-11072d0c717c/-nbsp;Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-pitahaya.aspx>. (Abril, 2015).
47. ICGFI. (1999). International Consultative Group on Food Irradiation FAO/IAEA. *Facts about food irradiation*. Recuperado de <http://www.piwet.pulawy.pl/irradiacja/factsaboutfoodirradiation.pdf> (Mayo, 2015).
48. IFICF. (2010). International Food Information Council Foundation. *Entender nuestros alimentos Herramientas de comunicación*. Recuperado de <http://www.foodinsight.org/Content/5519/UnderstandingOurFoodSpanish.pdf> (Junio, 2015).
49. IFPA. (2002). International Fresh-Cut Produce Association. *Fresh-cut facts*. Recuperado de <http://www.creativew.com/sites/ifpa/fcf.html> (Junio, 2015).
50. INEN. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos*. NTE INEN 1334-1. Quito. Ecuador.
51. INEN. (2005). Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Frutas Frescas. Pitajaya amarilla. Requisitos*. NTE INEN 2003:05. Quito. Ecuador.
52. Jordán, D., Vásquez, José., Veliz, C. y González, V. (2009). *Producción y Exportación de la Fruta Pitahaya hacia el mercado Europeo*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6307/1/Produccion%20y%20Exportacion%20de%20la%20fruta%20Pitahaya%20hacia%20el%20mercado%20Europeo.pdf>. (Abril, 2015).
53. Kader, A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. (3era ed.). Oakland, USA: University of California.

54. Kader, A. (2003). A perspective on Postharvest Horticulture (1978-2003). *HortScience*, 38(5), 1004-1008. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/38/5/1004.full.pdf> (Junio, 2015).
55. Komolprasert, V. y Morehouse, K. (2004). *Irradiation of Food and Packaging*. doi: 10.1021/bk-2004-0875.ch006.
56. Küppers, H. (2002). *Atlas de los Colores*. (1era ed.). Barcelona. España: Blume.
57. Lacroix M. y Ouattara B. (2000). *Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products*. Recuperado de http://www.elsevier.com/s/search.html?profile=_default&form=sitesearch&collection=elsevier-meta&query=28200029712724 (Febrero, 2014).
58. Ladaniya, M., Shyam, S. y Wadhawan, A. (2003). Response of Nagpur mandarin, Mosambi sweet orange and Kagzi acid lime to gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 67, 665-667. doi: 10.1016/S0969-806X(02)00480-2.
59. Lamikanra, O. (2002). *Fresh-cut Fruits and Vegetables* (1era ed.). Boca Ratón, USA: CRC Press.
60. León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (3era. Ed.). San José, Costa Rica: Agroamérica.
61. Linde, A. (2010). *Estudio y demostración del procesado de diferentes frutas en iv gama (Mangos y aguacates) y pulpa y smoothie de mango para el GDR de la Axarquía*. Recuperado de <https://frutales.files.wordpress.com/2011/01/o-01-iv-gama-mango-aguacate.pdf> (Junio, 2015).
62. López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*.

Del campo al mercado (1 era ed.). Roma: FAO.

63. Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., Saucedo, C., Cañizares, E. y Sauri, E. (2004). Efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus Haworth*). *Cultivos tropicales*, 25(4), 33-39. doi: 193225911003.
64. MINSA/DIGESA (Ministerio de Salud/Dirección General de Salud Ambiental). (2008). *Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano*. Lima, Perú.
65. Morris, S. (2011). *Food and Package Engineering* (1era ed.). Oxford, Reino Unido: WILEY-BLACKWELL.
66. Morton, S. y Marquina, P. (2000). *La irradiación de alimentos* (1era ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA S.A.
67. Narvaiz, P. (2004). *Irradiación de alimentos: Donde estamos, y a donde queremos ir (comercialización de productos irradiados)*. Recuperado de <http://caebis.cnea.gov.ar/aplicaciones/alim/Irra1.html#comercializacion> (Mayo, 2015).
68. Narvaiz, P. (2009). Irradiación de alimentos: situación en 2009. *Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA*, 33, 1-8. Recuperado de <http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/narvaiz.pdf> (Mayo, 2015).
69. Norma Técnica Colombiana. (1996). *Frutas Frescas: Pitahaya Amarilla*. NTC 3554. Colombia.
70. Ospina, S. y Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123. doi: 695562.
71. Paredes, K. (2014). *Estudio del efecto del hidrotatamiento y la utilización de dos tipos de empaque en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla*

(*Selenicereus megalanthus*). (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

72. Parzanese, M. (2010). *Ficha N°11. Tecnologías para la industria alimentaria: Vegetales mínimamente procesados*. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_11_Vegetales.pdf (Junio, 2015).
73. Patil, B., Vanamala, J., Hallman, G. (2004). Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season “Rio Red” grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 34, 53-64. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/sci-hub.org/science/article/pii/S0925521404000948#> (Septiembre, 2015).
74. Pedrique, M. y Gutiérrez, S. (2008). *Cultivo de microorganismos*. Recuperado de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_5_Cultivo.pdf (Diciembre, 2015).
75. Picha, D. (2000). *Análisis de Factibilidad para Usar Tecnología de Enfriamiento en el Desarrollo del Comercio de Productos Frescos en Nicaragua*. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnacr258.pdf (Mayo, 2015).
76. Pimentel, R. y Walder, J. (2004). Gamma irradiation in Papaya Harvested at Three Stages of Maturation. *Scientia Agricola*, 61(2), 146-150. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/sa/v61n2/19354.pdf> (Octubre, 2015).
77. Pradell, T. (2005). *Irradiación de alimentos* (1era ed.). Barcelona, España: Mercè Raventós.
78. PRO ECUADOR. (2013). *Pitahaya en Singapur*. Recuperado de

- http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/02/PROEC_PPM2013_PITAHAYA_SINGAPUR_I.pdf(Abril 2015).
79. PRO ECUADOR. (2012). *Análisis Sectorial de Frutas no Tradicionales*. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/11/PROEC_AS2012_FRUTAS.pdf (Abril, 2014).
80. RAE. (2014). *Pedúnculo y Tutores*. Recuperado de <http://lema.rae.es/drae/?val> (Julio, 2015).
81. Rangel-Marrón, M. y López-Malo, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94-109. Recuperado de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rangel-Marron-et-al-2012.pdf> (Diciembre, 2015).
82. Reglamento Técnico Centroamericano. (2008). *Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos*. RTCA 67.04.50:08. Centroamérica: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Nicaragua y Honduras.
83. Robles-Sánchez, M., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Astiazarán-García, H., González-Aguilar, G., y Cruz-Valenzuela, R. (2007). Frutos Tropicales Mínimamente Procesados: Potencial Antioxidante y su Impacto en la Salud. *Interciencia*, 32(4), 227-232. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v32n4/art05.pdf> (Junio, 2015).
84. Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Wiseblum, A., Horev, B. y Vinokur, Y. (2000). Nested modified-atmosphere packages maintain quality of trimmed sweet corn during cold storage and the shelf life period. *Postharvest Biology and Technology*, 18(3), 259-266. doi: 10.1016/S0925-5214(99)00079-4.

