



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFFECTO DE TRATAMIENTOS DE IRRADIACIÓN GAMMA EN EL
CONTENIDO DE CAROTENOS, VITAMINA C, PUNGENCIA Y EN LA
VIDA ÚTIL DEL CHILE MANZANO (*CAPSICUM PUBESCENS*).

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTAN:

MAURICIO CARO CALDERÓN

ROSA ADRIANA GARCÍA RODRÍGUEZ

ASESORA: DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **Tesis:**

Efecto de tratamientos de irradiación gamma en el contenido de carotenos, vitamina C, pungencia y en la vida útil del chile manzano (Capsicum pubescens)

Que presenta el pasante: Mauricio Caro Calderón

Con número de cuenta: 303778176 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcallí, Méx. a 04 de agosto de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Sara Esther Valdes Martínez	
VOCAL	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
2do SUPLENTE	I.A. María Guadalupe Pérez Loredo	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Efecto de tratamientos de irradiación gamma en el contenido de carotenos, vitamina C, pungencia y en la vida útil del chile manzano (Capsicum pubescens)

Que presenta la pasante: Rosa Adriana García Rodríguez
Con número de cuenta: 405073731 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcallí, Méx. a 04 de agosto de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Sara Esther Valdes Martínez	
VOCAL	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
2do SUPLENTE	I.A. María Guadalupe Pérez Loredo	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

El presente trabajo fue financiado por el proyecto POPYME: Elaboración de materiales educativos para fortalecer la enseñanza en el Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos-Procesos Tecnológicos de Frutas y Hortalizas de la carrera de Ingeniería en Alimentos (PE 202610), de la Dirección General de Asuntos del personal Académico de la UNAM. También se agradece por el apoyo técnico para los tratamientos por irradiación al Dr. Epifanio Cruz del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM y al Ing. Cesar Moreno y Q.F.B. María del Carmen Casar de la empresa Sterigenics.

Esta tesis representa un parteaguas entre una etapa muy enriquecedora y el camino que el tiempo obliga. En toda la experiencia universitaria en la UNAM y la conclusión del trabajo de tesis, ha habido personas que merecen las gracias porque sin su valiosa aportación no hubiera sido posible este trabajo y también hay quienes las merecen por haber plasmado su huella en mi camino.

A mis padres Lidia Rosa Rodríguez y Fernando García, a mis hermanos Fernando y Tania, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

Agradezco de manera especial y sincera a la Dra. María Andrea Trejo Márquez, asesora de esta investigación, por la orientación, seguimiento y supervisión continua de la misma, pero sobre todo por ser un ejemplo de valor y sabiduría, por su generosa labor de transmisión del saber, su inagotable entusiasmo y sus acertados consejos y sugerencias.

Por último, quiero hacer extensiva mi gratitud a todas mis amigos que sin esperar nada a cambio compartieron pláticas y diversión. A todos aquellos que durante este tiempo este sueño lograron convertirlo en una realidad.

..... El camino recorrido ha merecido la pena.

Con cariño, Adriana.

***“Cuando quieres realmente una cosa, todo el Universo conspira para ayudarte a conseguirla”
Paulo Coelho***

Nunca un año se presentó con tantas pruebas y obstáculos, con seguridad puedo decir que los aprendizajes obtenidos en este proceso marcarán mi camino de hoy en adelante.

La presente tesis es un esfuerzo en el cual el optimismo dedicado a lo largo de los años de estudio, es un logro obtenido gracias a la gente que creyó en mi persona. Por ello es que, este trabajo está dedicado a las personas que a lo largo de mi vida me han dado la fortaleza de seguir adelante con su sabiduría y tolerancia.

Sin duda los mayores agradecimientos serán siempre para mis padres Martha E. Calderón y Alvaro Caro, a ellos les debo todo lo que soy, que me acompañaron en esta aventurera vida, de forma incondicional; gracias a su esfuerzo y contención he finalizado este proceso superando todas las adversidades, agradecimientos infinitos por su cariño, compañía y tolerancia en esta etapa... que al fin termina.

A la Dra. María Andrea Trejo Márquez que me instruyó en la investigación realizada ya que dedicó su tiempo y conocimiento para ayudarme a completar el proyecto de tesis además de haber confiado en mi persona por la dirección de este trabajo, pero sobre todo, que aprendí el valor de la amistad e insaciable sabiduría, además por haberme brindado la confianza que hoy deposito en ella.

A mis amigos que me apoyaron durante los tiempos difíciles, durante esos momentos de tristeza, sosiego, de impotencia e imprudencia. Ustedes, que sin su presencia, hubiese sido imposible terminar esta etapa de mi vida. A ustedes que estuvieron conmigo en mis caídas, éxitos y sobre todo estuvieron alojados en mi corazón y lo permanecerán durante toda mi vida.

Mauricio

Si caes es para levantarte, si te levantas es para seguir, si sigues es para llegar a donde quieres ir y si llegas es para saber que lo mejor esta por venir...

Elbano Mendoza



Definiciones

⁶⁰Co. Es producido por el bombardeo de 1 neutrón en un reactor nuclear del metal ⁵⁹Co y encapsulado en los lápices, tiene una vida media de 5.3 años

Dosímetro. Dispositivo empleado para verificar la distribución de la dosis en un alimento irradiado (dosímetro de fotoluminiscencia: pequeña pieza de plástico que es irradiado junto el alimento, la intensidad de la fluorescencia es proporcional a la dosis que recibió el alimento. dosímetro químico de sulfato ferroso: se base en la oxidación del ion ferroso a iones férricos. por el método Monte Carlo

Dosis. Cantidad de energía absorbida por unidad de masa de producto, su unidad es el Gy (Gray)

Siglas

APHIS- IS. Servicios de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal- Servicios Internacionales

ASTM. Sociedad Americana de Pruebas y Materiales

CBE. Compañía Brasileña de Esterilización

CCE. Compañía Chilena de Esterilización

CCHEN. Comisión Chilena de Energía Nuclear

CDC. Centro de los Estados Unidos para la lucha contra las enfermedades

CPI. Chile Pepper Institute

DGSV. Dirección General de Sanidad Vegetal de México

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FDA. Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos

GATT. Acuerdo General de Tratados y Tarifas para el comercio

GCIIA. Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de Alimentos

HPLC. High Performace Liquid Cromatography, (Cromatografía Líquida de Alta Resolución)

IAEA. Agencia Internacional de Energía Atómica

IBA. Ion Beam Applications

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y geografía

ININ. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

MAGA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

OIEA Organismo Internacional de Energía Atómica

OMC. Organización Mundial del Comercio



OMS. Organización Mundial de la Salud

PIPAA. Programa Integral de Protección Agrícola y Ambiental

PPQ. Protección a las Plantas y Cuarentena

PTO. Plan de Trabajo Operativo

SCF. Comité Científico de la Alimentación de la Comisión Europea

SHU. Scoville Head Units, Unidad de medida de la escala de picor medidas en grados Scoville

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación

SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria

UE. Unión Europea

USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Mexicanos

WHO. World Health Organization

Abreviaturas

°C. Grados Celcius

AM. Atmósferas modificadas

atm. Unidad de medida de presión (atmósferas)

cm. centímetros

Co⁶⁰. Cobalto 60

CO₂ Dióxido de Carbono

Cs¹³⁷. Cesio 137

D. dosis total media

g. gramos

Gy. Unidad de medida de las radiaciones (Grays). La absorción de 1 Julio de energía por kilo de masa irradiada (1000 Gy equivale a 1 Kilo Gy)

h. horas

ha. Es la superficie que ocupa un cuadrado totalizando con ello una superficie de 100 m x 100

HPLC. Cromatografía líquida de alta resolución

Kcal. Kilocalorías



kg. Kilo gramo

kgf. Kilogramo fuerza

kGy. Kilo Grays

L. Litro

μg. Microgramos

m = 10 000 m²

msnm. Unidad que suele medirse la altura sobre el nivel del mar en metros

MeV. Megaelectronvoltio. Unidad de energía 1 MeV= 1.602177 E- 13 Julios

mg. Miligramos

O₂ Oxígeno

pH potencial de hidrógeno

ppm. Partes por millón

sp. Especie

Ton. Toneladas



INDICE

Resumen	2
Introducción	5
1. Antecedentes	8
1.1. Definición y origen de <i>Capsicum pubescens</i>	8
1.1.1. El Género <i>Capsicum</i>	8
1.1.2. Definición de <i>Capsicum pubescens</i>	9
1.1.3. Origen	9
1.1.4. Variedades	9
1.2. Morfología y anatomía del chile manzano	10
1.2.1. Morfología del chile manzano	10
1.2.2. Anatomía de la planta	11
1.2.3. Índice de madurez fisiológico	12
1.3. Enfermedades y plagas	12
1.3.1. Principales plagas que afectan el chile manzano	12
1.3.2. Enfermedades y daños fisiológicos	15
1.4. Zonas de producción	17
1.4.1. Producción mundial del chile	17
1.5. Exportación e importación	18
1.5.1. Producción del chile en México y variedades más importantes	20
1.6. Composición Química	20
1.6.1. Agua	21
1.6.2. Carbohidratos	22
1.6.3. Lípidos	23
1.6.4. Aminoácidos, proteínas, micro elementos	23
1.6.5. Compuestos volátiles	23
1.6.6. Vitaminas	24
1.6.7. Carotenoides	25
1.6.8. Capsaicina	27
1.6.8.1. Pungencia	29
1.7. Tratamientos Postcosecha	30
1.7.1. Vida de anaquel	30
1.7.2. Acondicionamiento	30
1.7.3. Irradiación Gamma	32
1.7.3.1. Importancia de la irradiación como tratamiento cuarentenario	32
1.7.3.2. La irradiación a nivel nacional e internacional	33
1.7.3.2.1. Comunidad Europea	34
1.7.3.2.2. Estados Unidos de Norteamérica	37
1.7.3.2.3. Irradiación gamma en el territorio Mexicano	38



1.7.3.3.	Marco normativo	39
1.7.3.3.1.	<i>Codex Alimentarius</i>	40
1.7.3.4.	Condiciones nutritivas de los alimentos, luego de ser irradiados	41
1.7.3.5.	Propiedades organolépticas	41
1.7.3.6.	Cambios químicos en los alimentos por la irradiación	42
1.7.3.7.	Efectos de irradiación sobre la salud	43
1.7.3.8.	Ventajas y desventajas de la Irradiación gamma	43
1.7.3.9.	Plan de trabajo para exportación de chile manzano (<i>Capsicum pubescens</i>) con destino a Estados Unidos de Norteamérica	44
2.	Objetivos	46
3.	Materiales y Métodos	47
3.1.	Cuadro metodológico	47
3.2.	Material biológico	48
3.3.	Selección y acondicionamiento de la materia prima	48
3.4.	Evaluación de los parámetros de calidad, químicos, fisiológicos	48
3.5.	Aplicación de un recubrimiento a partir de ceras (candelilla y abeja) y un tratamiento químico a base de fungicida para alargar la vida útil del chile manzano	49
3.5.1.	Tratamiento de las muestras	49
3.5.2.	Formulación de recubrimiento comestible a partir de cera de candelilla y cera de abeja	49
3.5.3.	Aplicación de tratamientos químicos y ceras	50
3.5.4.	Descripción del diagrama de proceso	52
3.6.	Aplicación de un tratamiento por irradiación gamma como requisito fitosanitario del chile manzano	53
3.6.1.	Tratamiento postcosecha	53
3.6.2.	Tratamiento de las muestras	53
3.6.3.	Descripción del diagrama de proceso	54
3.7.	Evaluación de la pungencia mediante un análisis sensorial de una salsa preparada a base de chile manzano irradiado	56
3.7.1.	Tratamiento de las muestras	56
3.7.2.	Elaboración de la salsa	56
3.7.3.	Descripción del diagrama de proceso	58
3.8.	Técnicas analíticas	59
3.8.1.	Parámetros de calidad	59
3.8.2.	Parámetros fisiológicos	62
3.8.3.	Parámetros nutricionales	63
3.8.4.	Parámetros químicos	64
3.9.	Tratamiento estadístico de resultados	66



4. Resultados y discusión	68
4.1. Parámetros físicos, de calidad, químicos, nutricionales y fisiológicos del chile manzano fresco en distintos estadios de madurez (verde y amarillo)	68
4.1.1. Evaluación de parámetros físicos en chile manzano fresco	68
4.1.2. Evaluación de parámetros de calidad en chile manzano fresco	68
4.1.3. Evaluación de parámetros químicos en chile manzano fresco	69
4.1.4. Evaluación de parámetros nutricionales de chile manzano fresco	70
4.1.5. Evaluación de parámetros fisiológicos de chile manzano fresco	71
4.2. Cambios en el contenido de carotenos, vitamina C, parámetros de calidad y fisiológicos del chile manzano almacenado en refrigeración	72
4.3. Efecto en el chile manzano por tratamientos con ceras y fungicida en dos estadios de madurez	85
4.4. Efecto de la irradiación gamma sobre los parámetros de calidad, fisiológicos y nutricionales del chile manzano en dos estadios de madurez	102
4.5. Evaluación de la pungencia en una salsa preparada a base de chile manzano irradiado en diferentes estadios de madurez mediante una evaluación sensorial	123
5. Conclusiones	131
6. Recomendaciones	132
7. Anexos	133
8. Referencias	158



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales plagas que afectan el chile manzano.	12
Tabla 2. Enfermedades y daños fisiológicos presentados en el género <i>Capsicum</i> .	15
Tabla 3. Productores de chile a nivel mundial, presentado en toneladas.	18
Tabla 4. Composición química (por 100 g de porción comestible) de <i>Capsicum</i> dulces y picantes de consumo habitual.	21
Tabla 5. Moléculas de los principales carotenoides presentes en frutos de <i>Capsicum</i> .	26
Tabla 6. Estructura molecular de las principales capsaicinoides presentes en los frutos de <i>Capsicum</i> spp.	28
Tabla 7. Métodos de conservación aplicados para pimientos	30
Tabla 8. Países que han aprobado la Irradiación de alimentos.	33
Tabla 9. Diseño experimental de chile manzano.	49
Tabla 10. Formulación de recubrimiento a base de cera de candelilla.	50
Tabla 11. Formulación de recubrimiento a base de cera de abeja.	50
Tabla 12. Diseño experimental de chile manzano.	54
Tabla 13. Formulación para la elaboración de salsa a base de chile manzano en sus dos estadios.	56
Tabla 14. Características físicas de los chiles manzanos en estadio de madurez verde y amarilla.	68
Tabla 15. Parámetros de calidad de chile manzano en dos estadios de madurez.	69
Tabla 16. Parámetros químicos de chile manzano en dos estadios de madurez.	70
Tabla 17. Parámetros nutricionales de chile manzano en dos estadios de madurez.	71



Tabla 18. Parámetros fisiológicos de chile manzano en dos estadios de madurez.	71
Tabla 19. Efecto en el color del chile manzano durante el almacenamiento a 8°C.	82
Tabla 20. Efecto en el color de la aplicación de tratamientos químicos y ceras sobre chile manzano en sus dos estadios de madurez.	101
Tabla 21. Efecto de la aplicación de tratamientos de irradiación sobre chile manzano en dos estadios de madurez.	120
Tabla A 1. Irradiación de alimentos en diferentes países.	137
Tabla B 1. Alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes	140
Tabla C 1. Clasificación de dosis aplicadas, según la energía absorbida y el objetivo deseado.	147
Tabla C 2. Consideraciones para la irradiación de algunos alimentos examinados por el Comité mixto de expertos FAO/OIEA/OMS.	148
Tabla C 3. Acciones cuando se detectan plaga.	152



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lóculos presentes en el chile manzano.	10
Figura 2. Chile manzano	11
Figura 3. Morfología del chile manzano.	11
Figura 4. Importaciones mundiales de chile, en porcentaje de participación por toneladas importadas.	19
Figura 5. Exportaciones mundiales de chile, en porcentaje de participación por toneladas exportadas.	19
Figura 6. Producción de las principales variedades de chile en México, en porcentajes de producción.	20
Figura 7. Logotipo internacional de los productos alimenticios tratados por irradiación.	39
Figura 8. Cuadro metodológico.	47
Figura 11. Panelistas evaluando salsa de chile manzano.	59
Figura 12. Valoraciones de acidez de chile manzano.	60
Figura 13. <i>Izquierda:</i> Diagrama de cromaticidad (L, a y b), <i>Derecha:</i> Colorímetro Minolta CR-300.	60
Figura 14. Penetrómetro manual Fruit Pressure Tester.	61
Figura 15. Potenciómetro HANNA.	61
Figura 16. Balanza semianalítica.	62
Figura 17. Refractómetro manual ATAGO.	62
Figura 18. <i>Izquierda:</i> Chile manzano en envases cerrados, <i>Derecha:</i> Analizador de gas por infrarrojo.	63
Figura 19. Espectrofotómetro.	63
Figura 20. Valoración con indofenol del contenido de Vitamina C en chile manzano.	64



Figura 21. Valoración de azúcares reductores del chile manzano.	64
Figura 22. Muestras deshidratadas de chile manzano.	65
Figura 23. Equipo Soxhlet.	65
Figura 24. Evaluación de proteína por método Lowry.	66
Figura 25. Cambios en la acidez de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	72
Figura 26. Cambios en los sólidos solubles en el chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	74
Figura 27. Cambios en el pH de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	75
Figura 28. Cambios en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	76
Figura 29. Cambios en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	77
Figura 30. Cambios en vitamina C de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	79
Figura 31. Cambios en la respiración de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	80
Figura 32. Cambios en la luminosidad de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	81
Figura 33. Porcentaje de pérdida de peso en chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.	84
Figura 34. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la acidez de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	86
Figura 35. Efecto de tratamientos químicos y ceras en los sólidos solubles de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	87



Figura 36. Efecto de tratamientos químicos y ceras en el pH de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	89
Figura 37. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	90
Figura 38. Efecto de tratamientos químicos y ceras en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	92
Figura 39. Efecto de tratamientos químicos y ceras en vitamina C de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	96
Figura 40. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la respiración de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	97
Figura 41. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la luminosidad de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	99
Figura 42. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la pérdida de peso de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenado a 8°C.	100
Figura 43. Efecto de irradiación en la acidez de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	103
Figura 44. Efecto de irradiación en los sólidos solubles de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	105
Figura 45. Efecto de irradiación en el pH de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	107
Figura 46. Efecto de irradiación en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	109
Figura 47. Efecto de irradiación en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	111



Figura 48. Efecto de irradiación en vitamina C de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C	114
Figura 49. Efecto de irradiación en la respiración de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	116
Figura 50. Efecto de irradiación en la luminosidad de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	118
Figura 51. Efecto de irradiación el índice de color de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	119
Figura 52. Efecto de irradiación en el porcentaje de pérdida de peso de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.	122
Figura 53. Evaluación sensorial de salsa a base de chile manzano con los tratamientos de irradiación. A) Evaluación sensorial inicial verde, B) Evaluación sensorial final verde, C) Evaluación sensorial inicial amarillo y D) Evaluación sensorial final amarillo.	125
Figura 54. Preferencia de salsa a base de chile manzano con los tratamientos de irradiación. A) Verde al inicio de la experimentación, B) Verde al final de la experimentación, C) Amarillo al inicio de la experimentación y D) amarillo al final de la experimentación.	128

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de aplicación de ceras y fungicida.	51
Diagrama 2. Proceso de irradiación de chile manzano.	55
Diagrama 3. Proceso para la elaboración de salsa de chile manzano.	57



RESUMEN



Resumen

En el presente proyecto se mostrará el estudio del chile manzano (*Capsicum pubescens*) en dos estadios de madurez (verde y amarillo) almacenados a 8° C por 20 días en donde se evaluó el efecto de tratamientos postcosecha e irradiación gamma en el contenido de carotenos, vitamina C, pungencia y en su vida útil.

Chiles manzanos procedentes de Puebla, Puebla y adquiridos en la Central de Abastos de la Ciudad de México, se clasificaron y seleccionaron por estadios de madurez, apariencia y tamaño. Los chiles se distribuyeron en lotes para ser sometidos a cada uno de los tratamientos. Los tratamientos postcosecha aplicados fueron: químicos (fungicida), recubrimientos de ceras (candelilla y abeja) e irradiación gamma (150, 500 y 1000 Gy). Los chiles fueron almacenados a 8° C y se evaluaron los parámetros de calidad: acidez, pH, firmeza, color, pérdida de peso y sólidos solubles, así como los fisiológicos: respiración; y nutricionales: vitamina C y carotenos, los días 0, 5, 10, 15 y 20. Además se elaboró una salsa a base del chile manzano a distintas dosis de irradiación y se realizó una evaluación sensorial con el fin de determinar el efecto del tratamiento sobre la calidad organoléptica y pungencia del producto.

En la aplicación del tratamiento químico, recubrimientos de ceras de candelilla y abeja, se encontró que las aplicaciones con ceras en el estadio verde conservaron los parámetros fisiológicos, nutricionales y de calidad, donde se encontró que la pérdida de peso de los chiles con cera de candelilla fue del 8.44% en comparación del control que fue del 13.14%. La luminosidad aumentó desarrollando el cambio del color del chile manzano verde con la aplicación de cera de abeja con valores de $L=43.08$, mientras que los demás tratamientos y control presentaron valores de $L=40.4$. La vitamina C de los chiles verdes con cera de candelilla fue de 47.60 mg de ácido ascórbico/100 g y para los chiles amarillos de 55.75 mg/100g, mientras que el control verde fue de 10.11 mg/100 g y el control amarillo de 29.92 mg/100 g. El contenido de carotenos no se vio afectado con la aplicación de ceras, presentándose valores de 172 mg/100g sin diferencias entre éstas, en contraste con los chiles sin ceras que presentaron valores de 59.5 mg/100g. Sin embargo en el estadio amarillo no se evidenció ningún efecto por los tratamientos aplicados.