85. Rodríguez, A. (2000a). Producción y Comercialización de Pitahayas en México. *Claridades Agropecuarias*. 1(108), 3-22. Recuperado de <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaCBasicos/trigoca082.pdf> (Abril, 2015).
86. Rodríguez, A. (2000b). Panorama Internacional de la Producción y Comercialización de Pitahayas. *Claridades Agropecuarias*. 1(108), 25-39. Recuperado de <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaCBasicos/trigoca082.pdf> (Abril, 2015).
87. Rodríguez, A., García, J., González, M., Jiménez, C., Moreno, M., Pallares, L., Ramírez, V., Rosas, L., Rueda, R., Trejo, E., Velazco, S. y Zárate, E. (1993). *El cultivo de pitahaya en Yucatán*. UACH y Gobierno del estado de Yucatán. Yucatán, México. Recuperado de <http://www.crupy-uach.org.mx/img/biblioteca/doc/47f37f0d62841fc3895f03ac3f6e3c21.pdf> (Abril 2015).
88. Rodríguez D., Patiño M., Miranda D., Fischer G. y Galvis J. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitayaha amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 58 (2), 2837-2857. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?!Cve=179914237004> (Abril, 2014).
89. Rossi, L., Watson, D., Escandarani, S., Miranda, A. y Troncoso, A. (2009). La radiación en la mesa. *Revista Chilena Infectología al Día*, 26(4), 318-330. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182009000500003&lng=es&tlng=es.%2010.4067/S0716-10182009000500003 (Mayo, 2015).
90. Rotondo, R., Ferrato, J. y Firpo, I. (2008). Hortalizas mínimamente

- procesadas o de IV Gama. *Revista agromensajes de la Facultad*, 26(3). Recuperado de <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm> (Abril, 2014).
91. SALVAT Diccionario. (1986). *Ecotipo, Esquejes, Laxante, Pectina y Perenne*. (Tomos 2, 9, 11, 16 y 21). Barcelona, España: Salvat Editores.
92. Siddiq, M. (2012). *Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging* (1era ed.). Oxford, Reino Unido: WILEY-BLACKWELL.
93. Sierra, M. (2004). Frutas de IV gama en los lineales españoles. *Horticultura internacional*, 44, 38-45. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi44/038_045.pdf (Junio, 2015).
94. StatPoint, Inc. (2007). STATGRAPHICS Centurion XVI. Versión 16.2.11. Warrenton, VA. USA.
95. Suárez, R. (2001). Conservación de alimentos por irradiación. *Revista Invenio*, 4(6), 85-124. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87740608> (Mayo, 2015).
96. Tafolla-Arellano, J., González-León, A., Tiznado-Hernández, M., García, L. y Báez-Sañudo, R. (2013). Composición, Fisiología y Biosíntesis de la Cutícula en Plantas. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 36(1), 3-12. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n1/v36n1a1.pdf> (Septiembre, 2015).
97. Tinitana, R. (2014). *Estudio de la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus) minimamente procesada (fresh-cut)*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
98. Torres, R., Montes, E., Pérez, O. y Andrade R. (2013). *Relación del color y del*

estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales 24(3), 51-56. doi: 10.4067/S0718-07642013000300007.

99. Tosun, I., Ustun, N. y Tekguler, B. (2008). Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia Agricola*, 65(1), 87-90. doi: 10.1590/S0103-90162008000100012.
100. Vargas, L., Tamayo, J., Centurión, A., Tamayo, E., Saucedo, C. y Sauri, E. (2010). Vida útil de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(2), 154-161. doi: 81315809007.
101. Vega, L. e Iñarritu, M. (2010). *Fundamentos de nutrición y dietética*. (1era ed.). México D.F., México: Pearson Custom Publishing.
102. Viña, Z. y Chávez, A. (2005). IV Gama: Tecnologías aptas para la conservación de hortalizas. *Revista Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos*, 21, 37-41. Recuperado de <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210665.pdf> (Junio, 2015).
103. WAGNER. (2014). *Fruit Firmness Testing*. Recuperado de <http://www.fruittest.com/wagnerpdfs/fruitfirmnesstesting.pdf> (Agosto, 2015).
104. Wall, M. (2012). *Quality of Irradiated Tropical Fruit*. Recuperado de [http://www.hawaiitropicalfruitgrowers.org/conferences/2012/2012_USD A_Quality_of_Irradiated_Tropical_Fruit.pdf](http://www.hawaiitropicalfruitgrowers.org/conferences/2012/2012_USD_A_Quality_of_Irradiated_Tropical_Fruit.pdf) (Septiembre, 2015).
105. Wall, M y Khan, S. (2008). Postharvest Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus spp.*) after X-ray Irradiation Quarantine Treatment. *HortScience* 43(7), 2115-2119. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/43/7/2115.full> (Septiembre, 2015).
106. Wongs-Aree, Ch. y Noichinda, S. (2014). *Postharvest Physiology and Quality Maintenance of Tropical Fruits*. doi: 10.1016/B978-0-12-408137-

6.00010-7.

107. Yahia, E. (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. (1era. ed.). Cambridge, Reino Unido: Woodhead Publishing.

ANEXOS

ANEXO I

**CARTA DE COLOR PARA PITAHAYA AMARILLA SEGÚN
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 3554**



(NTC 3554, 1996)

Figura AI.1. Tabla de color de la pitahaya amarilla

Color 0: Fruto bien desarrollado de color verde, con aristas claramente marcadas en las mamilas.

Color 1: Fruto de color verde, con una ligera zona amarilla en la zona basal. Permanece la forma de las aristas.

Color 2: Fruto de color verde con zonas amarillas en toda la superficie.

Color 3: Fruto de color verde-amarillo. Inicia el llenado de las mamilas y la separación entre ellas.

Color 4: Fruto de color amarillo, punta de las mamilas de color verde y aumenta la separación entre ellas.

Color 5: Fruto de color amarillo, punta de las mamilas ligeramente verdosas.

Color 6: Fruto totalmente amarillo (NTC 3554, 1996).

ANEXO II

COSECHA, LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE PITAHAYAS EN LA
EMPRESA AGRÍCOLA PITACAVA

Figura AII.1. Selección de pitahayas por grado de color (1), corte del pedúnculo durante la cosecha (2), limpieza de frutos y remoción de impurezas (3), desinfección de pitahayas (4) y secado de los frutos (5).

ANEXO III

ESCALA UTILIZADA PARA LA EVALUACIÓN DEL COLOR EN LA PITAHAYA ENTERA

En la Figura AIII.1, se observa la escala de colores presentados por las pitahayas enteras en este estudio. Con base en este gama de colores se pudo identificar de una mejor manera el cambio de color que sufrieron los frutos a causa de la irradiación.

Y99

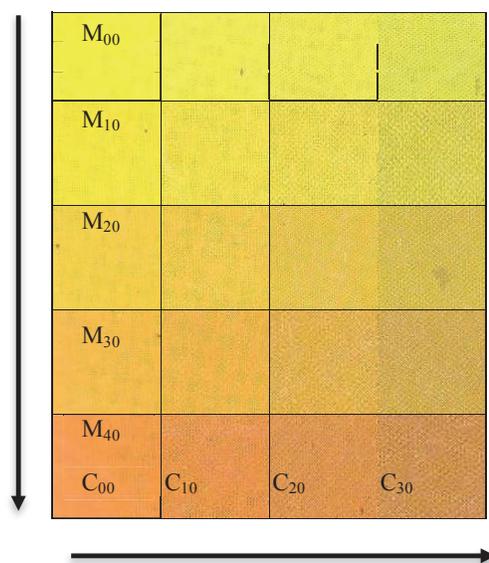


Figura AIII.1. Códigos de los colores pertenecientes a la carta Y99 del Atlas de Colores de Küppers

Las cartas de color presentan 5 colores elementales que son: amarillo (Y), cian (C), magenta (M), negro (N) y blanco, la combinación entre ellos es lo que se conoce como matiz. A cada mezcla de color le corresponde un valor de porcentaje, el cual representa la proporción de área cubierta por cada color elemental. Existen cinco tablas de color en series, las tres primeras son conocidas como mezclas acromáticas por la intervención del color negro y las dos últimas

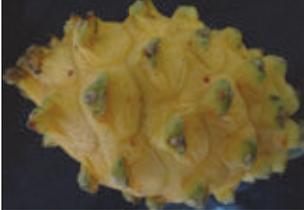
son denominadas mezclas cromáticas por la participación de los colores restantes (Küppers, 2007, pp. 17-18).

Para identificar un matiz, se debe elegir primero la tabla de color, luego realizar un desplazamiento en el eje vertical y por último otro en el eje horizontal, hasta situarse en la escala apropiada (Küppers, 2007, pp. 17-18). Por ejemplo, en la caracterización de las pitahayas en grado de color 4, el código resultante fue el $Y_{99}M_{00}C_{30}$, la coordenada Y_{99} representó a la tabla de color escogida, la coordenada M_{00} fue el desplazamiento en el eje vertical y por último la coordenada C_{30} fue el desplazamiento en el eje horizontal, en la dirección que se indica en la Figura AIII.1.