En los tratamientos de irradiación gamma, se encontró que a dosis bajas de 150 Gy y medias de 500 Gy los parámetros de calidad como la acidez, pérdida de peso, pH, sólidos solubles, luminosidad y firmeza en el estadio verde y amarillo no se vieron afectados. En el estadio verde a dosis bajas (150 Gy) los parámetros nutricionales (carotenos) permanecieron con valores de 177 mg/100g para el lote control y de 236 mg/100 g para el lote irradiado. Respecto al estadio amarillo también se obtuvieron mejores resultados donde el lote control presentó valores de 254 mg/100 g y de 356 mg/100 g a dosis de 150 Gy.

En la evaluación sensorial de la salsa de chile manzano se encontró que los tratamientos de irradiación no tuvieron efecto sobre los atributos de picor, aroma, sabor y apariencia, sin embargo al final del almacenamiento la salsa de chile manzano verde y amarillo mostraron mejores resultados de consistencia a dosis bajas y medias, como es el caso del estadio amarillo que a dosis de 150 Gy al inicio se encontraron valores de 2.23 y al final de 3.0 que corresponden a “ni líquida, ni espesa”; y a dosis de 500 Gy se obtuvieron valores de 3.46 al inicio y de 3.66 al final del almacenamiento que corresponden a “espesa”. En cuanto a la preferencia los productos resultó tener mayor aceptación la de chile manzano verde a las distintas dosis de irradiación al final del almacenamiento con un valor de 7.48 en una escala de 0 a 10, siendo 10 la mayor aceptación.



INTRODUCCIÓN



Introducción

El cultivo del chile manzano (*Capsicum pubescens*) se originó en Perú, pero se cultiva en diversos países. México, ocupa el segundo lugar en volumen de producción y el tercero en superficie cosechada con aproximadamente 1500 ha en campo abierto y alrededor de 40000 ha de invernadero, mismas que están distribuidas en Estado de México, Michoacán y Veracruz (Arzate, 2009). Además de dar sabor a las comidas, tiene cualidades nutritivas por su contenido de vitaminas A y C. El picor de estos chiles se debe a los capsaicinoides, 80% de los cuales son la capsaicina y la dihidrocapsaicina (Cruz *et al.*, 2007). El consumo de chiles ha tenido un considerable aumento en todo el mundo en los últimos años, entre ellos se encuentran países de la Unión Europea y Estados Unidos de Norteamérica, por una parte debido a la gran cantidad de inmigrantes que lo demandan y por otro lado la población en general ha empezado a utilizar dicho fruto como condimento. Una de las limitantes para la comercialización de los chiles en México es su deficiente calidad sanitaria y cuando no se controla en la materia prima las consecuencias son pérdidas postcosecha, una calidad deficiente del producto en aspecto físico y corta vida de anaquel, lo que redundará en rechazos y pérdidas económicas (Casar y Moreno, 2005). Las principales pérdidas postcosecha del chile manzano son debido a que este producto en estado fresco puede presentar plagas especialmente insectos de los órdenes *Diptera* y *Homoptera*, entre los cuales se incluye varias especies de moscas de la fruta como: *Anastrepha ludens* (Mosca Mexicana), *Faustinus ovatipennis* (picudo), *Puccinia pampeana* Speg (roya), entre otros (USDA/APHIS-IS/ MAGA, 2006), además de algunos desórdenes causados tanto por pérdida de agua debido a daños por calor y frío que deterioran la calidad del producto. Entre las enfermedades causadas por hongos se encuentran la necrosis apical causada por el hongo *Alternaria*, antracnosis causada por especies del género *Colletotrichum sp.*, podredumbre gris del género *Botrytis cinerea*, entre otros, la consecuencia inmediata de esto es que la oportunidad de comercializar los chiles se reduzca de forma importante (Tamayo, 2005).



Las técnicas para conservar la calidad, sanidad e inocuidad del chile manzano pueden ser la refrigeración, los acondicionamientos térmicos, envasado en AM, cubiertas comestibles, ceras, reguladores del desarrollo, volátiles naturales y almacenamientos hiperbáricos (Bramlage y Meir, 1990). Otra técnica es la irradiación, ésta tecnología se considera un medio físico de conservación de alimentos que incluye la exposición de productos a rayos gamma, la unidad de medida de las radiaciones son los Grays, que de acuerdo a la OMS y al Comité Mixto de expertos sobre la comestibilidad de alimentos irradiados (FAO/IAEA/WHO, 1986) es posible aplicar una dosis de hasta 1000 Gy para productos frescos sin riesgo toxicológico y nutricional para el consumidor, la cual tiene la finalidad de inhibir la germinación, destruir las bacterias y plagas, también puede actuar sobre los mecanismos responsables de la maduración y senescencia, haciendo que ambos procesos evolucionen lentamente y se logre aumentar la vida comercial útil de los mismos (Barbosa, 1999). Los efectos de las radiaciones de los alimentos no pueden generalizarse si no se especifica el alimento y la dosis absorbida del mismo, ya que se pueden sufrir alteraciones en la composición química que alteran en mayor o menor medida su calidad nutricional y organoléptica. Todos los tratamientos postcosecha deben ser validados a partir de determinar los efectos en los parámetros de calidad como: color, firmeza, pérdida de peso, respiración, y efecto en algunos componentes químicos de importancia nutricional como son: contenido de agua, vitaminas mayoritarias en el producto A y C. Considerando la tecnología de irradiación como una alternativa al uso de productos químicos para los tratamientos postcosecha y tomando en cuenta que de acuerdo al Plan de trabajo operativo entre México y Estados Unidos de Norteamérica, donde la USDA y sus inspectores establecen que estos tratamientos no representan ningún daño o pérdida, ya que están aprobados por tener seguridad biológica contra la plaga asignada (*Anastrepha ludens* ó Mosca de la fruta). Por tal motivo, se planteó como objetivo del presente proyecto evaluar el efecto de la irradiación gamma en las características organolépticas, químicas, fisiológicas, nutricionales y de calidad del chile manzano para su exportación a Estados Unidos de Norteamérica.



ANTECEDENTES



1. Antecedentes

1.1 Definición y origen de *Capsicum pubescens*

1.1.1 El género *Capsicum*

El género *Capsicum* tiene una larga tradición cultural en México, se le considera como una de las primeras plantas cultivadas en Mesoamérica, una de sus especies *Capsicum annuum*, fue adoptada en esta zona durante la época prehispánica. Todas las especies del género *Capsicum* tuvieron su origen en el Nuevo Mundo. "No hay evidencia de su existencia en otros continentes antes del descubrimiento de América; tampoco hay referencias suyas anteriores al siglo XVI en lenguas antiguas, como el sánscrito de la India, el griego o el chino". Los botánicos especializados en el estudio del chile calculan que existen entre 2000 y 3000 tipos de chile en el mundo, se usa el término "tipo" en vez de "variedad", ya que este último tiene un significado específico en los estudios botánicos (Long, 2005).

Los botánicos han clasificado el chile en sólo cinco especies cultivadas y alrededor de 22 especies silvestres. La gran mayoría de las especies silvestres se localizan en América del Sur donde se calcula que se originó este género de plantas, en un remoto pasado histórico. Algunos botánicos opinan que el lugar de origen del chile se encuentra en la zona andina, mientras otros especulan que se originó en el sudeste del Brasil, por la gran diversidad de especies de *Capsicum* que existe en estas dos regiones. Es probable que la planta haya sido dispersada en otras regiones por los pájaros, que atraídos por los frutos rojos, comen hasta los chiles más picantes para después arrojar las semillas en otra parte junto con el excremento. De esta manera se calcula que el chile habría llegado a Mesoamérica, como planta silvestre, hace miles de años (Long, 2005).

Las cinco especies cultivadas hoy en día son las siguientes: *Capsicum annuum*, en Mesoamérica; *Capsicum baccatum*, chile de la zona andina; *Capsicum chinense*, el chile habanero; *Capsicum frutescens*, el chile Tabasco, y *Capsicum pubescens*, el chile manzano. Todos los tipos de chile cultivados en México actualmente, con la excepción del chile habanero y el chile manzano, pertenecen a la especie *Capsicum annuum*. Es la especie de mayor importancia a nivel comercial en el mundo. El ancestro de este grupo de chile es el



pequeño chile piquín, conocido taxonómicamente como *Capsicum annuum* var. *Aviculare*. Este diminuto chile silvestre es el progenitor de los chiles mexicanos, desde el chile serrano hasta el chile dulce o pimentón se cultiva con facilidad, el piquín no ha pasado por el proceso de domesticación y se sigue clasificando como un chile silvestre. Hoy día tiene una amplia distribución y se da de manera espontánea desde el sur de Estados Unidos de Norteamérica hasta América del Sur. El chile ha contribuido con variedad y sabor a la dieta básica del mexicano durante los nueve mil años recientes (Long, 2005).

1.1.2 Definición de *Capsicum pubescens*

Frutos de bayas carnosas de dos a cuatro lóculos, de color brillante, amarillo claro o rojo, que presentan diversos tamaños y formas características, cuerpo liso y marcado, ápice chato o puntiagudo, dependiendo de la cantidad de lóculos. Deben ser de pericarpio grueso y generalmente de forma similar al de una manzana. Las semillas son negras y se alojan en placentas blancuzcas. Coloquialmente se conoce también como chile perón, cera o canario en algunas regiones del país (NMX-FF-025-SCFI-2007).

1.1.3 Origen

El chile manzano (*Capsicum pubescens*) es originario de Sudamérica, en las zonas altas de Bolivia y Perú se ubica su centro de origen. Es el único tipo de chile que se adapta a las condiciones altas mexicanas (1,700 a 1,400 msnm) y al clima templado-frío (Pérez, 2006).

1.1.4 Variedades

En la actualidad investigadores de Chapingo cuentan con tres variedades desarrolladas de chile manzano, las cuales fueron bautizadas con el nombre: “Zongolica por Puebla”, “Chapingo Amarillo” y “Puebla”, todas ellas dan frutos macizos de color amarillo, con pericarpio grueso de medio centímetro.

- **Zongolica por Puebla.** Es un fruto pequeño, pero las plantas tienen los entrenudos más cortos por lo que nos da un mayor número de frutos, porque a los dos metros la planta da un mayor número de bifurcaciones (Figura 1-a). El fruto es más uniforme.



- **Chapingo amarillo.** Esta variedad cuenta con tres lóculos (Figura 1-b). Los entrenudos de las plantas no son muy largos sino intermedios y miden de ocho a diez centímetros. El crecimiento de las plantas alcanza dos metros y los frutos son uniformes.
- **Variedad Puebla.** Es un fruto más grande y tiene cuatro lóculos (Figura 1-c), por lo que es más cuadrado. La parte carnosa (pericarpio) es más gruesa. El defecto de la planta es que tiene los entrenudos más largos y tarda un poco más en producir, unos 15 a 20 días más. Los frutos son más grandes.

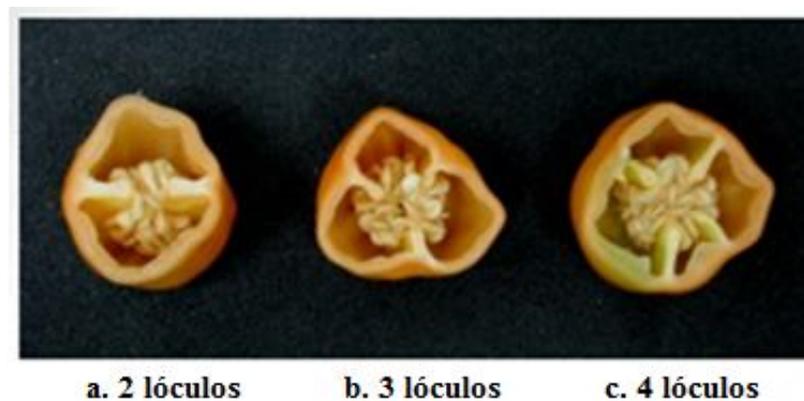


Figura 1. Lóculos presentes en el chile manzano.
Fuente: Industria Agrícola Maya (2010).

1.2 Morfología y anatomía del chile manzano

1.2.1 Morfología del chile manzano.

En estado fresco, son carnosos, bulbosos con forma cónica, con numerosas semillas negras y rugosas (único chile con este tipo de semillas) Figura 2, es una baya cilíndrico-obtusa (parecida a una pequeña manzana) de 3-5 cm de largo, en promedio y de 3 cm en su parte más ancha; brillante de color verde cambia al amarillo o rojo intenso, como encerado al madurarse, según la especie y variedad (INEGI, 2010). En la Figura 3 se muestra la morfología del chile manzano.



Figura 2. Chile manzano

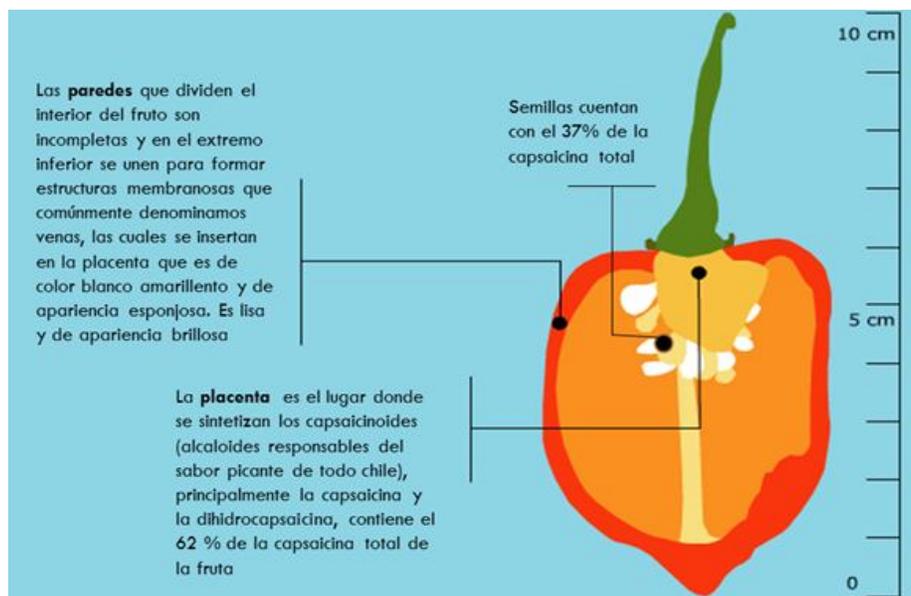


Figura 3. Morfología del chile manzano.
Fuente: Industria Agrícola Maya (2010).

1.2.2 Anatomía de la planta

Planta herbácea (hierba o arbusto pequeño de 50 cm o más de altura) con el tallo muy ramificado. Las hojas alternas, lisas y brillantes; inflorescencia axilar de hoja y ramilla, solitaria o en grupos, pendientes o erectas; con cáliz de cinco sépalos, adherido al fruto; corola en forma de copa que se abre en 5 ó 7 pétalos y diferente a cada especie, puede ser blanca, amarilla o purpúrea (INEGI, 2010).



1.2.3 Índice de madurez fisiológico.

Los índices de madurez en el chile manzano para su cosecha son principalmente el tamaño, el color y el brillo del fruto. Para consumo en fresco se cosechan cuando su color es aun verde o con su color final (rojo o amarillo). Con la cosecha de frutos verdes se obtiene mayores rendimientos, ya que la recolección temprana de éstos estimula la producción de nuevos frutos. La adquisición de color (rojo o amarillo) puede adelantarse y uniformarse mediante la aplicación localizada de etefón. La aplicación de etefón en pre recolección permite adelantar la maduración y uniformarla (250-1000 ppm), la aplicación se hace generalmente al comienzo del cambio de color (Namesny, 1999).

1.3 Enfermedades y plagas

1.3.1 Principales plagas que afectan el chile manzano

Una de las determinantes más importantes para la implementación del plan de trabajo para la exportación a Estados Unidos de Norteamérica de este fruto en estado fresco es precisamente las plagas con mayor frecuencia, las cuales se presentan en la Tabla 1. (USDA, APHIS-IS, MAGA 2006).

Tabla 1. Principales plagas que afectan el chile manzano.

Plaga	Daños que ocasiona
<p><i>Neoleucinodes elegantalis</i> Guenée (Barrenador del fruto)</p> 	<p>En las plantaciones infestadas severamente, más del 20% de las plantas no florecen debido a que si las larvas emergen durante la etapa avanzada de prefloración de la planta el brote floral ascendente y el pedúnculo dentro del pseudo tallo pueden ser comidos y dañados, lo que da como resultado la ausencia de la emergencia del brote final que se pudre dentro del pseudo tallo. La pudrición ocurre debido a una infección secundaria con patógenos y se desprende un olor desagradable, las frutas no se desarrollan, presentando una condición de deshidratación con una maduración prematura. La infestación interfiere en la translocación de los nutrientes y el agua, retarda el crecimiento, desarrollo y aumenta la susceptibilidad al vuelco. Causa del 10 al 90% de pérdida del rendimiento (Padmanaban y Sathiamoorthy, 2001).</p>

Fuente: USDA, APHIS-IS, MAGA (2006).



Continuación. Tabla 1. Principales plagas que afectan el chile manzano

<p><i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann (Moscamed)</p> 	<p>Ataca a más de 250 especies frutícolas entre las que destacan: cítricos, mangos, plátanos, manzanas, papaya, etc. conforme crece la larva y se alimenta, produce una serie de galerías en la pulpa del fruto que al oxidarse producen la proliferación de bacterias y otros microorganismos que pudren la fruta, creando zonas necróticas, fibrosas y endurecidas de color café oscuro o negro que muchas veces se confunden con galerías de barrenadores. Con frecuencia rozan las semillas dejando marcas negras. Muchas frutas con larvas aceleran su proceso de maduración y son fácilmente identificados, porque se forman manchas de color café en donde la hembra insertó su ovipositor, de esta manera se puede separar los frutos dañados de los buenos (Hernández, 1993).</p>
<p><i>Faustinus ovatipennis</i> (Picudo)</p> 	<p>Es una de las plagas más dañinas en <i>C. chinense</i>, <i>C. annum</i> y <i>Pubescens</i> R y P. La larva se alimenta dentro del fruto en desarrollo y ocasiona maduración prematura, deformaciones, aparición de manchas necróticas y caída de frutos (Ruiz <i>et al.</i>, 2009).</p>
<p><i>Liriomyza huidobrensis</i> Blanchard (Mosca minadora)</p> 	<p>Realiza numerosas picaduras en las hojas como sitios de alimentación y ovipostura, afectan a la fotosíntesis causando pérdidas significativas del rendimiento, especialmente cuando poblaciones altas producen en el periodo de formación y llenado de tubérculos. Pueden en algunos casos causar la pérdida total de la producción (Larrín, 2004).</p>
<p><i>Anastrepha ludens</i> Loew (Mosca mexicana)</p> 	<p>El daño causado es directo, la larva se alimenta dentro del fruto, afectando notablemente su calidad y constituyendo el punto de entrada a microorganismos patógenos que también atacan los tejidos sanos de las frutas (Hedstrom y Jirón, 2005).</p>

Fuente: USDA, APHIS-IS, MAGA (2006).



Continuación. Tabla 1. Principales plagas que afectan el chile manzano

***Opogona sacchari* Bojer
(polilla del banano)**



En un minador de hojas, brotes y frutos. Produce pérdidas en los cultivos por dos razones: por reducción de los rendimientos por la destrucción de hojas y flores y por daño en los frutos que disminuyen su valor comercial (Gray *et al.*, 1999).

***Planococcus minor*
Maskell (cochinilla)**



Estas se encuentran en varias partes de los hospederos, infestando hojas, ramas y raíces. Se manifiestan como plagas que pueden debilitar o matar plantas, ya sea privándolas de su savia, inyectándoles tóxicos, transmitiendo virus o excretando melado (líquido azucarado) que sirve de medio para el establecimiento de hongos (Williams y Granara, 1992)

***Thrips palmi* Karny
(Trips del melón)**



Los daños directos se producen por las larvas y los adultos al picar y succionar el contenido celular de los tejidos, los que provocan manchas superficiales de color blanquecino en la epidermis de hojas y pétalos, en forma de una placa plateada, que más tarde necrosan, pudiendo afectar a todas las hojas (Juárez, 2000).

***Puccinia pampeana* Speg
(roya)**



Los daños son frecuentes en condiciones de temperaturas medias cálidas (15 a 28°C) y humedad relativa alta en el ambiente. Infecta principalmente tallos y hojas, donde produce pústulas erupentes de color amarillo ladrillo, que ocasionan caída de hojas y mal formaciones en ramas y tallos (Tamayo, 2005).

**Virus del mosaico
amarillo del tomate**



Las plantas de pimentón afectadas manifiestan síntomas de moteado, mosaico suave, clorosis de venas, malformaciones foliares y mosaico foliar amarillo generalizado. La superficie de la hoja presenta rugosidades y en la superficie de los frutos verdes y maduros procedentes de plantas afectadas se observa un moteado suave (Tamayo, 2005).