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

TURGENCIA

				
5	4	3	2	1
Fresco	Ligeramente seco	Medianamente seco	Seco	Muy seco

(Modificado: Timitana, 2014, p. 118)

Figura AIV.1. Escala de turgencia para frutos de pitahaya amarilla

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

MARCHITEZ DEL PEDÚNCULO

				
5	4	3	2	1
Ninguno	Discreto	Moderado	Severo	Extremo

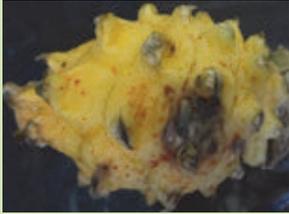
(Timitana, 2014, p. 119)

Figura AIV.2. Escala de marchitez del pedúnculo para frutos de pitahaya amarilla

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

PRESENCIA DE PATÓGENOS

				
5	4	3	2	1
Ninguno	< 5%	5-10%	10-25%	> 25%

(Modificado: Timitana, 2014, p. 121)

Figura AIV.3. Escala de presencia de patógenos en frutos de pitahaya amarilla

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

PRESENCIA DE MANCHAS PARDAS

				
5	4	3	2	1
Ninguno	<5 %	5-10 %	10-25 %	>25 %

(Paredes, 2014, p. 102)

Figura AIV.4. Escala de manchas pardas para frutos de pitahaya amarilla

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

PRESENCIA DE MANCHAS ROJAS

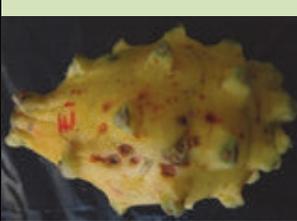
			
4	3	2	1
Ninguna	Leve	Media	Severa

Figura AIV.5. Escala de aparición de manchas rojas en frutos de pitahaya amarilla

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

DAÑO FÍSICO EN PITAHAYA AMARILLA EN GRADO DE COLOR 5

				
5	4	3	2	1
Ninguno	< 5%	5-10%	10-25%	> 25%

(Modificado: Tinitana, 2014, p. 120)

Figura AIV.6. Daño físico para frutos de pitahaya amarilla en grado de color 5

ANEXO IV

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA ENTERA

DAÑO FÍSICO EN PITAHAYA AMARILLA EN GRADO DE COLOR 4

			
4 Ninguno	3 Leve	2 Medio	1 Severo

(Modificado: Timitana, 2014, p. 120)

Figura AIV.7. Daño físico para frutos de pitahaya amarilla en grado de color 4

ANEXO VI

TABLAS DEL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)

Tabla AVI.1. Análisis de la varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de frutos de pitahaya

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor p
Efectos principales					
<i>A: Factor dosis</i>	58,1977	2	29,0988	10,53	0,0000
<i>B: Factor de bloqueo</i>	823,986	1	823,986	298,07	0,0000
<i>Residual</i>	486,538	176	2,76442		
<i>TOTAL (corregido)</i>	1368,72	179			

Tabla AVI.2. Análisis de la varianza (ANOVA) para la turgencia de los frutos de pitahaya

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor p
Efectos principales					
<i>A: Factor dosis</i>	4,26667	2	2,13333	5,45	0,0048
<i>B: Factor de bloqueo</i>	34,8222	2	17,4111	44,49	0,0000
<i>Residual</i>	103,711	265	0,391363		
<i>TOTAL (corregido)</i>	142,8	269			

Tabla AVI.3. Análisis de la varianza (ANOVA) para la presencia de patógenos (%) en frutos de pitahaya amarilla

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor-P
Efectos principales					
<i>A: Factor dosis</i>	5,6	2	2,8	4,84	0,0086
<i>B: Factor de bloqueo</i>	140,956	2	70,4778	121,82	0,0000
<i>Residual</i>	153,311	265	0,578532		
<i>TOTAL (corregido)</i>	299,867	269			

Tabla AVI.4. Análisis de la varianza (ANOVA) para la presencia de manchas pardas (%) en frutos de pitahaya amarilla

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor p
Efectos principales					
<i>A: Factor dosis</i>	69,4296	2	34,7148	40,27	0,0000
<i>B: Factor de bloqueo</i>	137,363	2	68,6815	79,68	0,0000
<i>Residual</i>	228,426	265	0,861985		
<i>TOTAL (corregido)</i>	435,219	269			

Tabla AVI.5. Análisis de la varianza (ANOVA) para el aroma en frutos de pitahaya amarilla

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fo	Valor p
Efectos principales					
<i>A: Factor dosis</i>	7,34444	2	3,67222	10,42	0,0001
<i>B: Factor de bloqueo</i>	1,42222	1	1,42222	4,04	0,0461
<i>Residual</i>	62,0111	176	0,352336		
<i>TOTAL (corregido)</i>	70,7778	179			

ANEXO VII

**FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYAS EN GRADO DE COLOR 5
IRRADIADAS A 3 DOSIS Y ALMACENADAS HASTA 14
DÍAS A 20 °C Y 80 % HR**

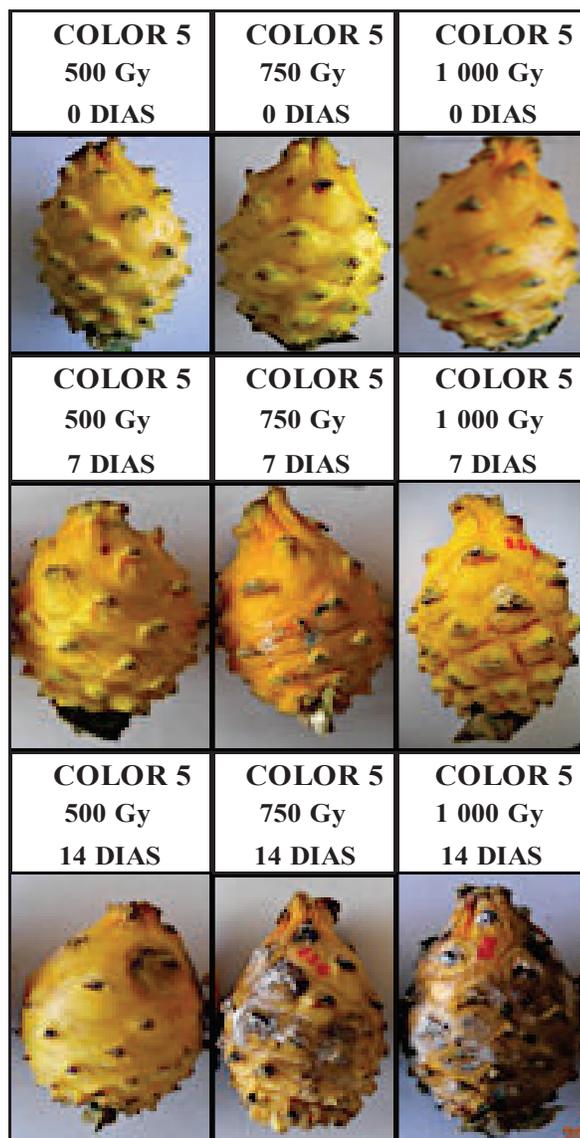


Figura AVII.1. Pitahayas en grado de color 5 irradiadas a las dosis de 500, 750 y 1 000 Gy almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR.

ANEXO VIII

**FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYAS EN GRADO DE COLOR 4
Y 5 IRRADIADAS A 500 Y 0 Gy ALMACENADAS HASTA
14 DÍAS A 20 °C Y 80 % HR**