Fuente: USDA, APHIS-IS, MAGA (2006).



1.3.2 Enfermedades y daños fisiológicos

El manejo postcosecha de los *Capsicum* es tan crucial como el crecimiento en la planta. Si éste se utiliza como un producto fresco, el manejo postcosecha apropiado es esencial para un producto de calidad. La obtención de *Capsicum* de alta calidad comienza con la selección de la variedad y semillas adecuadas. Antes de comenzar la cosecha, las buenas prácticas, como fertilización y riego en el campo deben ser las adecuadas para producir una cosecha de alta calidad.

El nivel de tensión que vive el cultivo en el campo influirá en el rendimiento, sabor, pungencia, color de los frutos y las enfermedades que generan daños. En general, los *Capsicum* cosechados a partir de campos de gestión de calidad inferior, tendrán un nivel de postcosecha de la misma magnitud.

Capsicum cosechados durante periodos de lluvias, seguramente se verán afectados por enfermedades, especialmente si estos no son refrigerados. La firmeza de la vaina o el grado de deshidratación es la principal indicación que determina la frescura de un *Capsicum*. En la Tabla 2 se presentan algunas de las enfermedades y daños fisiológicos presentados por un mal manejo en el campo y postcosecha (Bosland y Votava, 2000).

Tabla 2. Enfermedades y daños fisiológicos presentados en el género *Capsicum*.

Enfermedad o daño fisiológico	Características
<p data-bbox="224 1318 662 1350">Asoleamiento y pérdida de agua</p> 	<p data-bbox="818 1318 1391 1789">Una de las alteraciones más comunes, se manifiestan a través de una necrosis blanquizca de la zona en que ha incidido el sol. Los frutos más atacados son los que están virando, los de color verde o rojos resultan menos sensibles. El daño solo ocurre en presencia de luz, no es suficiente el calor. Aunque el calor es imprescindible para que ocurra el daño (entre 40.5 y 42.5°C), en ausencia de luz tiene efectos protectores. Tanto la pérdida de agua como los daños por calor deterioran la calidad del producto; al igual que con el asoleamiento.</p>

Fuente: Namesny, (1999); Tamayo (2005).



Continuación. Tabla 2. Enfermedades y daños fisiológicos presentados en el género *Capsicum*.

<p>Necrosis apical</p> 	<p>Los frutos muestran próximo al ápice zonas de tejido que primero se debilita, una mancha hundida, de color blanco grisáceo y húmedo. El tejido se seca y vuelve de color pardo oscuro. El daño permanece localizado si no ocurren infecciones de patógenos secundarios que pueden provocar la podredumbre de todo el fruto. Las lesiones se encuentran colonizadas por el hongo <i>Alternaria</i>. El origen de esta enfermedad es una deficiente asimilación de calcio, hecho que ocurre con más frecuencia en plantas poco vigorosas, bajo condiciones de escasez hídrica o riego con aguas salinas.</p>
<p>Antracnosis</p> 	<p>Es causada por <i>Colletotrichum sp</i>, no adquiere carácter de gravedad. Los <i>capsicum</i> maduros, presentan pequeñas manchas deprimidas que aumentan de tamaño dando lugar a lesiones circulares, de bordes nítidos. Al envejecer se cubren de puntos negros, constituidos por los cuerpos fructíferos del hongo. Los tejidos internos son afectados por una podredumbre seca que puede afectar a las semillas.</p>
<p>Podredumbre gris</p> 	<p><i>Botrytis cinerea</i> afecta la cosecha en tiempo lluvioso y generalmente después de un periodo de temperaturas frías que debilitan a las plantas. Comienza por un sépalo o de los pétalos que no acaban de desprenderse. En almacenamiento también se presenta en frutos dañados por frío.</p>

Fuente: Namesny (1999); Tamayo (2005).



Continuación. Tabla 2. Enfermedades y daños fisiológicos presentados en el género *Capsicum*.

<p>Otros hongos</p> 	<p>Pueden encontrarse daños por: <i>Alternaria</i>, la pudrición por <i>Sclerotium</i> (<i>Sclerotium rolfsi</i>), la mancha bacterial (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>) y por un virus. También la marchitez vascular (<i>Fusarium oxysporum</i>), el moho blanco (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>), y las enfermedades foliares causadas por <i>Cercospora capsici</i>, <i>Phoma</i> sp., <i>Alternaria solani</i> y <i>Oidiopsis</i> sp. Otras enfermedades de menor importancia fueron el oidio (<i>Oidium</i> sp.) la mancha por <i>Cladosporium</i> (<i>Cladosporium</i> sp.), la pudrición por <i>Erwina</i> (<i>Erwina</i> sp.), las pudriciones de plántulas, los patógenos postcosecha y los nematodos del nudo de la raíz (<i>Meloidogyne</i> sp.).</p>
--	---

Fuente: Namesny (1999); Tamayo (2005).

1.4 Zonas de producción

1.4.1 Producción mundial del chile

La producción mundial de chiles ha tenido un crecimiento espectacular en los últimos 10 años, con un 43% de incremento en la superficie y con un 96% en los volúmenes de producción. Este aumento en la producción de chiles, principalmente picosos, se debe a la creciente demanda de este fruto en todas sus presentaciones (fresco, seco y procesado), tanto para consumo directo como para sus usos industriales. Según los datos estadísticos más recientes de la FAO (2005), la producción mundial asciende de 23, 647, 318 toneladas en el 2005 a 25, 383, 596 toneladas en el 2008, lo cual representó un incremento del 6.48% en la producción.

De todo el mundo China es el país que presenta una mayor participación en la producción de chiles, con una producción anual de 14, 274,178 toneladas. Esto representa el 56.23% de la producción mundial de chiles. México ocupa el segundo lugar en volumen con una producción anual de 2, 054,968 toneladas, esto es el 8.09% de la producción mundial. La tabla 3 presenta los principales productores de chile en toneladas.



Tabla 3. Productores de Chile a nivel mundial, presentado en toneladas.

Posición	Región	Producción (1000\$Int)	Símbolo	Producción (1000Ton)	Símbolo
1	China	4,925,876	*	14,274,178	F
2	México	709,148	*	2,054,968	
3	Turquía	619,842	*	1,796,177	
4	Indonesia	376,877	*	1,092,115	
5	España	342,398	*	992,200	
6	Estados Unidos de Norteamérica	313,966	*	909,810	
7	Nigeria	250,190	*	725,000	F
8	Egipto	242,739	*	703,408	
9	República de Corea	133,122	*	385,763	
10	Países Bajos	113,879	*	330,000	

*: Cifras no oficiales

(): Datos oficiales

F: Estimación FAO

Fuente: FAO (2005).

Después de México le siguen Turquía e Indonesia en total de producción. Cabe mencionar que dentro de los productores de Chile se encuentran un gran número de países latinoamericanos y asiáticos, sin embargo, su contribución individual en la producción mundial no es significativa.

1.5 Exportación e importación

El comercio mundial de Chile ha presentado un aumento constante desde 1993. El volumen de las importaciones en México se ha incrementado 112%. Las exportaciones han aumentado en estos diez años un 95%, mientras que su valor económico lo ha hecho en 147% según datos de las FAO (2005). Estados Unidos de Norteamérica, Alemania y Francia son los tres países con mayor participación en las importaciones representando entre los tres el 51% del volumen y el 54% del valor de las importaciones. Le siguen Reino Unido y Canadá (Figura 4).

Si bien es cierto que no se consume el producto en estos países en el mismo volumen que en América Latina o Asia, éstos destinan una mayor superficie al cultivo de otros productos



de mayor demanda en sus mercados, de ahí que abastezcan sus necesidades de chile en los mercados externos.



Figura 4. Importaciones mundiales de chile, en porcentaje de participación por toneladas importadas. Fuente: FAO (2005).

Por otro lado, estos países importan el producto en forma de materia prima para posteriormente aplicarle un proceso industrial que permita exportarlo hacia otros mercados con valor agregado. Los principales países exportadores de chiles según datos de la FAO (2005), son España, México y Holanda, que entre los tres abarcan más del 66% del volumen y 74% del valor económico de las exportaciones mundiales (Figura 5). En este punto destaca Holanda, país que ni siquiera figura en el top 5 de productores, pero que por sus altos rendimientos (asociados a buenas tecnologías de siembra y cultivo) y casi nulo consumo interno se coloca como el tercer lugar en exportaciones. Es relevante mencionar la situación de México, que es el segundo productor y también el segundo exportador, pese que una gran parte del volumen producido se queda para autoconsumo.

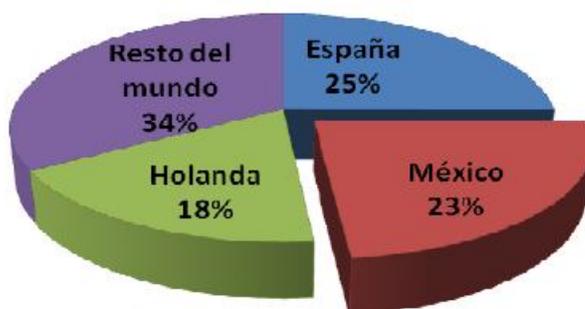


Figura 5. Exportaciones mundiales de chile, en porcentaje de participación por toneladas exportadas. Fuente: FAO (2005).



1.5.1 Producción del chile en México y variedades más importantes

México destaca a nivel mundial por tener la mayor variabilidad genética de *Capsicum*. Existen especies que son empleadas para producto fresco, encurtido y deshidratado, y las especies que se producen en mayor cantidad son: *Capsicum annuum L.* (jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, ancho, mulato, pimiento morrón y chile bell), *Capsicum pubescens* (chile manzano) y *Capsicum chinense* (chile habanero). En la Figura 6 se representa la producción de las especies mencionadas anteriormente en México.

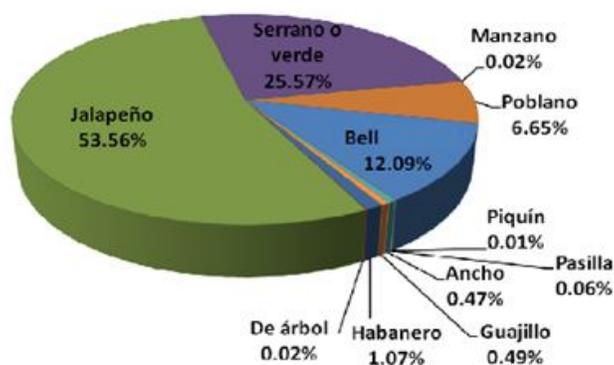


Figura 6. Producción de las principales variedades de chile en México, en porcentajes de producción. Fuente: FAO (2005).

México es un gran consumidor de chile, con un consumo per cápita en el 2001 de 8.7 kilogramos. La SAGARPA declaró que México era el tercer productor mundial de chile, con 180 mil toneladas al año. Para el 2005, Díaz (2006) reporta que el país ocupaba ya el segundo lugar, sólo después de China. No obstante, los mexicanos representan al tercer mayor consumidor mundial del producto fresco, después de EU y Malasia, de modo que la mayor parte de la producción se destina a consumo interno, con lo que el volumen de exportación se reduce significativamente.

1.6 Composición Química

El género *Capsicum* son entre los frutos de mayor contenido en vitamina C según FDA, describen para los *Capsicum* como libres de grasas, libres de grasas saturadas, bajas



cantidades de sodio, libre de colesterol, bajo en calorías y elevadas cantidades de vitamina A (Bosland y Votava, 2000).

Este género contiene miles de sustancias químicas, incluido el agua, aceites volátiles, carotenoides, capsaicinoides, resina, proteína, fibra y elementos minerales. Los numerosos productos químicos, tienen una gran importancia para el valor nutricional, sabor, color y aroma. Los dos grupos más importantes de productos químicos encontrados en los *Capsicum* pueden ser los carotenoides y los capsaicinoides. Los carotenoides contribuyen en la síntesis de color y además de su valor nutricional y los capsaicinoides son los alcaloides de la familia de los vanilloides, los cuales se acumulan en la placenta de los frutos y le dan el sabor picante característico (Bosland y Votava, 2000). Tal como se muestra en la Tabla 4 por porción comestible de *Capsicum* dulces y picantes en cuanto a su composición.

1.6.1 Agua

El agua es la sustancia química más abundante en el género *Capsicum*. En los frutos la cantidad de agua depende de la edad. Los frutos verdes maduros contienen la mayor cantidad, alrededor del 90%, mientras que las variedades que se dejan secar en la planta pueden contener tan sólo un 70%. El género *Capsicum* pierde rápidamente agua después de la cosecha, contribuyendo a un problema de calidad importante (Lownds *et al.*, 1993).

Tabla 4. Composición química (por 100 g de porción comestible) de *Capsicum* dulces y picantes de consumo habitual.

Componente	<i>Capsicum Dulce</i>	<i>Capsicum picante</i>
Agua (%)	94	88
Energía (Kcal)	19	40
Proteínas (g)	0.9	2.0
Lípidos (g)	0.2	0.2
Carbohidratos (g)	3.7	9.5
Fibra (g)	1.2	1.8
Ca (mg)	12	18

Fuente: Lorenz y Mainard (1988).



Continuación. Tabla 4. Composición química (por 100 g de porción comestible) de *Capsicum* dulces y picantes de consumo habitual.

Componente	<i>Capsicum</i> Dulce	<i>Capsicum</i> picante
Fe(mg)	0.5	1.2
Mg (mg)	11	--
Na (mg)	2	--
K (mg)	210	340
Vit. A (retinol, µg) equiv.	94	120
Vit B1 (tiamina, mg)	0.05	0.09
Vit. B2 (riboflavina, mg)	0.04	0.09
Vit. B3 (niacina, mg)	0.90	0.95
Vit. B6 (pírodoxina, mg)	0.17	0.28
Vit. C (ac. Ascórbico, mg)	131	243
Vit. E (mg)	0.8	1.1

Fuente: Lorenz y Mainard (1988).

1.6.2 Carbohidratos

Entre los carbohidratos, el *Capsicum* contiene diversos azúcares reductores y fibra dietética. El contenido en fibra puede alcanzar el 20% de la materia seca del pericarpio (Bosland y Votava, 2000) y la piel puede contener un 80% de fibra total (McKee, 1998).

El azúcar más importante en la composición de los frutos *Capsicum* es la glucosa. Este monosacárido supone el 90-98% del contenido en azúcares totales en frutos rojos maduros, siendo la sacarosa el siguiente azúcar en orden de importancia (Somos, 1984). El contenido en azúcares varía por efecto del ambiente pero especialmente con el tipo de fruto y el cultivar. Así, algunos tipos presentan sabor dulce, mientras que en otros hay una ausencia total de dulzor. Los niveles de azúcares totales y reductores son máximos en los frutos rojos y succulentos (Bosland y Votava, 2000).



1.6.3 Lípidos

Los *Capsicum* contienen lípidos que son cualitativamente similares a los que se encuentran en las plantas en general. El contenido de lípidos totales de productos frescos es de 400 mg/100g de peso fresco, un nivel relativamente bajo (Kinsella y Kemp, 1983). Cuando los lípidos se examinaron, se encontró que contenían 82% de lípidos neutros (grasas), 2% de fosfolípidos y 16% de los glucolípidos. Los triglicéridos representaron el 60% de los lípidos totales; siendo principalmente el ácido palmítico, ácido linoléico y el ácido linolénico (Lyon y Lippert, 1966). El 76% de los fosfolípidos es la fosfatidilcolina. El ácido linoléico representa el 70% de la composición de ácidos grasos.

Además, la cantidad de ácidos grasos insaturados en las mitocondrias se refiere a la sensibilidad de cada especie por daños por frío. Las plantas con mayores cantidades de ácidos grasos insaturados son más resistentes a temperaturas bajas de refrigeración que los que tienen más ácidos grasos saturados. Los ácidos grasos de *Capsicum* son sensibles a las temperaturas de refrigeración y los coeficientes de insaturados/saturados son los esperados para un enfriamiento de especies sensibles al frío (Bosland y Votava, 2000).

1.6.4 Aminoácidos, proteínas y micro elementos

Somos (1984) muestra los detalles de varios estudios realizados en Hungría en éste grupo de compuestos químicos. Hace una lista de la lisina, arginina, prolina, tirosina, triptófano, metionina, valina, fenilalanina, leucina, ácido glutámico, glicina, asparagina, treonina y alanina presentes en *Capsicum*. También afirma que la investigación ha demostrado que el pericarpio tiene 16-17% de proteínas y las semillas contienen 18%. Cuando se investigaron los microelementos, se constató que el hierro presente se encuentra en la mayor concentración, seguido por el bromuro y el manganeso. Otros microelementos encontrados fueron el cadmio, calcio, cobalto, cobre, magnesio, fósforo, potasio, sodio y zinc (Bosland y Votava, 2000).

1.6.5 Compuestos volátiles

El aroma es un factor fundamental para la calidad organoléptica de *Capsicum* dulces y picantes y uno de los más característicos. La fracción volátil de los frutos *Capsicum* presenta una extraordinaria riqueza y diversidad de compuestos, en este sentido Keller *et al.*



(1981) encontraron un centenar de compuestos volátiles en un experimento con *C. annuum* y *C. frutescens*, mientras que Haymon y Aury (1971) aislaron más de 120 compuestos volátiles en los aceites esenciales del tipo varietal Tabasco. Recientemente se han identificado más de 200 compuestos volátiles distintos en un experimento con 20 genotipos pertenecientes a las cinco especies cultivadas de *Capsicum*, lo cual permite hacerse una idea del amplio espectro de compuestos volátiles que pueden encontrarse en estos frutos. Desde el punto de vista sensorial, la 2-metoxi-3-isobutilpirazina es el compuesto más importante para el aroma final de los frutos (Lunning *et al.*, 1994, Kollmannsberger *et al.*, 2006). Este compuesto, origen del característico e intenso aroma herbáceo que percibimos en los frutos del *Capsicum* común como los “california”, es uno de los más potentes que se conocen y el olfato humano puede detectarlo a concentraciones de 2 partes por billón. Otros compuestos con importancia sensorial son 1-penten-3-ona (aroma picante), hexanal (herbáceo), octanal (frutal), cis- β -ocimeno, metilsalicilato, heptanetriol, diversas iononas y ésteres (frutal), (Bosland y Votava, 2000; Kollmannsberger *et al.*, 2006).

1.6.6. Vitaminas

El genotipo, las prácticas culturales y el ambiente son factores muy importantes para la mayoría de compuestos nutricionales en *Capsicum* (Bosland y Votava, 2000). Además, dado que estos frutos pueden consumirse en diversos estadios de madurez, éste es un aspecto a tener en cuenta pues, en general, el valor nutricional es mayor en frutos totalmente maduros (Bosland y Votava, 2000; Howard *et al.*, 2000; Gnayfeed *et al.*, 2001; Russo y Howard, 2002).

El pimiento es una fuente importante de diversas vitaminas o precursores de las mismas. Por su elevado aporte a la dieta son de destacar las vitaminas A, C y E, y en menor cantidad la tiamina (B1), riboflavina (B2) y niacina (B3). Cantidades de tiamina tienen un rango de 0.40 a 0.60 mg/100g, contenido de riboflavina de 0.93-1.66 mg/100 g y niacina de 13.6-15.4 mg/100g (Govindarajan, 1988). Se ha reportado que en *Capsicum* existe una alta actividad antioxidante de la vitamina A cuando interactúa con vitamina C. En general, los *Capsicum* aportan dosis elevadas de vitamina A en forma de sustancias precursoras, las fuentes más importantes de provitamina A en *Capsicum* son los carotenoides α -caroteno, β -



caroteno, γ -caroteno y β -criptoxantina. Entre todos ellos, β -caroteno está considerado el precursor más efectivo y puede suponer más del 90% del aporte en provitamina A en frutos maduros (Howard *et al.*, 1994; Latham, 2002). Además, β -caroteno ha sido descrito como un compuesto con actividad anticancerígena (National Academy of Science, 1982; Ziegler, *et al.*, 1986). La vitamina C, fundamentalmente en forma de ácido L-ascórbico, es esencial para evitar el escorbuto. Además está reconocido como uno de los agentes antioxidantes más potentes que existen en los productos vegetales. El contenido en ácido ascórbico suele ser muy alto en *Capsicum* y es uno de los factores de calidad nutricional más importantes. El contenido de ácido ascórbico se ha reportado entre 46 y 243 mg 100/g de peso fresco (Wimalasiri y Wills, 1983; Nisperos- Carreidos *et al.*, 1992; Howard *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1995).

La vitamina E, como la C, es un potente antioxidante y por su capacidad para limitar la oxidación y neutralizar los radicales libres nocivos, se aconseja como factor preventivo de arteriosclerosis y cáncer (Latham, 2002). Esta vitamina aparece en proporciones considerables en los frutos de *Capsicum* en forma de α -tocoferol en el pericarpo y γ -tocoferol en las semillas (Osuna-García *et al.*, 1998). Se extienden en las concentraciones de 3.7 a 236 mg 100/g peso seco dependiendo de la fuente de referencia (Kanner *et al.*, 1979, Daood *et al.*, 1989, Biacs *et al.*, 1992).

1.6.7 Carotenoides

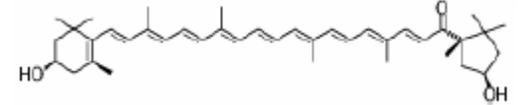
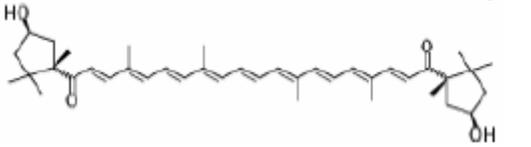
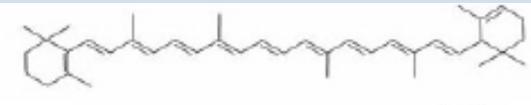
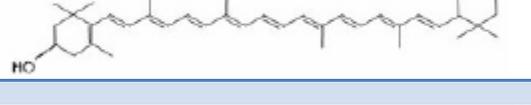
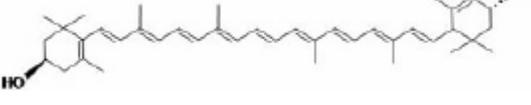
Los colores diversos y brillantes de la fruta de *Capsicum* son originarios de los pigmentos carotenoides presentes en las membranas de los tilacoides de los cromoplastos. En las plantas, los carotenoides son sintetizados en tanto por los cloroplastos de los tejidos de la fotosíntesis y los cromoplastos de flores, frutas y raíces (Bosland y Votava, 2000).

Químicamente, los carotenoides son solubles en lípidos, con una serie de dobles enlaces conjugados que son los responsables de la absorción de la luz visible, éstos son compuestos terpenoides procedentes de la condensación de ocho unidades de isopreno. Los carotenoides funcionan como pigmentos accesorios para la fotosíntesis y como protección de luz en la planta. La función principal de β -caroteno y otros carotenoides es proteger a los cloroplastos del foto-daño oxidativo. Sin embargo, los carotenoides son inestables cuando



son expuestos a la luz, al oxígeno o temperatura (Bosland y Votava, 2000). Otro de los atributos característicos del género *Capsicum* reside en la diversidad cromática que exhiben sus frutos, lo cual se debe a combinaciones específicas de numerosos pigmentos carotenoides (DeWitt y Bosland, 1996; Nuez *et al.*, 2003). La presencia de determinados grupos químicos al final de su cadena determinan sus propiedades cromóforas y permite clasificarlos en dos familias cromáticas: rojos y amarillos/naranjas (Hornero *et al.*, 2000). Hasta la fecha se han descrito más de treinta carotenoides en el género *Capsicum* (Lee *et al.*, 2005), aunque desde el punto de vista cuantitativo destacan las xantofilas, capsantina y capsorubina entre los de tipo rojo y β -caroteno, β -criptoxantina, luteína, violaxantina y zeaxantina, entre los de tipo amarillo y naranja (Tabla 5) (Wall *et al.*, 2001).

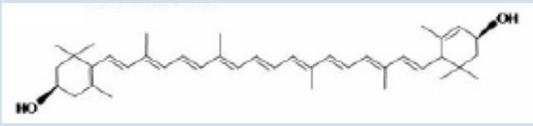
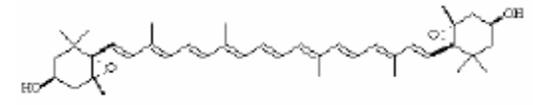
Tabla 5. Moléculas de los principales carotenoides presentes en frutos de *Capsicum*.

	Carotenoide	Estructura molecular
Carotenoides responsables de coloración naranja-roja	Capsantina	
	Capsorubina	
	β caroteno	
Caroteno responsables de coloración amarilla	β -criptoxantina	
	Luteína	

Fuente: Bosland y Votava (2000).



Continuación. Tabla 5. Moléculas de los principales carotenoides presentes en frutos de *Capsicum*.

	Carotenoide	Estructura molecular
Caroteno responsables de coloración amarilla	Zeaxantina	
	Violaxantina	

Fuente: Bosland y Votava (2000).

1.6.8 Capsaicina

La sensación de ardor que acompaña al consumo de frutos de muchas variedades de *Capsicum* es el factor de calidad organoléptica más conocido de este género. El origen de esta irritación reside en un conjunto de sustancias de la familia de los vanilloides denominadas capsaicinoides, las cuales se acumulan en la placenta de los frutos y son exclusivos del género *Capsicum*. Esta sensación organoléptica se debe a compuestos capsaicinoides derivados del metabolismo secundario del grupo de los alcaloides; formados por amidas ácidas de la vanillilamina y ácidos grasos de cadena ramificada de 9 a 11 carbonos a partir de la fenilalanina y la valina (Tabla 6) (Bosland y Votava, 2000).

En la actualidad están identificados una veintena de capsaicinoides, aunque tres de ellos, capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihidrocapsaicina, suponen habitualmente más del 90% de los capsaicinoides totales (Govindarajan y Sathyanarayana, 1991). Algunos autores han sugerido considerar este atributo como un quinto sabor, aunque en realidad estas sustancias son insaboras e inodoras y actúan provocando la irritación de las terminaciones trigeminales de las cavidades bucal y nasal (Szallasi y Blumberg, 1990).



Tabla 6. Estructura molecular de las principales capsaicinoides presentes en los frutos de *Capsicum* spp.

Capsaicinoide	Estructura molecular
Capsaicina	
Dihidrocapsaicina	
Nordihidrocapsaicina	
Homocapsaicina	
Homodihidrocapsaicina	

Fuente: Rodríguez y Nuez (2007).

El potente efecto estimulador de los capsaicinoides los convierte en un atributo muy deseable para muchos platos y recetas que de otro modo serían menos apetecibles. Además, ante la señal de irritación, el cerebro libera endorfinas para atenuarlo, las cuales causan también una intensa sensación de bienestar, lo que podría explicar la adicción de muchas personas por los chiles (Bosland y Votava, 2000).

Otro aspecto positivo de los capsaicinoides es que favorecen la conservación de alimentos y además existen numerosos estudios que les atribuyen efectos beneficiosos para la salud (Andrews, 2000; López *et al.*, 2003). Sin embargo, también hay muchos consumidores a los que su efecto irritante les disuade de consumir *Capsicum* picantes, optando por los tipos dulces.



1.6.8.1 Pungencia

La pungencia está considerada como el factor de calidad del fruto con mayor variación entre genotipos. En el género *Capsicum* se puede encontrar desde tipos muy dulces, con una ausencia total de capsaicinoides y una pungencia nula, hasta entradas con un poder irritante tal que pueden producir ampollas en la piel si no se manipulan con cuidado. La mayoría de cultivares dulces que se conocen pertenecen a *C. annuum*, aunque también se han descrito algunos en *C. baccatum* (Dewitt y Bosland, 1996). El resto de especies presentan cultivares con frutos más o menos pungentes. *C. frutescens* con el emblemático tipo Tabasco y *C. chinense*, con tipos tan conocidos como los habaneros Scotch Bonnet o Red Savina y *C. pubescens*, son las especies a las que pertenecen algunas de las variedades más picantes que se conocen (Dewitt y Bosland, 1996).

Aunque suele existir variación genotípica para este carácter dentro de un mismo tipo varietal, el ambiente también es una importante fuente de variación (Estrada *et al.*, 1999; Zewdie y Bosland, 2000), el CPI de la Universidad Estatal de Nuevo México ha establecido una escala orientativa (CPI, 2006), esta escala basada en unidades SHU, empieza en los tipos más dulces como California, Lamuyo o Dulce Italiano (0-200 SHU) y asciende por los tipos Ancho/Poblano ($1 \cdot 10^3$), Serrano ($4 \cdot 10^3$), NuMex ($5 \cdot 10^3$), Guindillas ($8 \cdot 10^3$), Ají (*C. baccatum*) ($17 \cdot 10^3$), Jalapeños ($25 \cdot 10^3$), Tepines y Chiltepines (formas silvestres de *Capsicum*) ($70 \cdot 10^3$), Tabasco (*C. frutescens*) y algunas formas silvestres de *C. annuum* ($120 \cdot 10^3$) y finaliza en los Habaneros (*C. chinense*) ($\geq 150 \cdot 10^3$; $570 \cdot 10^3$ en Red Savina). Para tener una idea del grado de pungencia, sirva de referencia las $16 \cdot 10^6$ SHU de los extractos de capsaicina pura. El chile manzano *Capsicum pubescens* es un fruto relativamente picante, su rango en la escala Scoville se ubica entre 12 000 a 30 000 SHU (Zewdie y Bosland, 2000).

Los métodos más extendidos para determinar la pungencia en *Capsicum* son el método de Scoville (Scoville, 1912) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). El primero es fundamentalmente organoléptico y permite cuantificar el poder irritante de una muestra de pimiento en unidades SHU (Scoville Heat Units). Este método está basado en la cata de sucesivas diluciones de una muestra de chile hasta que la pungencia no sea detectable. La



necesidad de disponer de un panel de catadores adiestrados y la saturación sensorial de éstos son sus principales inconvenientes. La cromatografía líquida de alta resolución es el método instrumental más extendido y permite identificar y estimar con precisión la concentración de cada tipo de capsaicinoides (Collins *et al.*, 1995). Sin embargo, la preparación y el procesado de las muestras son lentos y laboriosos, aspectos que dificultan la labor del analista, especialmente en los cribados de material.

1.7 Tratamientos Postcosecha

1.7.1 Vida de anaquel

Los frutos obtenidos de plantas en invernadero presentan una mayor vida de anaquel, que puede durar hasta 25 días después del corte, sin que necesite de refrigeración, mientras que los frutos cosechados en campo duran un promedio de 5 días, según Pérez Grajales de la Universidad de Chapingo (Antonio, 2008).

1.7.2 Acondicionamiento

La relación de factores a controlar durante el acondicionamiento y hasta la carga de los frutos en el vehículo de transporte se basan en el momento y forma de recolectar, control en la recepción de los frutos, color de los frutos, limpieza en la zona de manipulación, temperatura ambiental máxima en almacén, demora en la entrada a las cámaras de pre refrigeración, registro de la temperatura y humedad relativa, entre otros (Namesny, 1999).

A continuación en la Tabla 7 se muestran algunas alternativas como tratamientos postcosecha para asegurar la conservación de los frutos.

Tabla 7. Métodos de conservación aplicados para pimientos.

Método de Conservación	Descripción
- Almacenamiento hiperbárico	Sometimiento del producto a una elevada presión hidrostática (4 000–9 000 atm), desde minutos hasta algunas horas.

Fuente: Namesny (1999); Pantastico (1979).



Continuación. Tabla 7. Métodos de conservación para frutos y hortalizas.

<p>- Pre enfriamiento</p>	<p>El pre enfriamiento posterior a la cosecha, reduce rápidamente la temperatura del producto y lo prepara para su envasado, almacenamiento o procesado. Entre más rápido se remueva el calor de campo, más se retarda la deterioración fisiológica y la actividad metabólica disminuyendo la producción de etileno, se reduce el crecimiento de los organismos que ocasionan pudrición y se detiene la pérdida de humedad. Esta operación puede hacerse en cuartos enfriados, por medio de agua, vacío, con aire forzado o por contacto con hielo. En pimientos se recomienda un pre enfriamiento en cámaras frías a temperatura de 7 a 10 °C con humedad relativa mayor al 90%.</p>
<p>- Atmósferas Controladas</p>	<p>Técnica de conservación en la que se modifica la composición gaseosa de la atmósfera empobrecida en O₂ (1-3%) y enriquecida en CO₂ (3-5%). Evita problemas fisiológicos y reduce la velocidad de las reacciones bioquímicas provocando una disminución en la respiración, por lo que retarda la maduración del fruto. La adquisición de color del chile manzano puede adelantarse y formarse mediante la aplicación localizada de Etefón (producto de la liberación de etileno) almacenadas a temperatura de 20 a 25 °C con una humedad relativa superior al 90% con aire y 100 ppm de etileno (Kader, 2007).</p>
<p>- Encerado</p>	<p>Es la aplicación de una capa fina de cera mediante boquillas pulverizadas, al tiempo que se desplazan sobre una superficie formada por cepillos. Con la aplicación de ceras se reduce la pérdida de agua y al mantener una temperatura óptima de almacenamiento permite el movimiento del aire evitando daños por frío. Se usan distintos tipos de ceras, los cuales pueden ser a base de ceras vegetales (carnauba, candelilla), animales (abeja) y minerales (parafina).</p>

Fuente: Namesny (1999); Pantastico (1979).



1.7.3 Irradiación Gamma

1.7.3.1 Importancia de la irradiación como tratamiento cuarentenario

La irradiación es un método que se utiliza para garantizar la calidad higiénica de diversos alimentos debido a su eficacia en la lucha contra las enfermedades parasitarias. Si bien el sólo uso de la irradiación como técnica de conservación no permitirá solucionar las pérdidas mundiales de alimentos que la FAO estima en 25% del total de la producción mundial, éste proceso puede desempeñar un papel importante en su reducción y en la disminución a la dependencia de plaguicidas químicos; enfatiza el GCIIA en su estudio “La irradiación de alimentos: hechos y realidades”, en dicho estudio también señala que el desarrollo de dicha tecnología dependerá en mucho de la comprensión y aceptación del proceso por parte del público, ya que frecuentemente y de manera general existen malos entendidos y temores en torno a las tecnologías relacionadas con la energía nuclear y el uso de la irradiación; pese a que los resultados de diversas investigaciones sobre la irradiación de alimentos, no han demostrado la existencia de un riesgo para la salud de los consumidores. Frente a dichos malentendidos, el GCIIA asegura que es importante no confundir la irradiación de alimentos con alimentos radiactivos, ya que estos últimos son aquellos que han sido accidentalmente contaminados por sustancias radiactivas procedentes de ensayos de armamentos o accidentes en reactores nucleares. Diversos países han recurrido al empleo de técnicas especiales para conservar la calidad, sanidad e inocuidad de sus productos alimenticios y reducir las enfermedades entre los consumidores, así como grandes pérdidas económicas. Una de éstas es la irradiación de alimentos que sirve para retardar la maduración de frutas y legumbres al producir reacciones bioquímicas en los procesos fisiológicos de los tejidos vegetales. Las enfermedades transmitidas por alimentos representan no sólo una amenaza para la salud humana sino también una causa importante de la disminución en la productividad económica de un país. Estudios realizados por el CDC señalan que en los países altamente desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica, las enfermedades transmitidas por alimentos ocasionan miles de muertes y millones de casos de diarrea al año (Antonio, 2007).

Por su parte la FDA, indica que las pérdidas económicas asociadas a estas enfermedades se estiman entre 5 mil millones y 17 mil millones de dólares por año (Narvaiz, 2000). Por ello



el gobierno e industrias de diversos países han recurrido al empleo de técnicas especiales para conservar la calidad, sanidad e inocuidad de sus productos alimenticios y reducir las enfermedades entre los consumidores así como grandes pérdidas económicas, entre estas técnicas se encuentra la irradiación, donde dicha técnica supone el paso de los alimentos por un campo de radiación a una velocidad determinada para controlar la cantidad de energía o la dosis absorbida por el alimento, ya que el producto no debe entrar en contacto directo con la fuente de radiación.

1.7.3.2 La irradiación a nivel nacional e internacional

En 37 países las autoridades sanitarias y de seguridad (Tabla 8), influenciadas por el establecimiento de una norma mundial para los alimentos irradiados, han aprobado la irradiación de cerca de 40 tipos distintos de alimentos, que abarcan desde especias, granos, carne de pollo deshuesado, mariscos, frutas y legumbres. La irradiación de alimentos ha tenido una evolución que tiene un origen en forma favorable desde el año 1980 emitido por el Comité Mixto FAO/OMS/OIEA de expertos, sobre la comestibilidad de los alimentos irradiados. La Comisión mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius en el año 1983 adoptó en estrecha cooperación con el (OIEA), una Norma General del Codex Alimentarius para alimentos irradiados y un código internacional recomendado de prácticas, para el funcionamiento de instalaciones de irradiación utilizadas para el tratamiento de alimentos (Real decreto 348/2001).

Tabla 8. Países que han aprobado la Irradiación de alimentos

Países que han aprobado la irradiación de alimentos			
Alemania	Costa de Marfil	India	Reino Unido
Argelia	Croacia	Indonesia	República Checa
Argentina	Cuba	Irán	Rusia
Bangladesh	Dinamarca	Israel	Suráfrica
Bélgica	España	Italia	Siria
Brasil	Estados Unidos	Japón	Tailandia
Bulgaria	Filipinas	México	Ucrania
Canadá	Finlandia	Nueva Zelanda	Uruguay
Chile	Francia	Noruega	Vietnam

Fuente: Barbosa (1999).



Dicha norma aprobada en 1983, por la Comisión del Codex Alimentarius, órgano conjunto de la FAO y la OMS, estipula claramente que los alimentos irradiados deben ir acompañados de documentos de embarque en los que se identifiquen el irradiador, la fecha de tratamiento, el lote, la dosis, así como otros detalles del procedimiento. Además existen otros antecedentes vigentes a nivel internacional sobre el comercio Internacional (Acuerdo GATT-Normas TBT y SPS/1994), normas de procedimientos ASTM y otras normas y aprobaciones regionales (Ver anexo A) (García, 1998).

En la actualidad existen aproximadamente 160 instalaciones industriales de irradiación gamma funcionando en todo el mundo. Muchas de las instalaciones de irradiación se dedican al tratamiento de alimentos pero además de otros tipos de productos, entre ellos cosméticos, corchos para botellas de vino, artículos para hospitales y productos médicos, así como algunos tipos de envases para alimentos.

1.7.3.2.1 Comunidad Europea

Las Directivas 1999/2/EC y 1999/3/EC del Parlamento Europeo y del Consejo establecen las condiciones para autorizar la irradiación de alimentos, los aspectos generales y técnicos para llevar a cabo el proceso, así como una lista de productos y su rotulación en los cuales se autoriza la irradiación (SERNAC, 2004).

En el Real Decreto 348/2001 de Abril, por el que regula la elaboración, comercialización e importación de ingredientes y productos alimenticios tratados con radiaciones ionizantes se refiere a lo siguiente:

En el artículo 4 establece las condiciones de utilización de tratamientos de productos alimenticios con radiaciones ionizantes.

1. Para la autorización del tratamiento, los productos deberán hallarse en el momento del tratamiento en condiciones adecuadas de salubridad:
 - Que esté justificada y sea necesaria desde el punto de vista tecnológico.
 - No presente peligro para la salud y se lleve a cabo bajo las condiciones propuestas.



- Sea beneficiosa para el consumidor.
 - No se utilice como sustituto de medidas de higiene y medidas sanitarias, ni de procedimientos de fabricación o agrícola incorrectos.
2. La irradiación de productos alimentarios solo se podrá utilizar para los siguientes fines:
- Reducción de los riesgos de enfermedades causadas por los productos alimenticios mediante la destrucción de los organismos patógenos.
 - Reducción del deterioro de los productos alimenticios, frenando o deteniendo el proceso de descomposición y destruyendo los organismos responsables de dicho proceso.
 - Reducción de la pérdida de productos alimenticios debidos a procesos de maduración prematura, germinación o aparición de brotes.

Por su parte, el Real Decreto 348/2001 de España admite el listado de productos autorizados para ser irradiados dentro de toda la Unión Europea que comprende una sola categoría de alimentos: hierbas aromáticas secas, especias y condimentos vegetales, aunque otros estados miembros de la Comunidad, como Francia, Holanda, Bélgica, Italia o el Reino Unido, tienen autorizado irradiar toda una serie de alimentos o ingredientes alimentarios que van más allá de la categoría aprobada por la Directiva. Francia es el estado miembro con más productos autorizados, entre los que se incluye cebolla, ajo, aves de corral, carne de pollo y camarón congelado. En el Reino Unido se incluyen también pescados y mariscos (SERNAC, 2004).

3. Conforme al apartado 6 del artículo 4 de la Directiva 1999/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, los productos alimenticios que podrán tratarse con radiaciones ionizantes, así como las dosis máximas de radiación autorizadas, son de acuerdo a la lista de alimentos o ingredientes alimentarios que los estados miembros autorizan a tratar (Anexo B).



4. El tratamiento con radiaciones ionizantes no podrá aplicarse en combinación con un procedimiento químico que tenga la misma finalidad.
5. En el envasado y etiquetado donde se menciona en el artículo 6 del Real Decreto 348/2001 establece las condiciones de envasado y etiquetado.
 - El material que se utilice para envasar los productos alimenticios que vayan a ser irradiados, deberán ser apropiados para dicho fin.
 - Cuando los productos se vendan en envases individuales, deberá figurar en el etiquetado la mención “Irradiado” o “Tratado con radiación ionizante”.
 - En caso de productos que se vendan a granel, la mención figurará junto con la denominación del producto en un cartel colocado encima o al lado del recipiente que los contenga.
6. En el artículo 7 del Real Decreto 348/2001 establece las condiciones de seguimiento y control.
 - Las autoridades sanitarias competentes de las comunidades autónomas elaborarán y ejecutaran planes anuales de vigilancia y control de los productos irradiados.
 - Inspección en las instalaciones de irradiación en el que se controlarán las categorías de la instalación, cantidades de producto tratado y las dosis administradas.
7. En el artículo 8 del Real Decreto 348/2001 establece las condiciones de productos procedentes de países terceros.

Los productos alimenticios tratados con radiaciones ionizantes únicamente podrán importarse desde países terceros si:

- a) Cumplen los requisitos aplicables a dichos productos.
- b) Han sido tratados en una instalación de irradiación autorizada por la Comunidad Europea y figuran en la lista que a estos efectos se publicará en el “Diario Oficial de las Comunidades Europeas”.