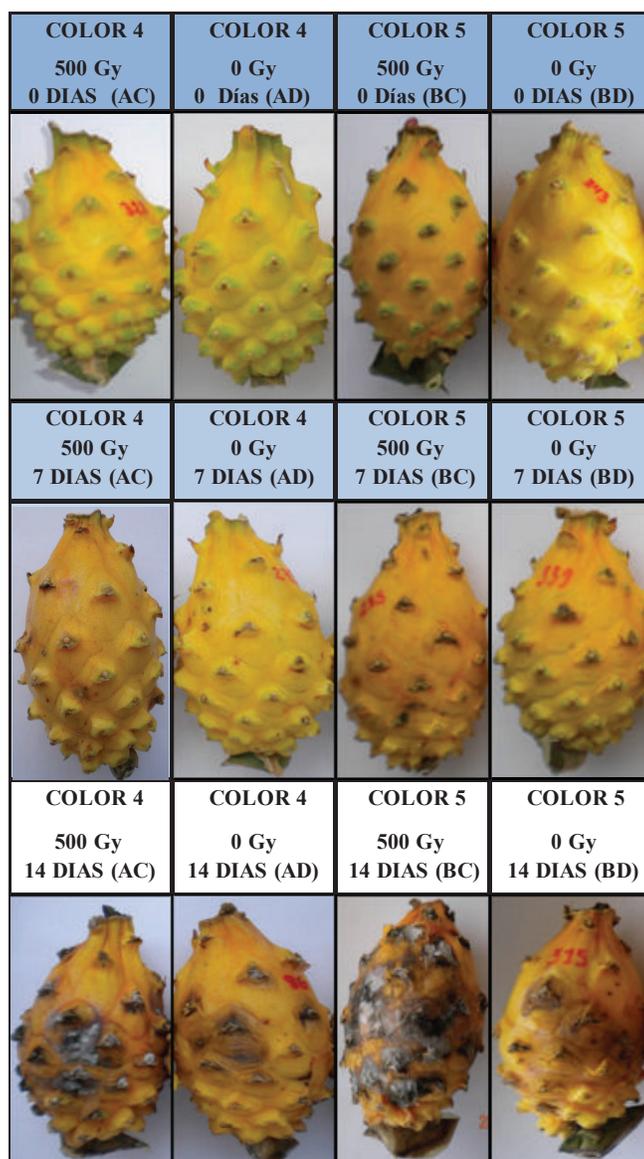


Figura AVIII.1. Pitahayas en grado de color 4 y 5 irradiadas a 500 y 0 Gy (control) almacenadas hasta 14 días a 20 °C y 80 % HR

ANEXO IX

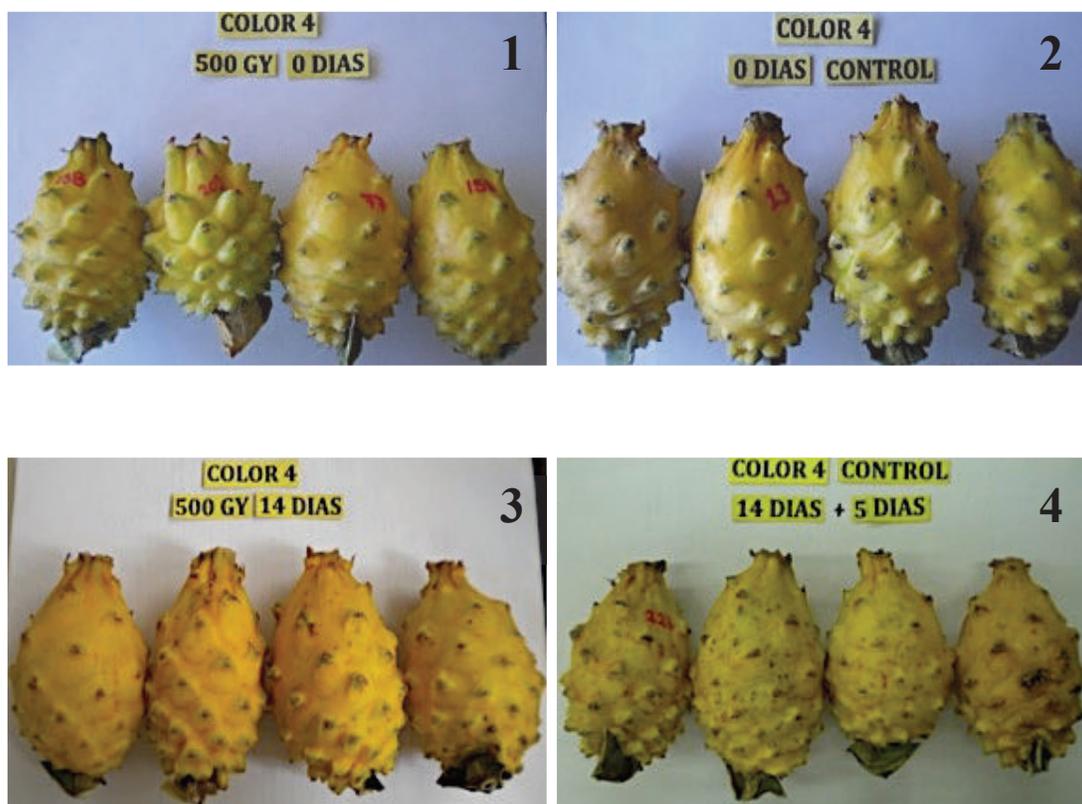
FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYAS ENTERAS
ALMACENADAS EN CONDICIONES DE
REFRIGERACIÓN

Figura AIX.1. Pitahayas en grado de color 4 inmediatamente irradiadas a 500 Gy (1), a 0 Gy y a los 0 días posterior a la irradiación (2), irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (3), irradiadas a 0 Gy y almacenadas hasta 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (4)

ANEXO IX

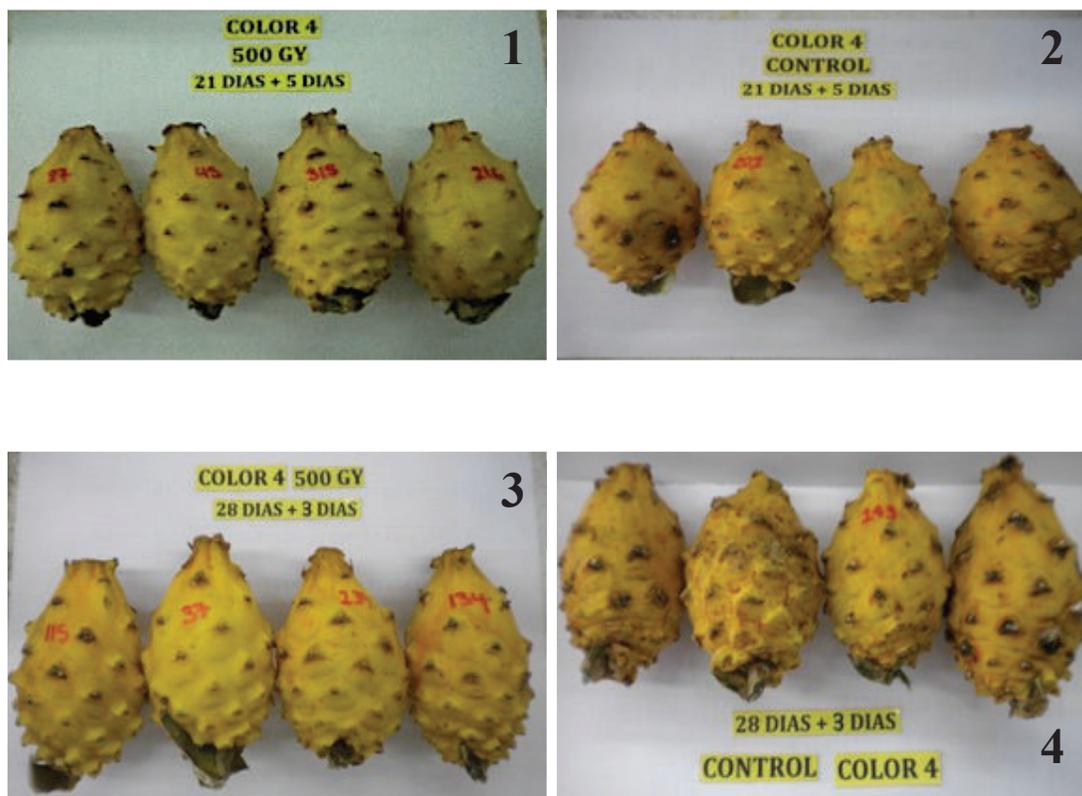
FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYAS ENTERAS
ALMACENADAS EN CONDICIONES DE
REFRIGERACIÓN

Figura AIX.2. Pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (1), a 0 Gy y almacenadas hasta 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C (2), irradiadas a 500 Gy y almacenadas hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C (3), irradiadas a 0 Gy y almacenadas hasta 28 días a 12 °C más 3 días a 20 °C (4)

ANEXO X

FICHA DE EVALUACIÓN PARA EL ANÁLISIS

SENSORIAL DE LOS FRUTOS ENTEROS



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

PRODUCTO: PITAHAYA AMARILLA ENTERA

NOMBRE: **FECHA:**..... **HORA:**.....