En la revista española *Consumer Seguridad* en el año 1999 se señala que: “En España no hay ninguna planta industrial específica que irradie alimentos, pero está permitida la comercialización de los que llegan de otros países como son pescado procedente de Japón, marisco congelado de Chile, Francia o Sudáfrica, patatas de Holanda, cereales procedentes de Chequia o Francia, cacao de Brasil, frutas exóticas, especias y carnes de alto precio como salchichas de cerdo fermentadas y vacuno provenientes de Holanda o Francia” (Consumer Eroski, 1999).

No obstante, tal como se señala en la publicación española: “Los alimentos irradiados no logran despegar en Europa” (Pujol, 2003), posición que según esta misma publicación, más que a una evidencia científica parece responder a una cuestión de confianza, tanto de los consumidores como de las empresas alimentarias, reacias al uso de una tecnología que, en su opinión, podría influir negativamente en el comportamiento de compra.

1.7.3.2.2 Estados Unidos de Norteamérica

En los Estados Unidos, las reglamentaciones sobre alimentos permiten el uso de la irradiación en el trigo y la harina de trigo, en las papas, en 38 especias, condimentos y en frutas frescas. La irradiación también tiene otros usos regulados por la FDA que no están relacionados con los alimentos: se le utiliza en la esterilización de productos médicos (como por ejemplo, guantes quirúrgicos, vendas y gasas), en la destrucción de bacterias en los cosméticos, en la fabricación de revestimientos antiadherentes para utensilios de cocina, y también para hacer que los neumáticos duren más.

La FDA en julio de 1985 emitió normas para permitir la irradiación de carne de cerdo para el control de la triquina. En mayo de 1990 declaró a la irradiación como un método seguro para ser usado y en Diciembre de 1997, después de una larga investigación por parte de la FDA aprobó el uso de este tratamiento en carnes porcinas, ovinas, vacunas y de aves (SERNAC, 2004). La medida fue adoptada para prolongar la vida comercial de las carnes y para controlar tres microorganismos patógenos (*Escherichia coli* O157: H7, *Clostridium perfringens* y *Salmonella* sp.) que han traído un reto a las autoridades sanitarias norteamericanas. La aprobación reafirma que la irradiación de alimentos en niveles inocuos



es segura para los consumidores y no pone en peligro la calidad nutricional y organoléptica de los productos (García, 1998).

1.7.3.2.3 Irradiación gamma en el territorio Mexicano

En México, se cuenta con cuatro instancias que se dedican a la irradiación comercial: la planta del ININ, dos compañías privadas y el Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México (Antonio, 2007). Cuenta con tres instalaciones de irradiación alimentaria y ha aprobado el proceso en 64 categorías de alimentos. Se construyó en 1988 la primer planta de irradiación para el tratamiento de especias, alimentos secos, frutas, hortalizas y productos médicos (Public Citizen, Protecting Health, Safety & Democracy, 2010).

La norma oficial mexicana NOM-033-SSA1-1993 establecía las dosis de aplicación permitidas en el proceso de irradiación de alimentos, materias primas y aditivos, señalaba que en el etiquetado debía aparecer el símbolo internacional de irradiación de alimentos, pero ésta fue cancelada.

La Secretaría de Agricultura impulsa el primer proyecto científico mexicano que utiliza energía nuclear para garantizar la sanidad e inocuidad de vegetales y frutas tanto para el mercado interno como el de exportación y que permitirá eliminar entre el 35 y 40% de las mermas que se presentan con el sistema de puntos de revisión tradicional, que implicaba apertura de empaques y cajas de los productos y que representan pérdidas por 2 mil millones de pesos al año. La irradiación de productos de exportación podrá realizarse en México con un costo de 1 a 2.5 pesos por kilogramo de producto, lo que impulsará las ventas externas, además de que permitirá que frutas como el mango, que se echan a perder rápido duren en el anaquel de 60 a 70 días, además de que en el exterior pagan de 3 a 4 dólares el kilogramo, lo que redundará en mayores márgenes de utilidad al productor y representará una derrama económica para el país y toda la cadena productiva (Arzate, 2009).

La empresa Phytosan conocida como Benobión está terminando la construcción de una nueva planta de irradiación gamma en la ciudad de Matehuala, San Luis Potosí para procesar fruta fresca con fines de control fitosanitario. Esa fue la razón para el traslado del



punto de revisión de mercancía de exportación a Kerobabi, que es la instalación más moderna de rayos gamma que revisan las cajas sin abrirlas, como si fuera un sistema de rayos X, que ni Estados Unidos ni Canadá tienen (Arzate, 2009).

La operación de la planta de irradiación gamma del ININ, favorece la sanidad de alimentos procesados, ya que a través de la aplicación de esta tecnología se disminuye el contenido microbiano, además de colaborar directa e indirectamente en el desarrollo de buenas prácticas en el sector salud, en el envasado de medicamentos, en la fabricación de artículos de aseo personal, cosméticos, así como en operaciones quirúrgicas. De hecho, la primera planta de irradiación gamma con capital privado se ubica en Tepeji del Río, Hidalgo, e inició operaciones en 2002 para procesar productos frescos y deshidratados, que actualmente pertenece a Sterigenics Internacional Inc. de Estados Unidos de Norteamérica, subsidiaria de (IBA) en Bélgica (Arzate, 2009).

1.7.3.3 Marco normativo

La irradiación de alimentos ha sido aprobada y respaldada por organismos internacionales encargados de velar por la salud de la población, tales como la FAO/OMS, SCF y la FDA, Codex Alimentarius, OMC, OIEA y otras múltiples entidades de vigilancia internacional (SERNAC, 2004). Las legislaciones nacionales de los países que aceptan la irradiación de alimentos incluyen los detalles a ser consignados en el rótulo de los envases de los productos tratados. Todas ellas coinciden en el empleo del logotipo (símbolo Radura) internacionalmente reconocido como indicador del tratamiento (Figura 7).



Figura 7 . Logotipo internacional de los productos alimenticios tratados por irradiación
Fuente: Codex Alimentarius (1985).



1.7.3.3.1 *Codex Alimentarius*

La normativa internacional que guarda relación con estos productos es la *Norma General del Codex para Alimentos Irradiados* (Norma Mundial) *Codex Stan 106-1983*, que establece en su párrafo 2.2 de requisitos de dosis absorbida (Codex Alimentarius, 1983):

“La dosis media global absorbida por un alimento sometido a un proceso de irradiación no debería exceder de 10 000 Gy”.

En su párrafo 4.1, relativo a requisitos tecnológicos, señala:

“La irradiación de alimentos sólo se justifica cuando responde a una necesidad tecnológica o cuando contribuye a alcanzar un objetivo de higiene alimentaria y no debería utilizarse en sustitución de prácticas de fabricación adecuadas”.

En cuanto al etiquetado, el párrafo 6.2 de la norma, señala:

“El etiquetado de los alimentos irradiados se ajustará a lo dispuesto en la Norma General del Codex para el Etiquetado de los Alimentos Pre envasados” (CODEX STAN 106-1983).

Los alimentos irradiados y aquellos que contengan componentes irradiados en una proporción que exceda el 10% del peso total y se expendan envasados deben rotularse con una leyenda que indique “Alimentos tratado con energía ionizante” o “Contiene componentes tratados con energía ionizante” respectivamente, con caracteres de tamaño no menor del 30% de los que indican la denominación del producto.

Debe utilizarse además el logotipo recomendado por el Comité de Etiquetado de Alimentos del Codex Alimentarius, e indicarse la Instalación industrial donde ha sido procesado el alimento, la fecha de tratamiento y la identificación del lote.

Este logotipo presentado en la Figura 7, que aparece impreso en verde en el etiquetado de los productos, permite reconocer que son alimentos tratados por irradiación (CODEX STAN 106-1983).



1.7.3.4 Condiciones nutritivas de los alimentos, luego de ser irradiados

Cualquier método de procesamiento de alimentos, aún mantenerlos a temperatura ambiente por unas horas después de la cosecha o durante el almacenamiento, pueden reducir el contenido de nutrientes, como es el caso de las vitaminas.

El proceso de irradiación aumenta pocos grados la temperatura del alimento, por esto, las pérdidas de nutrientes son muy pequeñas y en la mayoría de los casos, son menores a las que se producen por otros métodos de conservación como el enlatado, desecado y pasteurización o esterilización por calor.

Los nutrientes más sensibles a la irradiación, corresponden también con los más sensibles a los tratamientos térmicos, el ácido ascórbico, la vitamina B1 y la E. Estas pérdidas, al igual que la de ácidos grasos esenciales, pueden minimizarse si se trabaja en un ambiente libre de oxígeno o si se irradia en estado congelado. Con respecto a los macronutrientes, no se producen alteraciones significativas (Narvaiz, 2000).

1.7.3.5 Propiedades organolépticas

Utilizando la dosis de acuerdo al fruto a irradiar, las propiedades organolépticas de éste pueden mantenerse en gran medida; sin embargo, al aplicar dosis elevadas de irradiación, se produce en el alimento modificaciones del sabor, color y textura que pueden hacer al alimento inaceptable para el consumo. En general las alteraciones organolépticas producidas por irradiación se presentan a dosis menores que las necesarias para producir alteraciones nutricionales. Estas alteraciones pueden minimizarse irradiando el alimento envasado al vacío o en atmósferas modificadas, en estado congelado o en presencia de antioxidantes (Narvaiz, 2000).

Una de las alteraciones organolépticas más características es la aparición de un olor y/o sabor típico a irradiación. Esto es debido principalmente al efecto de los radicales libres sobre los lípidos y las proteínas. Este aroma es más pronunciado inmediatamente después de la irradiación y decrece e incluso desaparece durante el almacenamiento o después de cocinar el producto. El color del producto también puede verse afectado (oscurecimiento en



las carnes), en frutas y hortalizas se produce un considerable ablandamiento. Esta modificación no se presenta de inmediato, sino al cabo de varias horas e incluso días después de recibir la irradiación (Narvaiz, 2000).

1.7.3.6 Cambios químicos en los alimentos por la irradiación

La energía ionizante produce en muy pequeñas cantidades, sustancias llamadas “productos radiolíticos”, que han resultado ser tan comunes como el ácido fórmico, el acetaldehído y el dióxido de carbono, los cuales se forman también en los tratamientos térmicos, incluso en uno tan simple como es el de cocinar los alimentos. No se ha encontrado ninguna prueba de la nocividad de los productos radiolíticos, además que estos se generan en concentraciones de 3 ppm en 1 kg de producto irradiado (SERNAC, 2004).

Esta energía emitida produce ionizaciones, rupturas y pérdidas de la “estabilidad” de los átomos y/o moléculas del alimento con el que interaccionan, a este proceso de le suele denominar “efecto primario”. Como consecuencia de dicho efecto de –desestabilización– aparecen iones y radicales libres que se combinan entre sí o con otras moléculas para formar sustancias ajenas a la composición inicial del producto, por lo que a esto se le denomina “efecto secundario”, que se prolonga en el alimento, con formación y desaparición de compuestos hasta lograr la formación de compuestos químicamente estables. Estos fenómenos –efecto primario y secundario– se denominan, radiólisis, y los nuevos compuestos originados son denominados productos radiolíticos, los cuáles se producen en cantidades muy pequeñas.

Cabe mencionar que el efecto sobre los alimentos es mayor cuanto mayor es su tamaño. Los ácidos nucleicos (material genético) son las moléculas más complejas de las células, por tanto la posibilidad de que sufran daños directos, con un marcado carácter oxidante o reductor y elevada capacidad de reacción. La repercusión de estos radicales es tan importante que se considera que el efecto secundario es más intenso cuanto mayor es el contenido acuoso (Narvaiz, 2000).



1.7.3.7 Efectos de irradiación sobre la salud

Organizaciones ecologistas y grupos de científicos argumentan que la irradiación deteriora la estructura y composición química natural de muchos alimentos, promoviendo un incremento notable de radicales libres (compuestos químicos vinculados al envejecimiento y a distintas formas de cáncer) (Pujol, 2003).

La versión publicada en Marzo del 2004 en la revista *Consumer seguridad*, informa que estudios recientes demuestran que el uso de rayos ultravioleta como método puede provocar tumores en animales de laboratorio a muy bajas dosis, provocados por dos compuestos químicos llamados 2-alkilciclobutanonas (2-ACB), a partir de los triglicéridos (materias grasas) de los alimentos. Se debe recordar que la irradiación de alimentos se realiza con rayos gamma o con haces electrónicos y como la misma publicación señala: “En principio, no hay una razón para pensar que la dosis establecida por la OMS (10 000 Gy) sea insegura” (Pujol, 2003).

1.7.3.8 Ventajas y desventajas de la Irradiación gamma

Ventajas

La irradiación de los alimentos es una tecnología segura y efectiva, que se usa para destruir a los agentes patógenos dañinos que suelen estar presentes en los alimentos. Es un método físico comparable con otros medios de conservación, como la refrigeración o el tratamiento con calor, con la ventaja de que no provoca cambios significativos en los productos tratados.

Entre sus ventajas se destaca la condición de proceso “frío”, que permite el tratamiento de productos frescos en los que no es posible aplicar métodos térmicos y el evitar el uso de sustancias químicas, que pueden tener efectos tóxicos para el hombre y para el medio ambiente (SERNAC, 2004).

El tratamiento puede ser aplicado a los alimentos en su forma comercial, a granel o envasados, con diferentes propósitos tales como (SERNAC, 2004):

- a) Prevención de la germinación y brote de papas, cebollas y ajos.



- b) Eliminación de insectos que infestan granos, fruta seca o vegetales.
- c) Retardar la maduración y el envejecimiento de frutas y vegetales.
- d) Prolongación de la vida útil y prevención de las enfermedades producidas por alimentos, al reducir el número de microorganismos viables en carne, pollo y pescados.
- e) Reducción de microorganismos en especias y hierbas.

A estas posibilidades debe agregarse la de tratar los productos dentro de sus envases lo que garantiza mayor seguridad e inocuidad (García, 1998). Ciertamente, el más importante beneficio es la mayor calidad desde el punto de vista microbiológico que ofrecen estos alimentos, ya que el proceso destruye patógenos problemáticos desde el punto de vista de la salud pública, entre los que podemos mencionar: *Salmonella*, *E.coli O157:H7*, *Campylobacter*, *Listeria monocitogenes*, *Trichinella spiralis*, etc. (Narvaiz, 2000).

Desventajas

Curiosamente, la mayor parte del sector de los productores y los comerciantes están en contra de la inclusión de sus productos en la lista positiva, principalmente porque esperan reacciones negativas de los consumidores. También se ha observado que el uso de hierbas y especias irradiadas por parte de la industria alimentaria está disminuyendo debido a las estrictas normas de etiquetado que establece la legislación de la UE y el mayor control del correcto etiquetado por parte de las autoridades de los Estados Miembros (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2001).

En el Anexo C se encuentra información más detallada acerca de normatividad, fuentes de irradiación y consideraciones más específicas de la Irradiación de Alimentos.

1.7.3.9 Plan de trabajo para exportación de chile manzano (*Capsicum pubescens*) con destino a Estados Unidos de Norteamérica

Este PTO fue desarrollado conjuntamente por USDA, APHIS- IS y DGSV (Ver Anexo C).



MATERIALES Y MÉTODOS



2. Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de un tratamiento postcosecha e irradiación gamma en los parámetros de calidad, contenido de carotenos, vitamina C y pungencia del chile manzano (*Capsicum pubescens*) almacenado a 8°C que permita alargar la vida útil y cumplir con los requisitos fitosanitarios para su exportación a Estados Unidos de Norteamérica.

Objetivos Particulares

1.- Determinar los parámetros de calidad, químicos, nutricionales y fisiológicos del chile manzano fresco en dos estadios de madurez (verde y amarillo).

2.- Evaluar un tratamiento postcosecha (ceras y fungicida) que permita alargar la vida útil del chile manzano en dos estadios de madurez sobre los parámetros de calidad, fisiológicos y nutricionales.

3.- Evaluar el efecto de la irradiación gamma (150, 500 y 1000 Gy) sobre los parámetros de calidad, fisiológicos y nutricionales del chile manzano en dos estadios de madurez que permita alargar su vida útil.

4.- Evaluar la pungencia de una salsa preparada a base de chile manzano irradiado en dos estadios de madurez mediante una evaluación sensorial durante su tiempo de vida útil.



3. Materiales y Métodos

3.1 Cuadro metodológico

En la Figura 8 se muestra la metodología que se llevó a cabo para realizar la experimentación del presente trabajo.

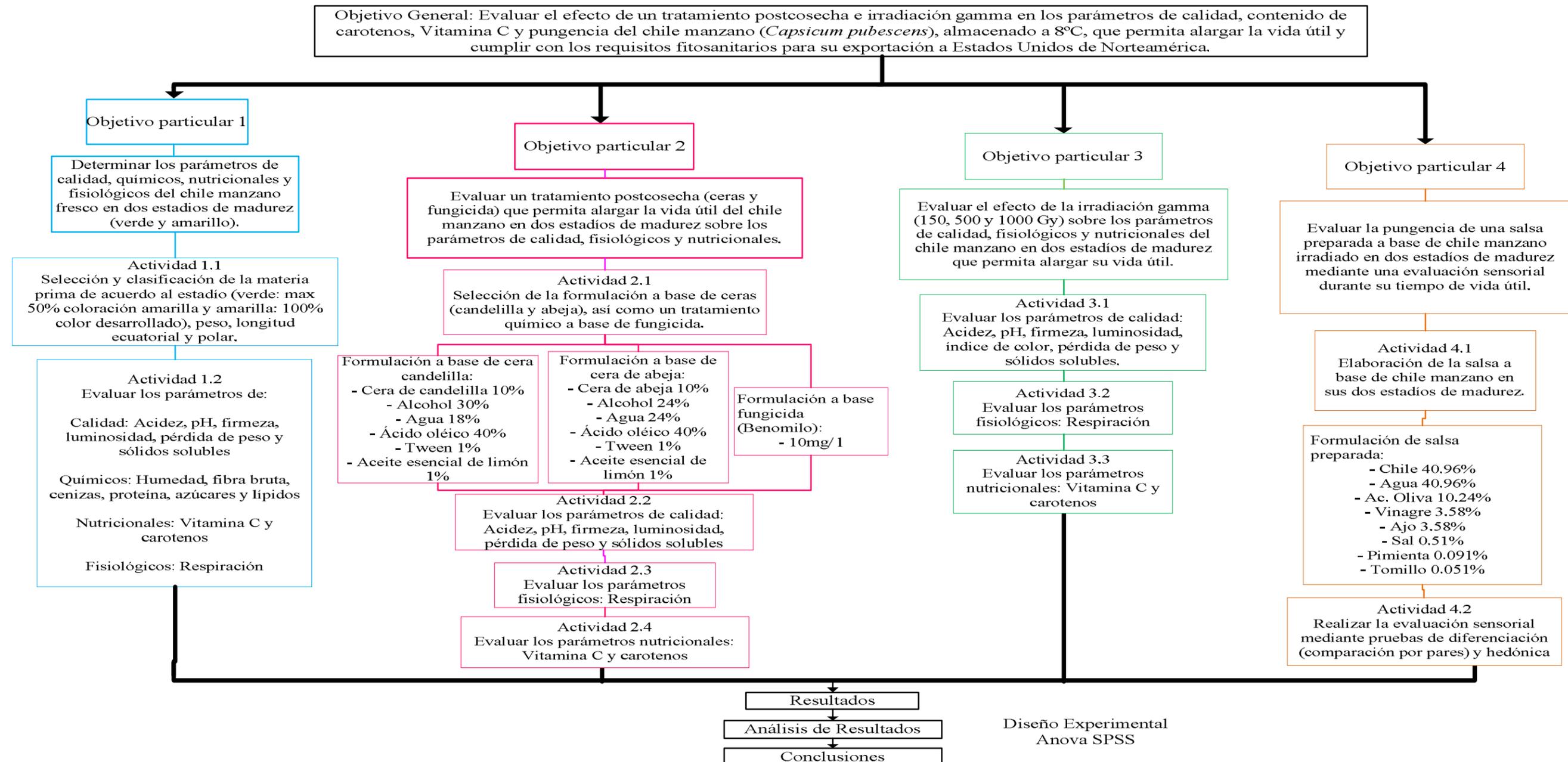


Figura 8. Cuadro metodológico



3.2 Material biológico

Los chiles manzanos estadio verde y amarillo procedentes de Michoacán fueron adquiridos de la Central de Abastos de la Ciudad de México, se llevaron al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM, donde se acondicionaron a una temperatura de 8°C para su posterior tratamiento.

3.3 Selección y acondicionamiento de la materia prima

Los chiles manzanos se clasificaron de acuerdo al estadio de madurez objeto de estudio (verde: máxima 50% de coloración y amarillo: color 100% desarrollado) y se seleccionaron cuidadosamente de acuerdo a la NMX-FF-025-SCFI-2007, donde se establecen las condiciones, características y especificaciones de calidad que deben cumplir los chiles enteros en estado fresco que se comercializan en territorio nacional, se aceptaron los de apariencia firme, exentos de defectos microbiológicos, mecánicos, meteorológicos y genéticos, a pesar de que algunos presentaron rayaduras leves fueron consideradas como un defecto menor, las cuales no afectaron la aceptación comercial, por lo tanto este defecto se caracterizó como defecto biológico.