Usted ha recibido dos muestras para evaluar. La prueba consiste en valorar cada una de las muestras en relación a los atributos pedidos y señalar en la escala con una raya vertical la calificación, sobre dicha raya debe colocarse el correspondiente número de muestra.

ATRIBUTO
AROMA (Sabor + Olor)

No.

No.

Insípido

Intenso

APARIENCIA:

Muy Seco

Muy Fresco

DULZOR:

Débil

Fuerte

SABORES EXTRAÑOS:

Ausencia

Presencia Intensa

OBSERVACIONES:

.....

.....

Gracias por su colaboración.
AN/SV

ANEXO XI

FOTOGRAFÍAS DE LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA
FRESH-CUT

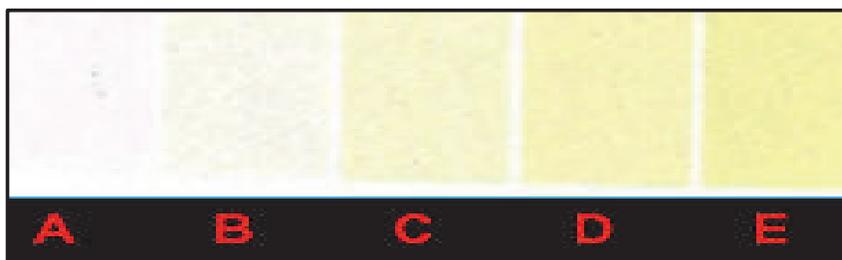
Figura AXI.1. Cortado de extremos (1), pelado (2), rebanado de pitahayas (3), inmersión de rodajas en solución de ácidos (4), pesado (5) y empacado al vacío (6)

ANEXO XII

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA CORTADA

PARDEAMIENTO DE RODAJAS DE PITAHAYA

En la Figura AXIII.1, se observa la escala de pardeamiento de las rodajas de pitahaya amarilla, la cual fue tomada de la tercera parte del Atlas de Colores de Küppers, denominada “mezcla acromática con el negro-campo del verde”, esta carta de color correspondió a la escala del negro al 0 % (N00) (Küppers, 2007, p. 47). Con base en esta gama de colores se pudo identificar de una mejor manera el cambio de color que sufrieron las rodajas de pitahaya irradiadas y empacadas al vacío durante el almacenamiento.



(Modificado: Tinitana, 2014, p. 125)

Figura AXII.1. Carta N00 del Atlas de Colores de Küppers para determinar la escala de pardeamiento de rodajas de pitahaya amarilla durante el almacenamiento

Las letras A, B, C, D y E, correspondieron a las puntuaciones de 5, 4, 3, 2 y 1 de la escala de evaluación, en la cual 5 se le asignó a la mejor cualidad del atributo, y 1 a la peor. Para el caso de la letra A el pardeamiento fue considerado como ninguno, para la letra B como discreto, para la letra C como medio, para la letra D como severo y para la letra E como extremo.

ANEXO XII

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA CORTADA

MARCHITEZ DE RODAJAS DE PITAHAYA

 5	 4	 3	 2	 1
Ninguno	Discreto	Moderado	Severo	Extremo

(Tinitana, 2014, p. 127)

Figura AXII.2. Escala de marchitez para rodajas de pitahaya amarilla

ANEXO XII

ESCALAS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA CORTADA

PRESENCIA DE HONGOS DE RODAJAS DE PITAHAYA

				
5	4	3	2	1
Ninguno	< 5%	5-10%	10-25%	> 25%

(Modificado: Tinitana, 2014, p. 128)

Figura AXII. 3. Escala de presencia de hongos en rodajas de pitahaya amarilla

ANEXO XIII

FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYA FRESH-CUT
ALMACENADA

0 DÍAS



Figura AXIII.1. Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 0 días de la aplicación de rayos gamma.

ANEXO XIII

FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYA FRESH-CUT
ALMACENADA

4 DIAS

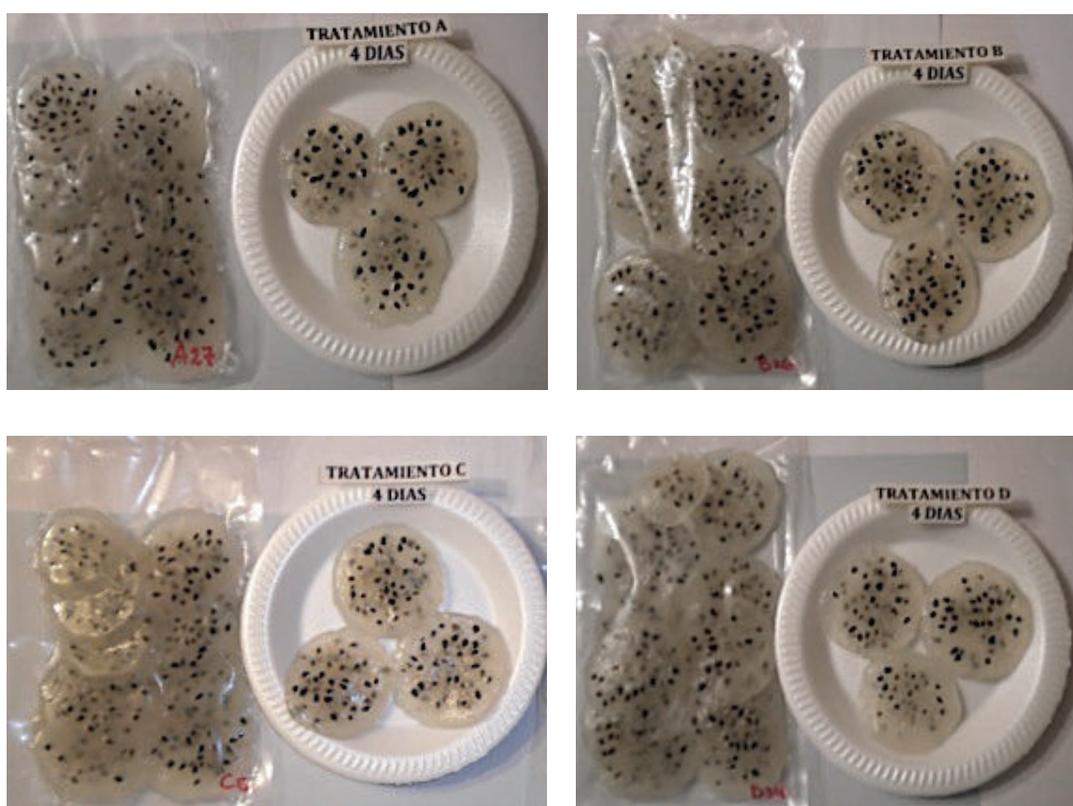


Figura AXIII.2. Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 4 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

ANEXO XIII

FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYA FRESH-CUT
ALMACENADA

8 DIAS



Figura AXIII.3. Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 8 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