Los chiles seleccionados fueron lavados, pesados y se midieron la longitud ecuatorial y la polar. La materia prima se mantuvo en un almacenamiento a baja temperatura (8°C), ya que por lo general, la maduración de las frutas, tal como se realiza sobre la planta o después de la cosecha, conduce a un equilibrio óptimo de sus caracteres organolépticos (Cheftel, *et al.*, 2000).

3.4 Evaluación de los parámetros de calidad, químicos, fisiológicos.

Para evaluar los parámetros de calidad, químicos y fisiológicos se utilizaron chiles manzanos previamente seleccionados y se procedió al análisis de éstos considerando tres réplicas por cada estadio de madurez. Dichos parámetros fueron evaluados según las técnicas descritas en el apartado 3.8.



3.5 Aplicación de un recubrimiento a partir de ceras (candelilla y abeja) y un tratamiento químico a base de fungicida para alargar la vida útil del chile manzano

3.5.1 Tratamiento de las muestras

Los chiles manzanos en dos estadios de madurez (verde y amarillo) fueron separados por lotes de 33 chiles de acuerdo al tratamiento a aplicar (cera de candelilla, cera de abeja y fungicida), manteniéndose un lote como control, teniendo un total de 84 chiles para pruebas destructivas y 48 chiles para las pruebas no destructivas en cada estadio.

Los lotes fueron almacenados a una temperatura de 8 °C y se realizaron las siguientes pruebas destructivas: Acidez, pH, firmeza, sólidos solubles, vitamina C y carotenos cuyas técnicas se describen en los apartados 3.8.1 y 3.8.3. Los días de muestreo fueron los siguientes: 0, 4, 8, 12, 16, 20 y 24 realizándose 3 repeticiones con 3 réplicas para cada ensayo; mientras que para las pruebas no destructivas (luminosidad, pérdida de peso y respiración) se realizaron 12 repeticiones evaluando éstas diariamente durante 20 días, cuyas técnicas se describe en los apartados 3.8.1 y 3.8.2. Estos tratamientos se aplicaron conforme al diseño experimental que se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Diseño experimental de chile manzano.

Tratamiento	Almacenamiento 8°C			
	Verde- Amarillo		Amarillo	
	Destructivas	No destructivas	Destructivas	No destructivas
Testigo	21	12	21	12
Cera de candelilla	21	12	21	12
Cera de abeja	21	12	21	12
Fungicida	21	12	21	12
No. de chiles	84	48	84	48
Total No. chiles	132		132	

3.5.2 Formulación de recubrimiento comestible a partir de cera de candelilla y cera de abeja.

Las formulaciones de cera de candelilla y abeja fueron obtenidas de un estudio realizado previamente en aguacates “Hass” para el control de antracnosis (Estrella, 2012).



La formulación para recubrimiento de cera de candelilla utilizada se muestra en la Tabla 10 y se aplicó previamente preparada.

Tabla 10. Formulación de recubrimiento a base de cera de candelilla.

Componentes	%
Ácido oleico	40
Alcohol	30
Agua	18
Candelilla	10
Tween	1
Aceite esencial de limón	1

Fuente: Estrella (2012).

La formulación para recubrimiento de cera de abeja utilizada se muestra en la Tabla 11 y se aplicó previamente preparada.

Tabla 11. Formulación de recubrimiento a base de cera de abeja.

Componentes	%
Ácido oleico	40
Alcohol	24
Agua	24
Cera de abeja	10
Tween	1
Aceite esencial de limón	1

Fuente: Estrella (2012).

3.5.3. Aplicación de tratamientos químicos y ceras

Los tratamientos químicos y aplicación de ceras se llevaron a cabo de acuerdo al Diagrama 1.

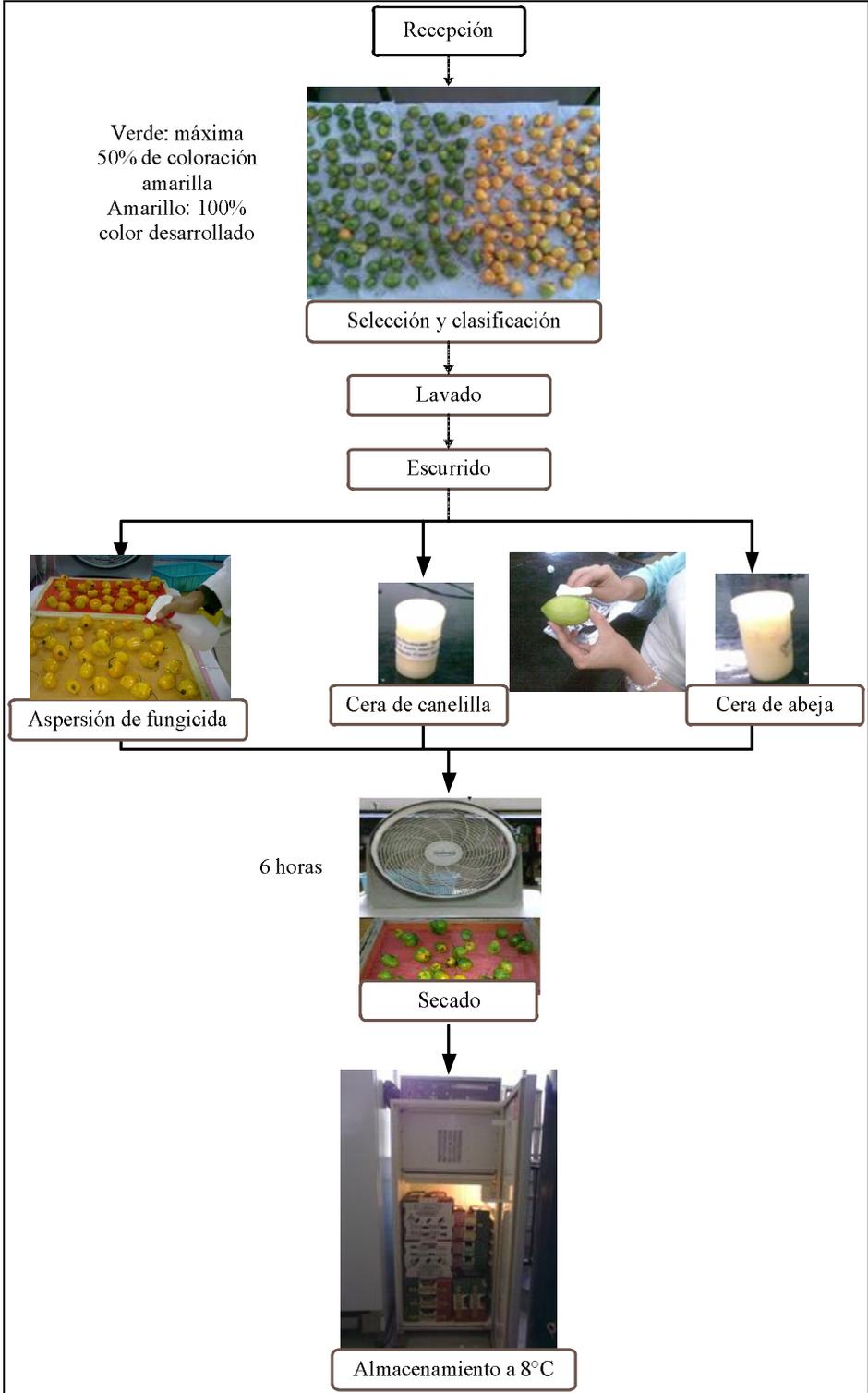


Diagrama 1. Proceso de aplicación de ceras y fungicida.



3.5.4. Descripción del diagrama de proceso

a) *Lavado y escurrido.* Los chiles manzanos se seleccionaron, clasificaron y lavaron con agua para eliminar cualquier tipo de materia extraña como piedras, tierra, ramas, entre otros, que pudiera contener el fruto. Los chiles se colocaron en redes para que el agua sobrante escurriera y se secaron con una corriente de aire por medio de un ventilador convencional por dos horas aproximadamente.

b) *Aspersión y secado con fungicida.* Se realizó una solución de fungicida marca Promyl (Fungicida agrícola/Polvo humectable. Ingrediente activo: Benomilo y benzimidazol-211 carbamato) a una concentración recomendada por el productor de 10 mg/l, la cual fue hecha en una parrilla con agitación a temperatura ambiente (23°C). Posteriormente los chiles manzanos fueron asperjados con dicha solución colocados sobre redes para una mejor aplicación. Posteriormente fueron secados aproximadamente dos horas con una corriente de aire proporcionado por un ventilador para quitar el exceso de los frutos.

c) *Aplicación de ceras.* Posteriormente al secado de los chiles manzanos se procedió a la aplicación de las ceras a base de candelilla y de abeja, éstas se aplicaron cuidadosamente a cada una de las muestras por método manual esparciendo el recubrimiento por toda la superficie de la muestra, a una temperatura ambiente de 23°C, en estado sólido, sin especificación en cuanto al espesor de la capa. Se dejaron secar con una corriente de aire por medio de un ventilador por un lapso de seis horas aproximadamente.

d) *Almacenamiento de las muestras.* Las muestras tratadas con recubrimientos comestibles y tratamiento químico, se sometieron a un almacenamiento a 8°C en mallas de polietileno que contenían 3 chiles en cada una, estas mallas se colocaron en cajas de cartón con dimensiones de 11 x 31 x 28 cm correspondientes a cada tratamiento, simulando condiciones de comercialización.



3.6 Aplicación de un tratamiento por irradiación gamma como requisito fitosanitario del chile manzano

3.6.1 Tratamiento postcosecha

El tratamiento de irradiación a distintas dosis, se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. La razón de dosis absorbida y los tiempos de exposición para los tratamientos fueron de 20, 40 y 60 minutos para dosis de 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente. Los tratamientos se realizaron sobre los chiles manzanos, los cuales fueron empacados en cajas de cartón con dimensiones de 11 x 31 x 28 cm.

3.6.2 Tratamiento de las muestras

Los chiles manzanos en sus dos estadíos fueron sometidos a tratamiento tecnológico de irradiación gamma a distintas dosis, para establecer la dosis que preserve de manera óptima la calidad y alargue la vida útil del producto.

Las muestras en los dos estadíos fueron separadas por lotes de 20 chiles de acuerdo a las dosis establecidas (150, 500 y 1000 Gy) y manteniendo un lote como control para cada uno de los casos, teniendo un total de 80 chiles para las pruebas destructivas y 72 chiles para las no destructivas en cada estadío.

Los lotes fueron almacenados a una temperatura de 8°C y se realizaron las siguientes pruebas destructivas: Acidez, pH, firmeza, sólidos solubles, vitamina C y carotenos, cuyas técnicas se describen en los apartados 3.8.1 y 3.8.3. Los días de muestreo fueron los siguientes: 0, 5, 10, 15 y 20, realizando de cada determinación un triplicado de cada una; mientras que para las pruebas no destructivas: Luminosidad, índice de color, pérdida de peso y respiración se realizaron 9 repeticiones, cuyas técnicas están descritas en los apartados 3.8.1 y 3.8.2.

Estos tratamientos se aplicaron conforme al diseño experimental que se presenta en la Tabla 12.



Tabla 12. Diseño experimental de chile manzano

Tratamiento	Almacenamiento 8°C	
	M1: Verde-amarillo y M2: Amarillo	
	Destructivas	No destructivas
Testigo	20	18
Dosis Baja (150 Gy)	20	18
Dosis Media (500 Gy)	20	18
Dosis Alta (1000 Gy)	20	18
No. de chiles	80	72
Total No. chiles	152	

3.6.3 Descripción del diagrama de proceso

El proceso de acondicionamiento para el tratamiento por irradiación de chiles manzanos se muestra en el Diagrama 2.

a) Lavado y escurrido. Los chiles manzanos fueron seleccionados, clasificados y lavados con agua para eliminar cualquier tipo de materia extraña como piedras, tierra, ramas, entre otros, que pudiera contener el fruto. Los chiles se colocaron en redes para que el agua sobrante escurriera y se secaron con una corriente de aire por medio de un ventilador convencional por un lapso de tiempo de 2 horas aproximadamente. Los lotes fueron separados de acuerdo al tratamiento a aplicar (control e irradiación a 150, 500 y 1000 Gy).

b) Tratamiento con irradiación. Los lotes establecidos para cada dosis de irradiación fueron transportados al Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM en vehículo terrestre a temperatura ambiente 25°C donde fueron irradiados a una razón de dosis y tiempo de permanencia de 20, 40 y 60 minutos para las dosis de 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente.

c) Almacenamiento de las muestras. Las muestras tratadas con irradiación gamma se sometieron a un almacenamiento a 8°C en mallas de polietileno que contenían tres chiles en cada una, estas mallas se colocaron en cajas de cartón con dimensiones de 11 x 31 x 28 cm correspondientes a cada tratamiento.

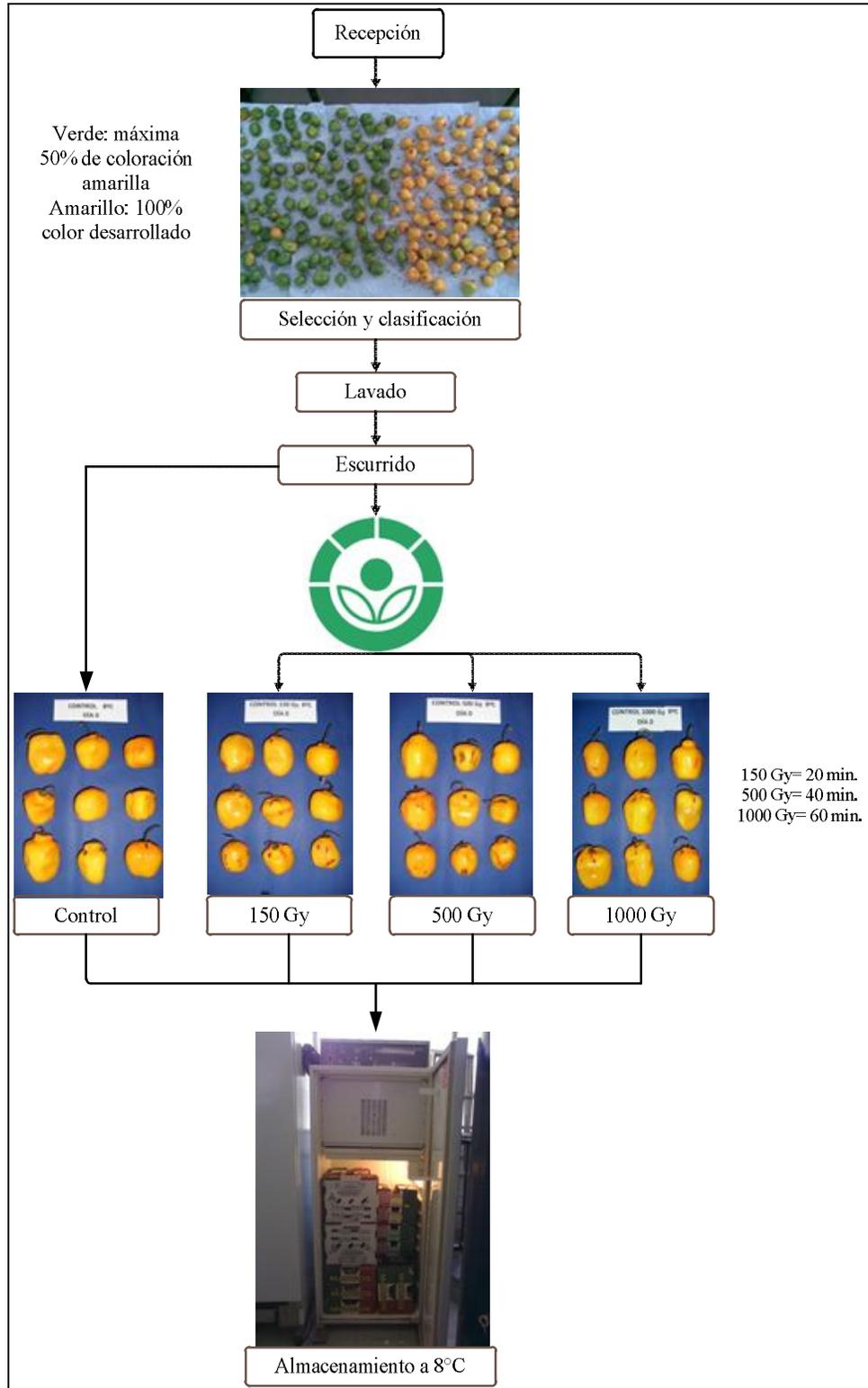


Diagrama 2. Proceso de irradiación de chile manzano.



3.7 Evaluación de la pungencia mediante un análisis sensorial de una salsa preparada a base de chile manzano irradiado

3.7.1 Tratamiento de las muestras

Para la determinación del efecto en la pungencia de los chiles manzanos sometidos a un tratamiento de irradiación a las distintas dosis (150, 500 y 1000 Gy) y a un almacenamiento de 8°C durante 20 días, se seleccionaron lotes de 4 chiles para cada estadio y distintas dosis, incluido un lote control, los cuales fueron cortados y picados para su posterior proceso de la elaboración de una salsa, con la cual se realizó una evaluación sensorial al inicio del experimento y a los 20 días de almacenamiento mediante pruebas de diferenciación de comparación por pares, la cual determina si existe diferencia o no en cuanto al picor de la salsa preparada, así como una prueba hedónica donde se incluyeron atributos de apariencia, color, aroma, consistencia, sabor y picor, así como su preferencia. Las salsas fueron almacenadas a baja temperatura para su conservación (4°C) antes de ser evaluadas.

3.7.2 Elaboración de la salsa. La salsa a base de chile manzano en sus dos estadios de madurez y sus distintas dosis de irradiación gamma (150, 500 y 1000 Gy) al día cero y al final de la experimentación (día 20) se realizó con base al procedimiento presentado en el Diagrama 3, la cual fue elaborada con la formulación presentada en la Tabla 13.

Tabla 13. Formulación para la elaboración de salsa a base de chile manzano en sus dos estadios.

Ingrediente	%
Chile manzano	40.96
Agua	40.96
Aceite de oliva	10.24
Vinagre	3.58
Ajo	3.58
Sal	0.51
Pimienta	0.091
Tomillo	0.051

Fuente: Meza (2010)

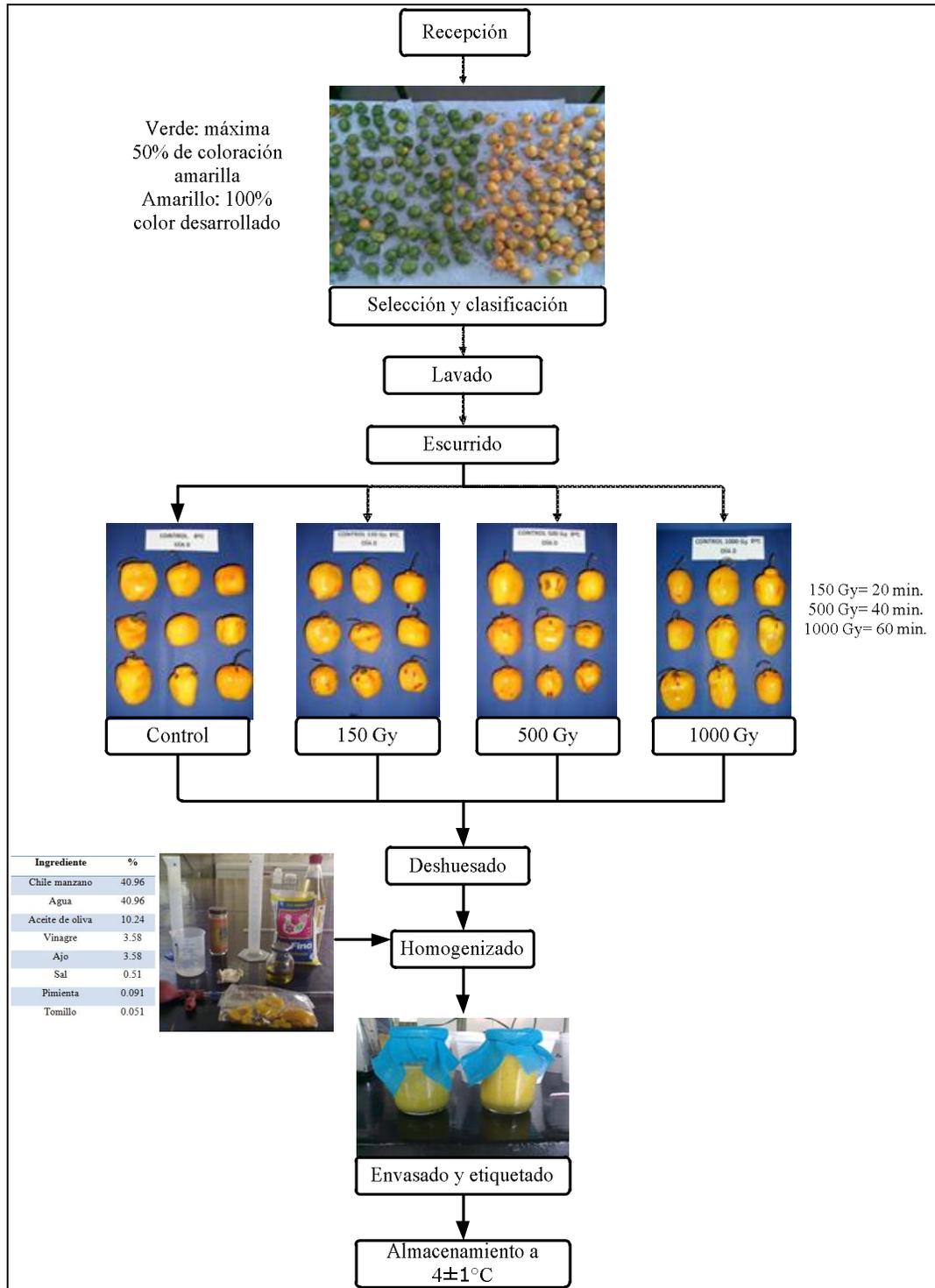


Diagrama 3. Proceso para la elaboración de salsa de chile manzano.