ANEXO XIII

FOTOGRAFÍAS DE PITAHAYA FRESH-CUT
ALMACENADA

12 DIAS

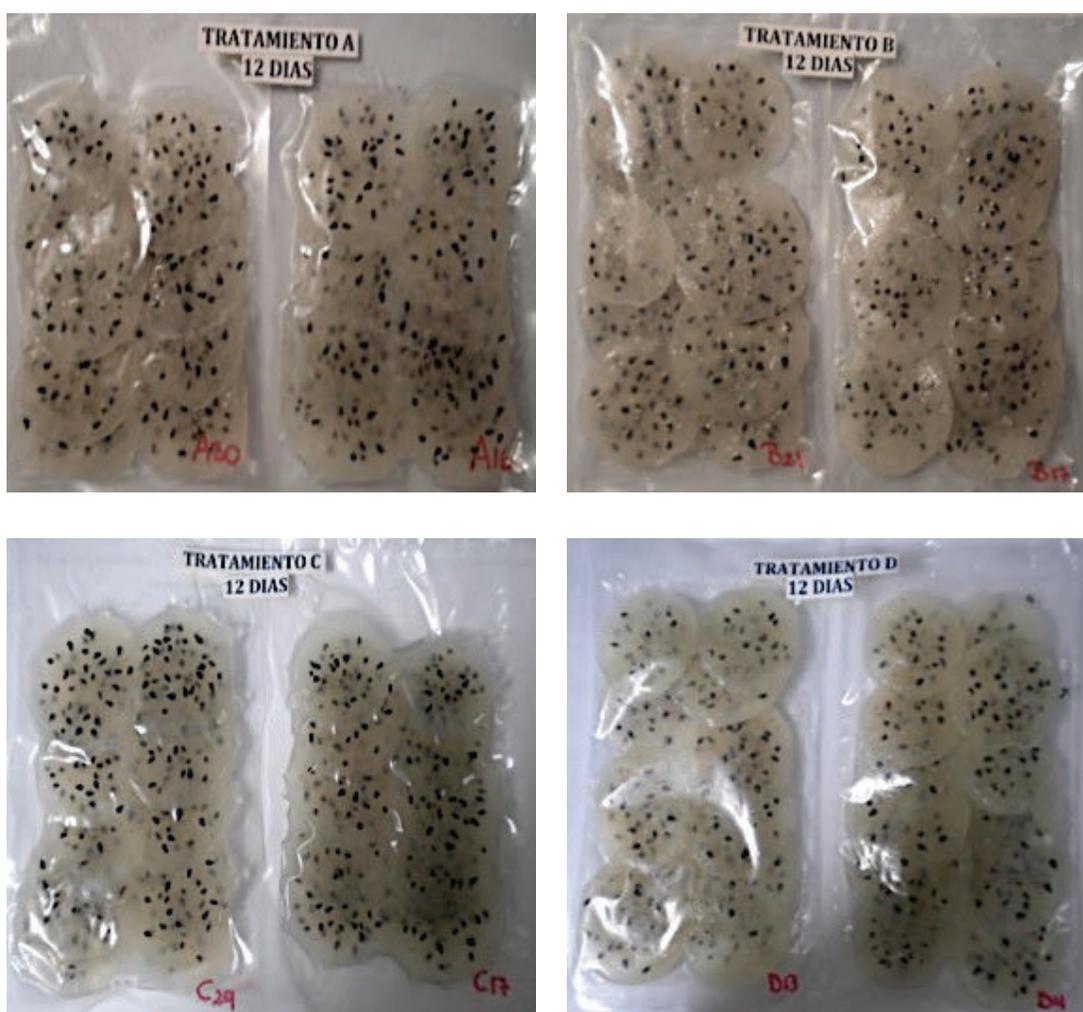


Figura AXIII.4. Fotografías de rodajas de pitahaya amarilla irradiadas a 500 Gy y empacadas al vacío (tratamiento A), a 500 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento B), a 0 Gy y empacadas al vacío (tratamiento C) y a 0 Gy y empacadas en atmósfera normal (tratamiento D), a los 12 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

ANEXO XIV

FICHA DE EVALUCIÓN PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL

DE PITAHAYA FRESH-CUT



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

PRODUCTO: PITAHAYA AMARILLA CORTADA

NOMBRE: **FECHA:**..... **HORA:**.....

Usted ha recibido dos muestras para evaluar. La prueba consiste en valorar cada una de las muestras en relación a los atributos pedidos y señalar en la escala con una raya vertical la calificación, sobre dicha raya debe colocarse el correspondiente número de muestra.

AROMA (Sabor + Olor)

No.	Insípido		Intenso
No.	APARIENCIA:	-----	
No.	Muy Seco		Muy Fresco
No.	ACIDEZ:	-----	
	Débil		Fuerte
	DULZOR:	-----	
	Débil		Fuerte
	SABORES EXTRAÑOS:		
	Ausencia		Presencia Intensa

OBSERVACIONES:

.....
.....

Gracias por su colaboración.
AN/SV

ANEXO XV

**FOTOGRAFIAS DEL ALMACENAMIENTO DE FRUTOS
DE PITAHAYA ENTERA Y CORTADA BAJO
CONDICIONES CONTROLADAS**



Figura AXV.1. Fotografías de pitahayas en grado de color 4 irradiadas a 500 y 0 Gy almacenadas hasta 28 días a 12 °C y 90 % HR (1), almacenadas hasta 3 o 5 días a 20 °C y 80 % HR para simulación de vida en estante (2) y empaques de pitahaya cortada almacenados hasta 12 días a 4 ± 1 °C y 90 % HR (3 y 4)

ANEXO XVI

SISTEMA DE RESPIRACIÓN PARA EL FRUTO ENTERO Y CORTADO



Figura AXVI.1. Sistema de respiración cerrado para frutos enteros de pitahaya amarilla (1) y para rodajas de pitahaya (2)

ANEXO XVII

ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA, IRRADIADA Y EMPACADA AL VACÍO Y BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

✓ **Recepción**

Esta etapa comprenderá el arribo de la materia prima a la planta, su desembarque y almacenamiento en una cámara de refrigeración a 12 °C, hasta el momento de su procesamiento. Las pitahayas que se utilizarán serán aquellas en grado de color 4, es decir de color amarillo pero con sus mamilas verdes (NTC 3554, 1996). Los frutos deberán estar limpios, libres de espinas e impurezas, desinfectados y secos. Desde la llegada de las pitahayas hasta su almacenamiento éstas serán transportadas en kavetas plásticas.

✓ **Cortado 1**

A partir de esta etapa todas las operaciones se ejecutarán en una cámara de refrigeración a 4 °C, para garantizar así la cadena de frío requerida por el producto. Antes de proceder al cortado 1, los operarios examinarán la presencia de patógenos y daños mecánicos en la corteza de los frutos y descartarán aquellos afectados. En mesas de acero inoxidable y con ayuda de cuchillos se cortarán los extremos de las pitahayas, eliminando así sus pedúnculos.

✓ **Pelado**

El pelado de las pitahayas consistirá en retirar de forma manual toda la cáscara de los frutos, en este paso los operadores deberán constatar que la calidad visual del fruto pelado sea óptima para que califique a la siguiente etapa. Las cáscaras y los extremos serán recolectados en fundas plásticas para su posterior desecho.

✓ **Cortado 2**

Una vez pelados los frutos de pitahaya, se procederá al cortado de los mismos en rodajas de 7 mm aproximadamente, con ayuda de un cortador manual. Las rodajas se colocarán en fundas de tela tipo malla, para facilitar su inmersión. El rendimiento en esta etapa es del 78 %, debido a la fragilidad de las rodajas al momento del corte, ya que pueden presentar rupturas e imperfecciones y únicamente las rodajas enteras son las que continuarán en la línea de producción. Los datos de rendimiento fueron obtenidos de forma experimental.

✓ **Inmersión**

Para la inmersión de las rebanadas de pitahaya se utilizará una solución de ácido cítrico y ascórbico al 0,1 % p/p, con la finalidad de crear un medio ácido y reductor que contrarreste el pardeamiento enzimático y la proliferación microbiana. El tiempo de inmersión será de 3 minutos, con una relación de 3 L/kg de producto. La solución de ácidos deberá ser cambiada después de 9 minutos de su uso (3 inmersiones), para evitar el agotamiento de los agentes químicos y garantizar sus efectos en el producto. El escurrido se lo realizará en las mismas mallas por un minuto aproximadamente para eliminar la solución agotada.

✓ **Empacado**

Una vez escurridas las rodajas, se pesarán en una balanza alrededor de 150 gramos en empaques de co-extruido de nylon y PE de 13 cm de ancho x 21 cm de largo. Las rebanadas empacadas serán selladas al vacío para eliminar el oxígeno dentro de los empaques, retardar el ataque de microorganismos y alargar el tiempo de vida útil. La presión de vacío de la selladora será de 0,7 kp/cm².

✓ **Irradiación**

Los empaques ya sellados serán trasladados en kavetas plásticas hasta el

Laboratorio de Tecnología de Radiaciones (LTR) de la EPN, para ser irradiados con rayos gamma en la fuente de Co-60 a una dosis de 500 Gy. Los empaques irradiados serán almacenados en cámaras de refrigeración a una temperatura de 4 ± 1 °C por un tiempo máximo de dos días desde su fecha de elaboración.