3.7.3 Descripción del diagrama de proceso

a) *Lavado y escurrido.* Los chiles manzanos se lavaron con agua para eliminar cualquier tipo de materia extraña como piedras, tierra, ramas, entre otros, que pudiera contener el fruto y se colocaron en redes para que el agua sobrante escurriera y se secaron con una corriente de aire por medio de un ventilador convencional por un lapso de tiempo de 2 horas aproximadamente.

b) *Eliminación de semillas.* Se eliminaron las semillas de cada uno de los chiles utilizados para la elaboración de la salsa de manera manual.

c) *Homogenizado.* Los chiles manzanos con los otros ingredientes se homogenizaron con ayuda de una licuadora casera.

d) *Envasado y etiquetado.* La salsa preparada se dosificó en envases de vidrio con capacidad de 300 ml, se cerró y se etiquetó de acuerdo a la dosis correspondiente de irradiación, así como la fecha de elaboración.

e) *Almacenamiento.* Las salsas se almacenaron a una temperatura de refrigeración de 4°C, para su preservación, y posterior evaluación organoléptica.

f) *Evaluación sensorial.* La evaluación sensorial se llevó a cabo en el Laboratorio de Postcosecha de productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, UNAM, donde el análisis sensorial se encaminó a la obtención de respuestas concretas relacionadas con la percepción de la calidad del producto. Las pruebas se realizaron a un grupo de 24 panelistas semi entrenados con el fin de simular al consumidor de este tipo de producto (Figura 11). El procedimiento del análisis sensorial se llevó a cabo según el Anexo D.



-Comparación por pares.

En esta prueba se determinó si existía diferencia perceptible por los panelistas, las muestras se presentaron en una serie de pares, cuidando que sólo se distingan entre sí por la variable en estudio. El procedimiento de comparación se efectuó dentro de cada par considerando un parámetro en especial, el cual fue la pungencia. Esta prueba se ejecutó requiriendo que el juez determinara si existía diferencia entre pares elaborados con un control y una muestra tratada con irradiación, esto con cada uno de los estadios, por lo que los tipos de muestras siempre fueron diferentes entre sí y por lo tanto demandaron una respuesta con decisión forzada para no obtener resultados empates (Pedrero y Pangborn, 1989).



Figura 11. Panelistas evaluando salsa de chile manzano.

-Clasificación hedónica

En esta prueba se le solicitó al juez sobre el grado de satisfacción de cada una de las muestras, seleccionando una categoría en una escala hedónica o de satisfacción, que osciló desde “muy desagradable” a “muy agradable” (Carpenter *et al.*, 2002).

3.8 Técnicas analíticas

3.8.1 Parámetros de calidad

Acidez. Se realizó mediante una titulación (Figura 12), la cual se fundamenta en la reacción entre un ácido y una base, donde el punto de equilibrio se puede observar con un indicador,



el cual fue la fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$), que vira de incoloro a rosa al llegar a un pH de 8.3 a 10 a una concentración de 0.1N de NaOH como agente titulante y el agente titulado fueron las muestras filtradas de chile (Pearson, 1998). Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje de contenido de ácido málico (DeWitt *et al.*, 2000).



Figura 12. Valoraciones de acidez de chile manzano.

Luminosidad e índice de color. El análisis de luminosidad se realizó con el Colorímetro Minolta CR-300 como se muestra en la Figura 13. La evaluación de color se tomó en la misma zona de cada chile manzano para mantener homogeneidad en los resultados, registrando los datos en L, a y b. El índice de color se calculó a partir de la fórmula:

$$\Delta E: \left((L_f - L_o)^2 + (a_f - b_o)^2 + (b_f - b_o)^2 \right)^{1/2}$$

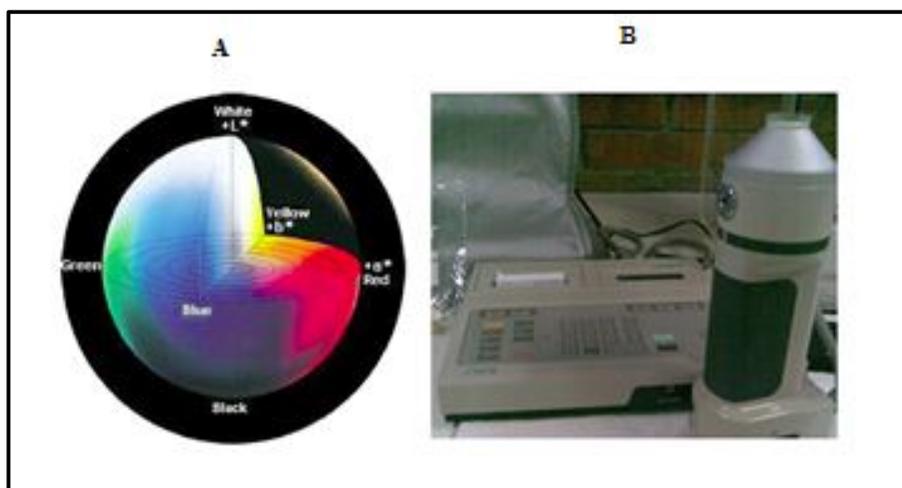


Figura 13. A) Diagrama de cromaticidad (L, a y b) (Konica Minolta, 2003), B) Colorímetro Minolta CR-300.



Firmeza. La firmeza se realizó con el uso de un penetrómetro manual marca Fruit Pressure Tester modelo FT 327 (Figura 14) utilizando un cilindro de 8 mm de diámetro, el cual abarca un área de 0.5026 cm^2 calibrado en libras o kilogramos. La firmeza se determinó entre el pedúnculo y el extremo inferior del chile manzano y se representa como la firmeza media del fruto, expresándose los resultados en kgf/cm^2 .



Figura 14. Penetrómetro manual Fruit Pressure Tester.

pH. El pH del chile manzano fue obtenido con el uso de un potenciómetro PHmetro Hanna phep 5 Waterproof marca HANNA (Figura 15), el cual se calibró con soluciones buffer estándar de $\text{pH}=4$ y $\text{pH}=7$. El análisis se realizó mediante la inmersión del electrodo en la muestra filtrada obteniéndose la lectura directamente del potenciómetro.

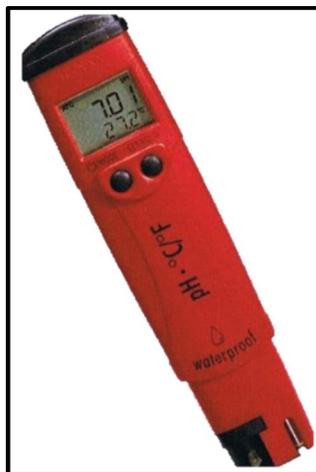


Figura 15. Potenciómetro HANNA.



Pérdida de Peso. La evaluación de pérdida de peso para cada lote de los distintos tratamientos durante el tiempo de almacenamiento fue realizado diariamente con el uso de una balanza semianalítica Scout Pro marca OHAUS (Figura 16). El resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso durante los días de almacenamiento.



Figura 16. Balanza semianalítica.

Sólidos solubles. El contenido en sólidos solubles fue determinado por medio de un refractómetro manual marca ATAGO modelo MASTER- M (Figura 17) en una escala de °Brix de 0 a 33% con una escala mínima de 0.2% y estandarizado a una temperatura ambiente de 20°C. El refractómetro previo a su uso fue calibrado a 20°C colocando una gota de agua destilada en el lector del prisma.



Figura 17. Refractómetro manual ATAGO.

3.8.2. Parámetros fisiológicos

Respiración. Para la determinación de la tasa respiratoria se utilizó un método estático tal como lo describen Stern *et al.*, (2000) utilizando el analizador de gas por infrarrojo O₂/CO₂ Analyzer marca NITEC (NITEC LLC Cincinnati, OH.). Las muestras se colocaron en un recipiente cerrado herméticamente midiéndose directamente los cambios en las concentraciones internas de CO₂ resultantes de la respiración después de un determinado



periodo de tiempo (1 hora) por cada chile manzano (Figura 18). Los resultados obtenidos por el equipo analizador de gases se expresaron en mg CO₂/kg h.



Figura 18. A) Chile manzano en envases cerrados, B) Analizador de gas por infrarrojo.

3.8.3. Parámetros nutricionales

Carotenos. El método se fundamenta en la medición de la absorbancia a 454 nm de un extracto de los carotenoides presentes en el fruto y luego mediante el uso de un blanco de éter de petróleo para calibración. El contenido de carotenos se calculó expresando el resultado en mg/100g de muestra (Figura 19). Los carotenoides por su gran inestabilidad a la luz, al oxígeno y temperatura fueron determinados a una temperatura de 6°C en un ambiente oscuro (Meléndez-Martínez *et al.*, 2007).



Figura 19. Espectrofotómetro.

Vitamina C. El análisis del contenido de vitamina C presente en el chile manzano en sus dos estadios de madurez se realizó por titulación (Figura 20) con (2,6 dicloro fenol indofenol) que es un colorante azul y la cantidad decolorada es proporcional a la cantidad



de vitamina C presente en el chile manzano (A.O.A.C., 1999). Los resultados obtenidos fueron expresados en mg de Ácido Ascórbico/100 g de producto.



Figura 20. Valoración con indofenol del contenido de Vitamina C en chile manzano.

3.8.4. Parámetros químicos

Azúcares reductores. Para la determinación de azúcares se aplicó el método de Fehling que consiste en usar disoluciones alcalinas de cobre que se reducen de óxido cúprico (Cu^{+2}) a óxido cuproso (Cu^{+1}), en el que se observa un precipitado de color rojo ladrillo (Figura 21) El resultado se expresó en g/100g de muestra (Pearson, 1998).



Figura 21. Valoración de azúcares reductores del chile manzano.

Cenizas. El contenido en cenizas del chile manzano se determinó mediante la técnica de Klemm. Se calcinó e incineró la muestra a 550°C en la mufla y se calculó el residuo de incineración por diferencia de peso. Se expresó el resultado en porcentaje de cenizas (Pearson, 1998).



Fibra cruda. El chile manzano una vez triturado, se llevó a cabo tras una digestión primero ácida y después alcalina donde se hidrolizaron y solubilizaron las proteínas, grasas y azúcares quedando como residuo la fibra (Olvera *et al.*, 1993), posteriormente a un lavado y secado se pesaron las muestras y los resultados se expresaron en porcentaje de fibra bruta por diferencia de peso (Matissek *et al.*, 1998).

Humedad. Se determinó mediante secado por estufa a una temperatura estandarizada a $70\pm 1^\circ\text{C}$ (Figura 22). La diferencia entre la muestra húmeda y los sólidos secos es la humedad evaporada, y se expresa en porcentaje de humedad (Lees, 1980).



Figura 22. Muestras deshidratadas de chile manzano.

Lípidos. La determinación cuantitativa del contenido de grasa se realizó por el método Soxhlet (Figura 23), en donde la grasa fue extraída con éter de petróleo obteniéndose el total de grasa tras la evaporación del solvente que después se determinó gravimétricamente el extracto seco que será expresado como porcentaje de lípidos (Pearson, 1998).



Figura 23. Equipo Soxhlet.



Proteína (Lowry). El análisis de proteína se determinó por el método de Lowry, ésta técnica se basa en la reacción de las proteínas con cobre en solución alcalina y mediante reducción del reactivo de Folin-Ciocalteau (Figura 24). La reacción se llevó a cabo en medio alcalino (pH= 10-10.5). Se utilizó como estándar albúmina sérica bovina. Los valores de concentración de proteínas se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 750 nm en un rango de 0 a 100 $\mu\text{g/ml}$, los resultados se expresaron en mg/100 g muestra (Lowry *et al.*, 1951).



Figura 24. Evaluación de proteína por método Lowry.

3.9. Tratamiento estadístico de resultados

Se llevó a cabo un análisis factorial siendo el factor A la dosis de irradiación y el factor B los estadios de madurez. Se aplicaron análisis de ANOVA simple y pruebas de rango múltiple (Duncan) para determinar entre qué tratamiento existió diferencia significativa ocupando un nivel de significancia de 0.05. Se realizaron con el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Science versión 15).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4. Resultados y Discusión

4.1. Parámetros físicos, de calidad, químicos, nutricionales y fisiológicos del chile manzano fresco en distintos estadios de madurez (verde y amarillo)

4.1.1 Evaluación de parámetros físicos en chile manzano fresco

Los chiles manzanos en estadio verde fueron clasificados según la norma NMX-FF-025-SCFI-2007 como medianos y el estadio amarillo como del grupo perteneciente a los grandes (Tabla 14). Según los parámetros y especificaciones por norma, los chiles manzanos se clasifican en Extra, Primera, Segunda y los que no entran en ninguna clasificación.

De acuerdo a los parámetros analizados, los chiles manzanos estudiados fueron clasificados de calidad Segunda, debido a las especificaciones sensoriales, físicas y microbiológicas, es por ello que si cumplen con dicha norma.

Los parámetros físicos, se determinaron con base en su longitud tanto ecuatorial como polar y peso (Tabla 14).

Tabla 14. Características físicas de los chiles manzanos en estadio de madurez verde y amarillo.

Verde			Amarillo		
Peso (g)	Longitud ecuatorial (cm)	Longitud polar (cm)	Peso (g)	Longitud ecuatorial (cm)	Longitud polar (cm)
31.56±6.97	5.75±1.63	5.87±1.58	30.14±5.78	6.17±1.79	5.86±2.04

Los datos presentados son la media de 39 chiles verdes y 54 chiles amarillos. ± Desviación estándar

4.1.2. Evaluación de parámetros de calidad en chile manzano fresco

Muchos factores pre y postcosecha influyen en la composición y la calidad de las frutas. En la Tabla 15 se muestran los parámetros de calidad del chile manzano en sus dos estadios de madurez.



Tabla 15. Parámetros de calidad de chile manzano en dos estadios de madurez.

Parámetros de Calidad		
	Verde	Amarillo
Acidez (%)	0.04 ± 0.008	0.04 ± 0.003
Firmeza (kgf/cm²)	6.80 ± 0.030	5.00 ± 0.010
pH	5.30 ± 0.058	4.80 ± 0.058
Sólidos solubles (° Brix)	5.90 ± 0.110	6.70 ± 0.001

Los valores muestran la media de 3 réplicas, ± desviación estándar.

Con independencia de su importancia bioquímica, los ácidos orgánicos contribuyen considerablemente al sabor. El sabor deseado del chile manzano exige un balance adecuado de azúcares y ácidos (Wills *et al.*, 1999), los ácidos orgánicos dominantes suelen ser el cítrico y el málico. El contenido de ácidos libres titulables es de 0.042 a 0.043 % del tejido fresco, sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los estadios, mientras que el contenido de sólidos solubles en el chile manzano presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ellos, siendo mayor para el estadio amarillo. En general, la fisiología del chile manzano se caracteriza por tener una epidermis gruesa y los valores obtenidos de firmeza varían de acuerdo al avance postcosecha del fruto y condiciones de cultivo, con una fuerza de penetración de 6.8 y 5.0 kgf/cm² para el estadio verde y amarillo, respectivamente.

4.1.3. Evaluación de parámetros químicos en chile manzano fresco.

En la Tabla 16 se muestra la composición química de chile manzano en estado fresco en dos estadios de madurez.

El contenido acuoso del chile manzano fue alrededor del 90%, correspondiendo a la mayor parte comestible del fruto y el resto pertenece a la materia seca. Respecto a los azúcares reductores totales presentaron valores de 3.34 y 5.94 % para el estadio verde y amarillo del chile manzano, respectivamente. Una parte de las sustancias nitrogenadas se encuentran en forma de fracción proteica, en su mayor parte por enzimas (Astiasarán y Martínez, 2000), encontrando en el chile manzano valores de 1.47 y 2.03 g/100g para verde y amarillo respectivamente. Respecto a los lípidos, estos constituyen un bajo porcentaje en el chile



manzano, sin embargo estos son importantes porque forman la cera de la superficie que contribuye al aspecto de la fruta (Knee, 2008) encontrando un 1.6% en el contenido de lípidos.

Tabla 16. Parámetros químicos de chile manzano en dos estadios de madurez.

Parámetros químicos (%)		
	Verde	Amarillo
Humedad	89.22 ± 0.36	90.35 ± 0.27
Azúcares reductores totales	3.34± 0.53	5.94± 5.51
Cenizas	1.78 ± 0.88	2.02 ± 0.82
Lípidos	1.54 ± 0.19	1.66 ± 0.17
Fibra bruta	1.45± 0.28	1.29 ± 0.07
Proteína (g/100g)	1.47 ± 0.39	2.03 ± 0.25

Los valores muestran la media de 3 réplicas ± desviación estándar.

La fibra bruta se considera constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina, su contenido en el chile manzano alcanzó valores de 1.37% (Coultrate, 1998). La materia inorgánica denominada cenizas en el chile manzano fue de 1.78 y 2.02%, siendo mayor en los frutos de estadio amarillo, de los cuales destacan K, Cu, Zn, Fe y especialmente Ca, ya que posee una función estructural como integrante de la pared celular, manteniendo la firmeza de manera que los requerimientos del fruto estarían relacionados con la estabilidad de la pared y la integridad de la membrana (Belakbir *et al.*, 1998).

4.1.4. Evaluación de parámetros nutricionales de chile manzano en fresco.

En la Tabla 17 se presentan los valores del contenido de vitamina C y carotenos obtenidos en el chile manzano en los dos estadios de madurez estudiados. La vitamina C (ácido ascórbico) es un constituyente minoritario de las frutas y hortalizas, sin embargo la totalidad de la vitamina C que contiene la dieta humana (aproximadamente el 90%) procede de frutas y hortalizas. Asociado a esto el ácido ascórbico tiene numerosos efectos benéficos, como antioxidante y para prevención del escorbuto (Pantástico, 1979).



Tabla 17. Parámetros nutricionales de chile manzano en dos estadios de madurez.

Parámetros Nutricionales (mg/100g)		
	Verde	Amarillo
Vitamina C	8.20 ± 1.05	10.33 ± 0.89
Carotenos	76.90 ± 1.45	150.00 ± 0.99

Los valores muestran la media de 3 réplicas ± desviación estándar.

No obstante el contenido de vitamina C en el chile manzano presentó valores en el estadio verde menores que en el amarillo (8.20 y 10.33 mg/100g respectivamente), presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$). El chile manzano contiene gran variedad de compuestos químicos responsables de las coloraciones que tiene, es el caso de la clorofila responsable del color verde del fruto sin madurar y los carotenoides que se encuentran distribuidos y son los responsables de las coloraciones amarillo, anaranjadas y rojos con 77 y 150 mg/100g para el estadio verde y amarillo, respectivamente.

4.1.5. Evaluación de parámetros fisiológicos de chile manzano en fresco.

La respiración es un proceso metabólico fundamental, tanto en el producto recolectado como en cualquier producto vegetal vivo, puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos presentes en las células como los ácidos orgánicos y las más simples como el agua y dióxido de carbono con liberación de energía (Wills, *et al.*, 1999). En la Tabla 18 se muestra la respiración del chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

Tabla 18. Parámetros fisiológicos de chile manzano en dos estadios de madurez.

Parámetros fisiológicos (mgCO₂/kg h)		
	Verde	Amarillo
Respiración	19.34 ± 1.84	17.12 ± 1.30

Los valores muestran la media de 3 réplicas ± desviación estándar.

En el caso del chile manzano el estadio verde presentó valores mayores (19.34 mgCO₂/kg h) en comparación al estadio amarillo (17.12 mg CO₂/kg h) presentando diferencia ($p \leq 0.05$) entre los valores. Dicho comportamiento se debe a la madurez del fruto, aunque como se



sabe que el chile manzano es un fruto semi climatérico, éste sigue presentando cambios en su metabolismo teniendo como consecuencia en el estadio verde modificaciones en el color, que ésta se le puede atribuir a cambios en otros parámetros además de la respiración.

4.2. Cambios en el contenido de carotenos, vitamina C, parámetros de calidad y fisiológicos del chile manzano almacenado en refrigeración

▪ Acidez

Desde el punto de vista práctico la acidez titulable, así como los sólidos solubles totales son los componentes más útiles en el campo de la fisiología postcosecha de frutas y hortalizas porque constituye un parámetro para su cosecha, ya que se emplean como referencia del estadio de madurez y como información objetiva relacionada con el sabor (Bosquez, 1992).

El contenido de ácido descende normalmente durante el decaimiento debido a la utilización de ácidos orgánicos durante la respiración o su conversión en azúcares (Knee, 2008). En la Figura 25 se muestran los cambios en la acidez de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados en refrigeración.