Consideraciones para los balances de masa y energía

Ciudades: 3 (Quito, Guayaquil y Cuenca)

Nº Supermercados: 35

Nº empaques por local: 15

Factor de rotación del producto: 10 días

Nº empaques/día: 53

gramos/empaque: 150

%η: 78 %

% holgura: 30 %

Nº kg/día: 13

Nº kg/año: 3250 kg \approx 3,3 t

A continuación en la Tabla AXVII.1, Tabla AXVII.2 y Tabla AXVII.3, se muestran la cantidad de materia prima y de reactivos necesarios, el consumo energético de la planta y los detalles de los balances, respectivamente

Tabla AXVII.1. Balance de masa para el funcionamiento de una planta de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

ITEM	CANTIDAD (kg/día)
Pitahaya entera	13,00
Extremos de pitahaya	0,38
Cáscaras	0,70
Rodajas incompletas	2,62
Rodajas irradiadas	9,30
Ácido cítrico	0,01
Ácido ascórbico	0,01
Agua destilada	28,00

Tabla AXVII.2. Consumo energético requerido para el funcionamiento de una planta de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

EQUIPOS	ENERGÍA REQUERIDA (kWh)
Cámaras de refrigeración	27,2
Balanza	0,05
Selladora al vacío	0,8
TOTAL	28,05

La selección de los equipos se estableció con base en las etapas planteadas para el diseño de esta planta. La nomenclatura de los equipos para cada uno de los procesos se muestran en la Tabla AXVII.3.

Tabla AXVII.3. Nomenclatura de los equipos requeridos en el proceso de elaboración de 9,30 kg/día de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

ETAPA	EQUIPO	NOMENCLATURA	FUNCIÓN
Cortado 1	Cuchillos	CT-101	Eliminación de extremos
Pelado	Cuchillos	PL-102	Eliminación de cáscaras
Cortado 2	Cortador manual	CT-103	Elaboración de rodajas
Inmersión	Tanque con agitación	TK-104	Inmersión de las rodajas en solución de ácidos
Empacado	Microbalanza	BL-105	Pesado de rodajas en empaques
Sellado al vacío	Selladora al vacío	EV-106	Extracción de aire para sellado hermético
Irradiación	Cámara de irradiación	CI-107	Irradiación de empaques
Refrigeración pitahaya entera	Cámara de refrigeración	CR-101	Almacenamiento de pitahaya enteras a 12 °C
Refrigeración pitahaya cortada	Cámara de refrigeración	CR-102	Almacenamiento y procesamiento de las rodajas a 4 °C

ANEXO XVIII

BFD Y PFD DE LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA Y LAY OUT DE LA PLANTA

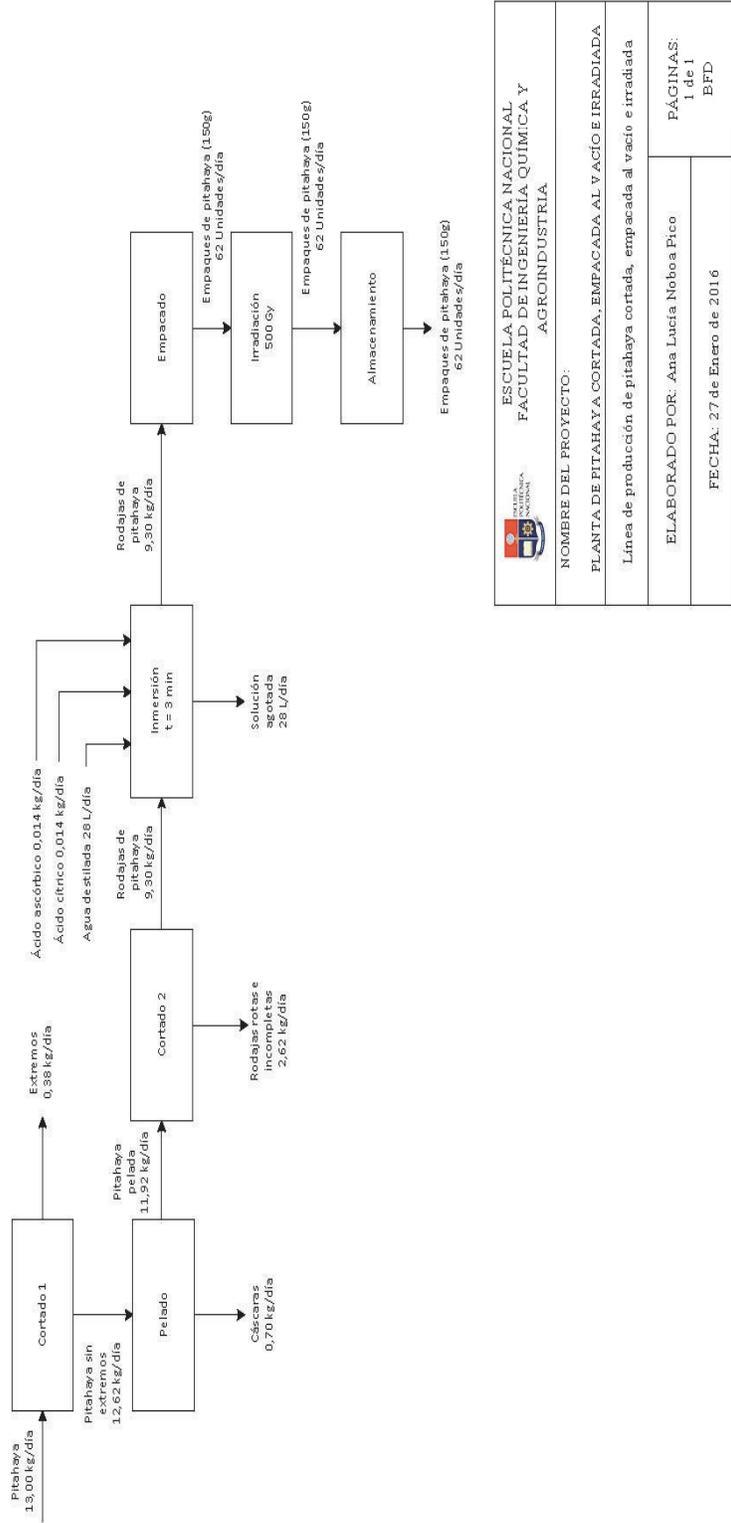


Figura AXVIII.1. Diagrama de bloques del proceso (BFD) de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
NOMBRE DEL PROYECTO: PLANTA DE PITAHAYA CORTADA, EMPACADA AL VACÍO E IRRADIADA	
Línea de producción de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada	
ELABORADO POR: Ana Lucia Noboa Pico	PÁGINAS: 1 de 1
FECHA: 27 de Enero de 2016	

ANEXO XVIII

BFD Y PFD DE LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA Y LAY OUT DE LA PLANTA

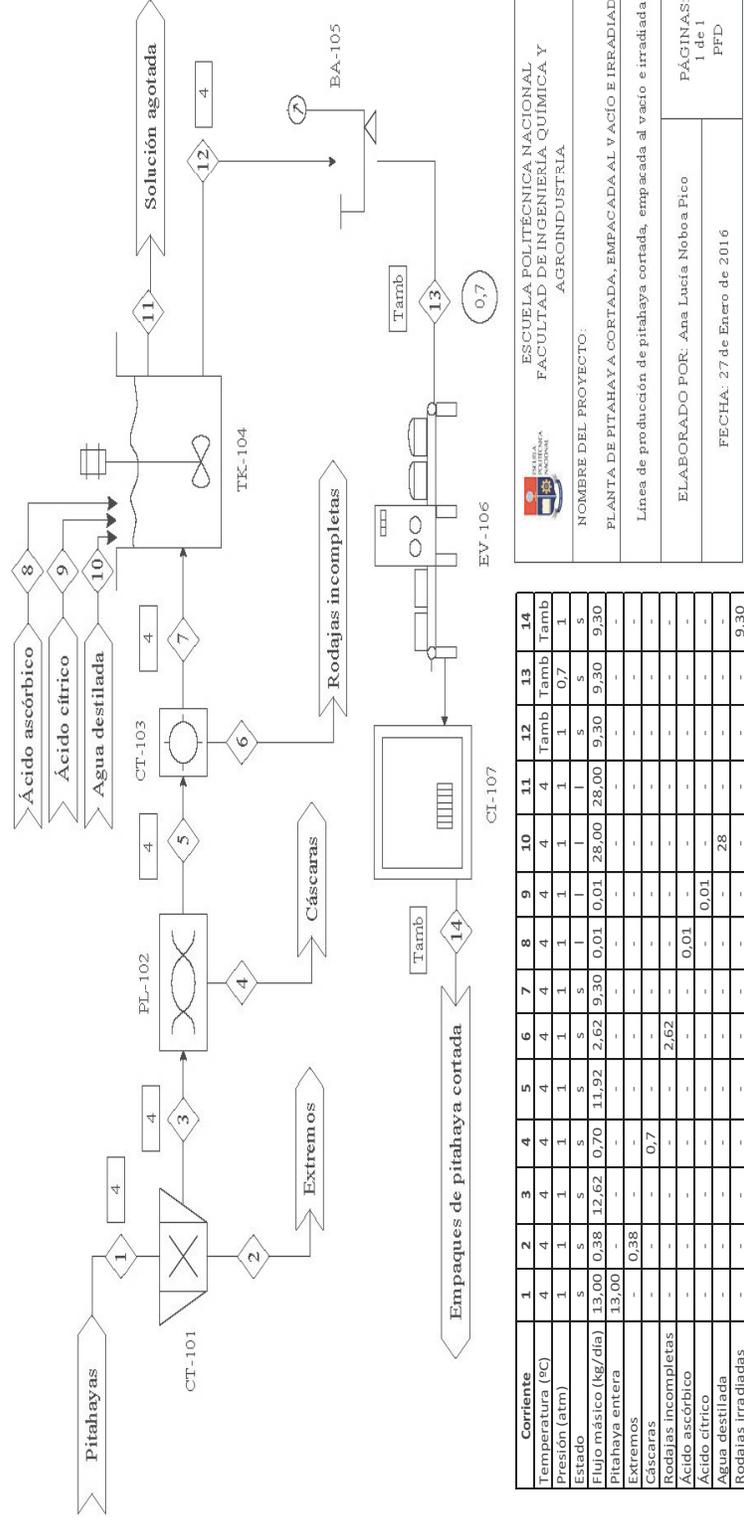


Figura AXVIII.2. Diagrama de flujo del proceso (PFD) de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

ANEXO XVIII

BFD Y PFD DE LA ELABORACIÓN DE PITAHAYA CORTADA Y LAY OUT DE LA PLANTA

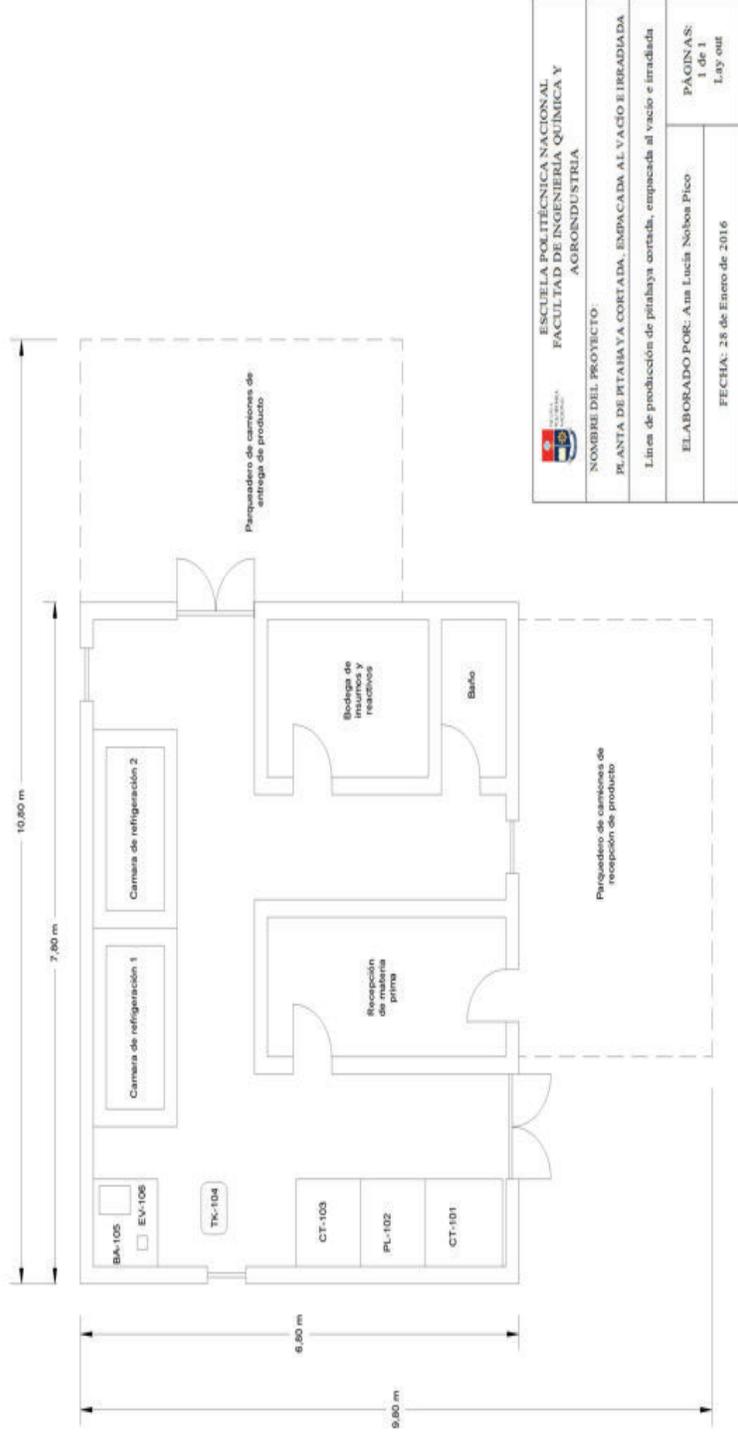


Figura AXVIII.3. Distribución en planta (Lay out) del proceso de elaboración de pitahaya cortada, empacada al vacío e irradiada

ANEXO XIX

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla AXIX.1 Costos de materia prima, insumos, servicios básicos y sueldos del personal

ITEM	CONSUMO MENSUAL	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO MENSUAL (USD)
Materia prima			
Pitahaya entera	260 kg	2,50 \$/kg	650,00
Agua destilada	560 L	0,48 \$/L	268,80
Ácido cítrico	0,28 kg	6,50 \$/kg	1,82
Ácido ascórbico	0,28 kg	6,50 \$/kg	1,82
		TOTAL	922,44
Insumos			
Empaques de co-extruído de nylon y PE	1 500 u	0,06 \$	90,00
Bolsas para inmersión	2 u	5,50 \$	11,00
Desinfectante	1 gal	10,00 \$	10,00
Fundas de basura	40 u	1,35 \$/12 u	54,00
Etiquetas	1 500 u	0,01 \$	15,00
		TOTAL	180,00
Servicios básicos			
Agua	45 m ³	0,79 \$/m ³	35,55
Energía eléctrica	748 kWh	0,09 \$/kWh	67,32
		TOTAL	102,87
Sueldos personal			
Cargo	Número	horas/mes	Costo mensual (\$)
Gerente General	1	160	800,00
Operarios	1	160	400,00
		TOTAL	1 200,00

Tabla AXIX.2 Costos de instalaciones, equipos y servicios externos contratados

ITEM	CANTIDAD	VIDA ÚTIL (años)	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Instalaciones				
Galpón de 85 m ² (incluido terreno)	1	20	30 000,00	30 000,00
			TOTAL	30 000,00
Equipos y utensilios				
Cuchillos	3	10	15,00	45,00
Cortador manual	2	10	38,00	76,00
Microbalanza (500 g)	1	10	45,00	45,00
Selladora al vacío	1	10	2 200,00	2 200,00
Cámaras de refrigeración	2	10	7 590,20	15 180,40
Mesas de acero inoxidable	3	10	160,00	480,00
Tanque para inmersión	2	10	35,00	70,00
Gavetas plásticas	8	10	5,00	40,00
			TOTAL	18 136,40
Servicios Externos				
ITEM			COSTO UNITARIO (USD)	COSTO MENSUAL (USD)
Irradiación con rayos gamma			*0,19\$/kg	49,40
Alquiler de carro refrigerado			50 \$/día	600,00
			TOTAL	649,40

*(Abad, 2014, p. 98)