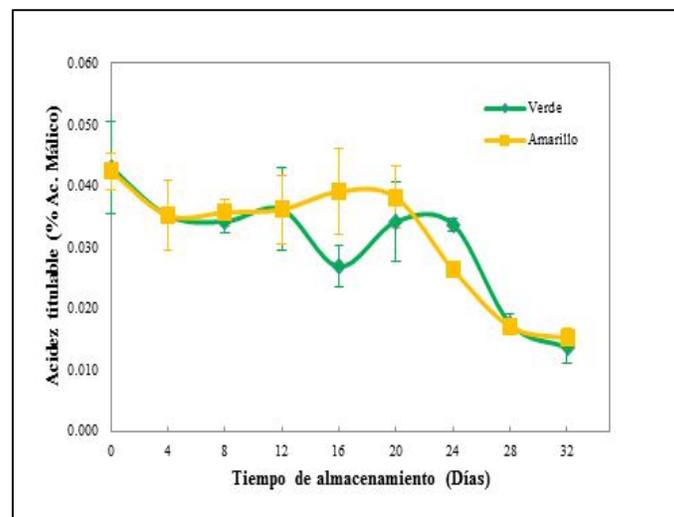


Figura 25. Cambios en la acidez de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

Eventualmente el contenido de ácidos orgánicos en el chile manzano, principalmente el ácido málico y el ácido cítrico se degradan conforme el paso de los días, hasta llegar al último día de almacenamiento (día 32), este comportamiento es evidente ya que los ácidos orgánicos involucrados en el ciclo de Krebs y en la respiración del fruto son ocupados por



rutas metabólicas como vías de reserva (Akl *et al.*, 1995). En la Figura 25 se observa que tanto el estadio verde como el amarillo, presentaron sus puntos máximos de acidez al inicio del almacenamiento con un valor de 0.043 y de 0.042 % para verde y amarillo respectivamente, y que sus valores más bajos se reportaron el día 32 con un valor de 0.014 y 0.015% en verde y amarillo respectivamente, entre los estadios no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), y se manifestó una tendencia muy similar entre ellos.

▪ **Sólidos Solubles**

Entre las principales reacciones bioquímicas de la maduración están las modificaciones de los constituyentes glúcidos. En general el contenido de azúcares aumenta en el curso de la maduración a pesar del consumo por oxidación respiratoria (Cheftel *et al.*, 2000).

El contenido en sólidos solubles aumentó en el chile manzano a partir del día cero de almacenamiento, respecto al factor estadio fue determinante, ya que se observó que el amarillo posee mayor contenido en sólidos solubles en comparación al verde, este comportamiento fue el esperado, ya que en la maduración de los frutos en general y en el chile manzano se debe principalmente a la síntesis de azúcares que incrementan por metabolización de la mayoría de los carbohidratos solubles durante la respiración o biosíntesis de polisacáridos (Lyon *et al.*, 1992).

La máxima concentración de síntesis en cuanto a sólidos solubles se observó en el estadio amarillo a lo largo de los 32 días de almacenamiento fueron los días 20 y 28, aunque fue evidente que la tendencia a incrementar la concentración en general fue a partir del día 20 en adelante con valores promedio de 8.7 ° Brix, y que los días anteriores al 20 mostraron valores desde 6.9 a 7.5 ° Brix. En la Figura 26 se muestran los cambios de los sólidos solubles en chile manzano en dos estadios de madurez almacenados en refrigeración.

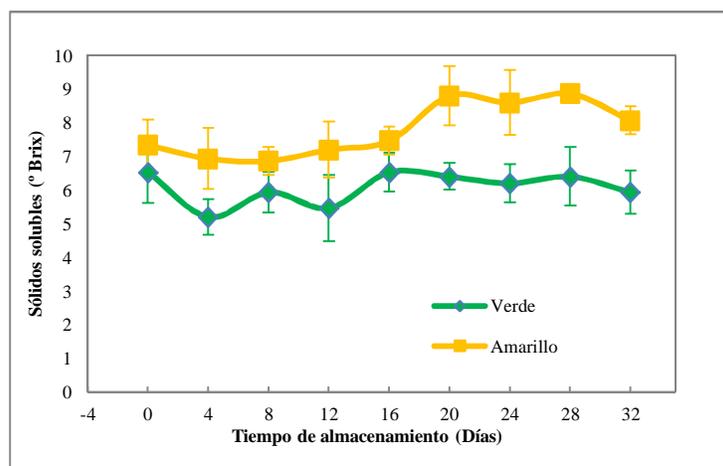


Figura 26. Cambios en los sólidos solubles en el chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

El estadio verde aumentó muy poco su contenido en sólidos solubles a través de los días de almacenamiento, este comportamiento fue debido a la inoportuna biosíntesis de estos componentes en la madurez fisiológica, la cual no alcanzaron a sintetizarse completamente, incluso este comportamiento es notorio ya que, la degradación de cloroplastos es visible incluso aun siendo fruto de la categoría semi climatérica.

Cabe mencionar que en cuanto a la relación que existe entre los dos estadios de chiles manzanos, no existe una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) hasta el día 16 de almacenamiento. A partir del día 20 hasta el 32 se encontró un efecto significativo por el estadio de madurez ($p \leq 0.05$), en donde el verde permaneció con un contenido de sólidos solubles de 5.2 y 6.5 °Brix como sus valores mínimos y máximos a través de los días. Estudios realizados por Pino *et al.*, (2007) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jack) encontraron valores entre 4.6 y 9.1 °Brix, similares a los obtenidos en el chile manzano.

▪ pH

Este parámetro presentó un comportamiento similar al de los sólidos solubles, encontrándose un incremento a partir del día 20 de almacenamiento que es perceptible en los dos estadios de madurez, que fue cuando comenzó a tener una tendencia en aumento hasta el día 32, no se encontró un efecto significativo ($p \geq 0.05$) por el estadio de madurez. Lo anterior indica que durante el proceso de almacenamiento, los chiles estudiados pierden



sus condiciones iniciales de pH como consecuencia del incremento de los sólidos solubles, y al igual que estos, se apreció por medio del estadístico que efectivamente a partir del día 20 (Figura 27), aumentaron los valores en cada estadio, mostrando de esta manera que los días donde se obtuvo un pH menor en el amarillo fueron los días 4 y 8 con un valor de 5.15 y 5.0 respectivamente y que para el verde se registraron valores menores de pH en los días 0, 4, 8 y 12 desde 5.23 a 5.3.

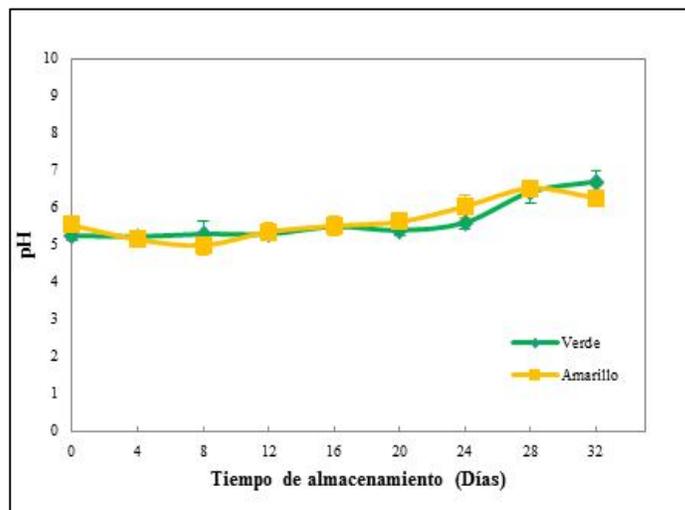


Figura 27. Cambios en el pH de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

En trabajos realizados por Castillo *et al.* (2009) encontraron que para el caso de pimientos el pH estuvo dentro del rango de 5.18 a 5.26 en *Capsicum annum*. Esto se puede comparar con este estudio en chile manzano, comprobando de esta manera que para el estadio amarillo antes del día 20, presentó valores que van desde 5.0 a 5.63 siendo este día determinante para la evaluación de calidad del fruto en estadio amarillo y menos severo para el verde.

▪ *Firmeza*

El análisis de firmeza del chile manzano en sus dos estadios de madurez verde y amarillo presentó una fuerza de penetración específica (Figura 28), en el cual el estadio amarillo presentó una fuerza menor que se traduce en un tejido más blando en comparación al verde, el cual tuvo un desarrollo prematuro.



En la Figura 28 se observa que a través de los días de almacenamiento a 8°C desde el inicio hasta el día 32 se presentó una disminución de la firmeza en los dos estadíos, este comportamiento fue el esperado en los chiles manzanos, ya que experimentaron un ablandamiento de los tejidos celulares y degradación de pectina, observándose de esta manera que el punto máximo de firmeza para el estadio amarillo fue de 6.13 kgf/cm² al inicio del almacenamiento y de 6.28 kgf/cm² en el día 8, sin diferencia significativa entre ellos ($p \leq 0.05$) y que los valores mínimos se presentaron conforme transcurrieron los días, lo cual correspondió a 4.40 kgf/cm² en el día 32, lo que indicó una pérdida de firmeza del 28.22 % durante su almacenamiento.

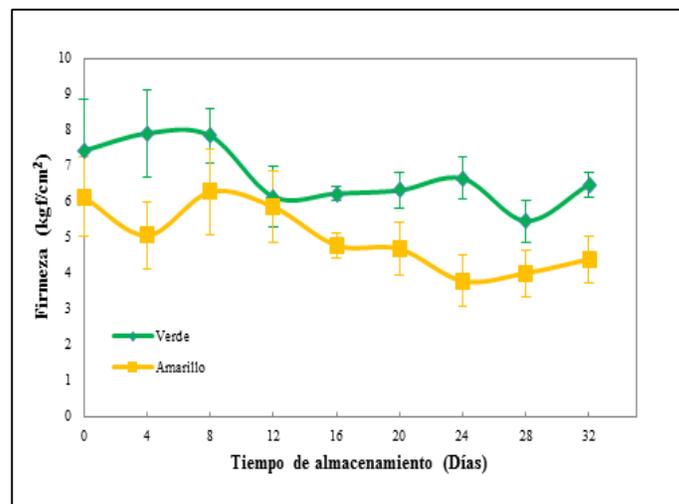


Figura 28. Cambios en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C. En cambio, el estadio verde evidenció valores máximos en los primeros días de almacenamiento que correspondieron a los días 0, 4 y 8 con una firmeza de 7.43, 7.91 y 7.85 kgf/cm² y con valores mínimos al transcurrir el tiempo de 6.49 Kg/cm² en el día 32 y que se esperó que esos valores continuarán disminuyendo conforme pasaron los días.

Al final del almacenamiento los chiles manzanos en estadio verde presentaron un 12.65% de pérdida de firmeza. Asimismo, algunos chiles en el estadio amarillo evidenciaron ablandamiento posiblemente debido a la hidrólisis de las pectinas de la lamela media que corresponde a una reacción determinante en los frutos, tanto por el proceso natural de maduración como en la maceración de los tejidos por los mohos patógenos (Knee, 2008).



▪ Carotenos

Los pigmentos sufren durante la maduración considerables modificaciones. El cambio del verde al amarillo o rojo corresponden al desenmascaramiento de los pigmentos carotenoides, debido a la destrucción de la clorofila. La función de los carotenos en las plantas es protegerlas de daños de oxidación por luz (Saavedra 2009).

La mayoría de las frutas contienen una variedad de diferentes carotenoides y la composición tiende a variar entre éstas. Generalmente el contenido aumenta en las frutas maduras, como se muestra en la Figura 29, el estadio amarillo posee una cantidad prioritaria en comparación al verde, esto es debido al tipo de caroteno (β -Caroteno) presente en el amarillo que es más predominante y estable que el color verde o clorofila presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los estadios estudiados desde el inicio del almacenamiento.

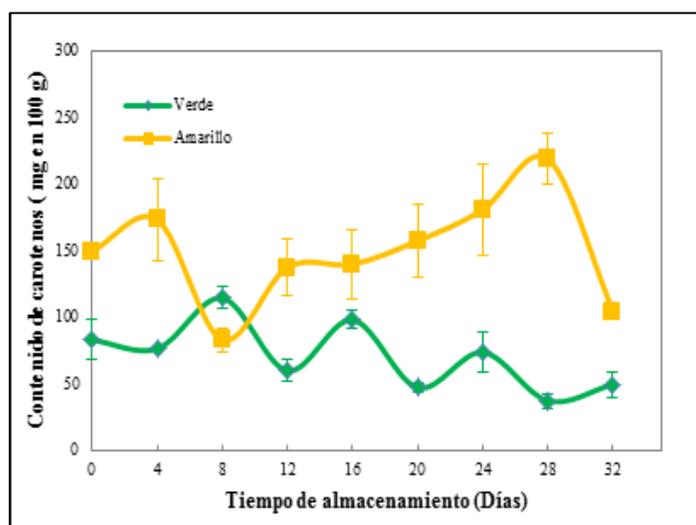


Figura 29. Cambios en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

Los valores obtenidos en el estadio amarillo al inicio del almacenamiento fueron de 150 mg/100g, los cuales aumentaron conforme el desarrollo del fruto, hasta llegar a un máximo de 219 mg/100g en el día 28 y una disminución el día 32 a consecuencia de la oxidación, de igual manera como ocurrió con la vitamina C.



En lo que respecta al estadio verde, se observó una concentración inicial de 83.3 mg/100g, y que posteriormente fue disminuyendo hasta el día 32 con 45 mg/100 g, mostrando así una inhibición en la síntesis debido a una interferencia como respuesta a las condiciones de almacenamiento usadas en el estudio, que correspondieron a una ausencia de luz y bajas temperaturas, lo que permiten la expresión de mayor o menor contenido de carotenos en el fruto. Entre los estadios estudiados se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a lo largo de la experimentación.

Se dice que los alimentos que contienen antioxidantes, como tocoferoles o vitamina C como el chile manzano, conservan mejor los carotenoides y por tanto su color (Meléndez, *et al.* 2004). De lo anterior, podría indicar que la vitamina C en chile manzano que fue de 36.68 mg/100g ayudó como protector de capacidad antioxidante frente a los carotenos, principalmente en el estadio amarillo.

- **Vitamina C**

La vitamina C es un nutriente indispensable para el humano que ha sido implicada en aspectos clínicos como la prevención de cáncer, escorbuto y otras enfermedades. Con el fin de evaluar los niveles de este componente en el chile manzano se determinó el contenido de vitamina C en diferentes grados de desarrollo del fruto, en donde sus cambios se muestran en la Figura 30.

El contenido de vitamina C en el chile manzano en sus dos estadios presentó un aumento a lo largo del almacenamiento del fruto hasta 32 días, registrándose una concentración máxima de 34.91 y 36.68 mg/100g de chiles en estadios verde y amarillo, respectivamente.

Las variaciones en los niveles de vitaminas en el chile se han atribuido a diferencias en cultivares, madurez del fruto, manejo agronómico de la planta y factores climáticos; incluso hay diferencias debidas al método analítico utilizado (Mozafar, 1994).

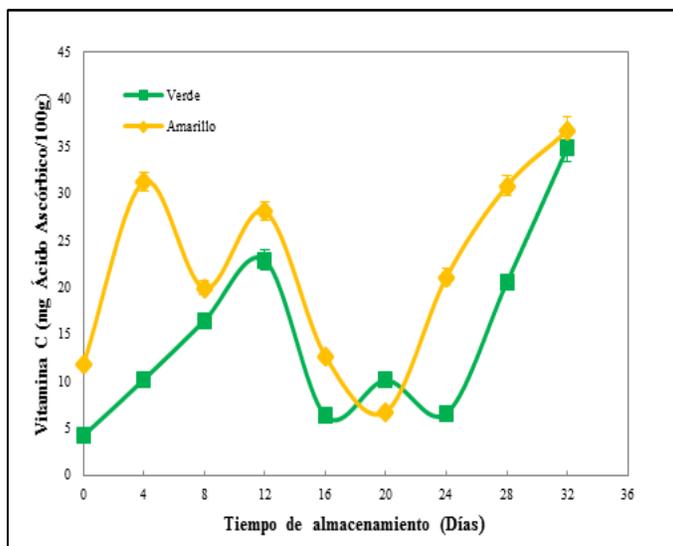


Figura 30. Cambios en vitamina C de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

Ibar y Serrat (1989) encontraron en pimiento fresco un contenido bromatológico de ácido ascórbico de 120 mg/100 g de fruto y Castaños (1999) encontró un contenido de 242.5 mg/100 g de fruto en la composición nutritiva del pimiento, sin embargo valores citados por Clemente (2004) en donde evaluó cinco híbridos de chile manzano encontró diferencias significativas pero con valores que van de 18.7 hasta 23.3 mg/100 de fruto y estos fueron disminuyendo aún más en días posteriores a la cosecha, es por ello que el ácido ascórbico es afectado por coloraciones y genotipos; en algunos cultivares incrementa y en otros disminuye, resultando entonces en el estudio de chile manzano valores similares a los obtenidos por éste último autor presentando entonces un contenido de vitamina C en el rango de 19.57 y 24.25 mg/100g para el estadio verde y amarillo respectivamente, sin embargo se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en dichos valores de vitamina C en los días 0, 4, 16, 24 y 28 de almacenamiento entre los dos estadios de madurez.

Por lo tanto, en cuanto al contenido de vitamina C se tuvo un comportamiento similar en los dos estadios de madurez conforme los días de almacenamiento, sin embargo en el estadio amarillo hubo mayor contenido que en el verde, teniendo además que al inicio del experimento con valores de 4.23 mg/100 g para el estadio verde y 11.83 mg/100 g para el amarillo; hubo diferencia a lo largo del tiempo pero al final se tuvieron resultados similares en el contenido de vitamina C.



▪ Respiración

La respiración es el proceso por el cual el oxígeno atmosférico es aprovechado para metabolizar compuestos de almacenamiento como azúcares para formar diversos productos derivados como CO₂, agua y energía en forma de calor (Pantástico, 1979). Según Belakbir *et al.*, (1998) el aumento en la respiración se debe a la pérdida de resistencia organizacional entre las enzimas y sustratos. La tasa de respiración inicial del chile manzano mostrada en la Figura 31 del inicio del experimento al día 4, el estadio verde y amarillo presentaron una disminución, pero a partir del día 8 hubo un incremento en los valores obteniéndose un pico máximo de respiración para los dos estadios (32.12 mgCO₂/kg h para el estadio verde y de 16.75 mgCO₂/kg h para el estadio amarillo), mientras que en el verde fue más pronunciado, esto se debió a que el estado de desarrollo de una planta o parte de ella puede ejercer un efecto muy pronunciado sobre la velocidad respiratoria y metabólica del tejido vegetal después de la cosecha.

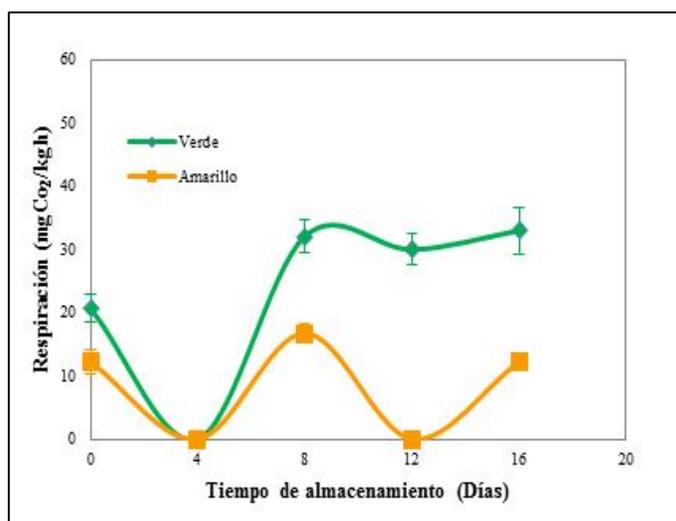


Figura 31. Cambios en la respiración de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.

Por lo general, las células jóvenes, de crecimiento activo tienden a tener mayor velocidad respiratoria que las células senescentes o más maduras, sin embargo el efecto de la respiración en los frutos semi climatéricos es mínimo (Pantástico, 1979).

Al realizar el análisis estadístico se presentaron valores en comparación del estadio verde y amarillo en donde hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los datos obtenidos para la



respiración del fruto a partir del día 8, esto fue provocado por la maduración del estadio verde, ya que presentó conforme el almacenamiento un cambio en su coloración hacia amarilla presentando un ligero aumento en su tasa de respiración.

▪ *Luminosidad*

Con los valores obtenidos de luminosidad (L), presentados en la Figura 32, se puede observar que inicialmente los valores en el chile manzano amarillo se presentaron mayores (L=43.33), esto se debió a su color en comparación al verde que empezó con un valor menor (L=34.23) resultando al final del almacenamiento con un valor en verde de L= 42.0, obteniéndose un aumento de luminosidad del 18.5%, mientras que en el amarillo disminuyó a L= 38.01, presentando una pérdida del 12.2%, esto fue provocado al cambio en su color.

En estudios realizados por Pino *et al.* (2007) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jack) se indica que en los valores L existe una amplia gama de brillantes entre cultivares, en el caso del chile manzano se encontró que dichos valores van desde L=53.97 hasta 55.14, no habiendo diferencias estadísticas entre las variedades Puebla y Zongolica.

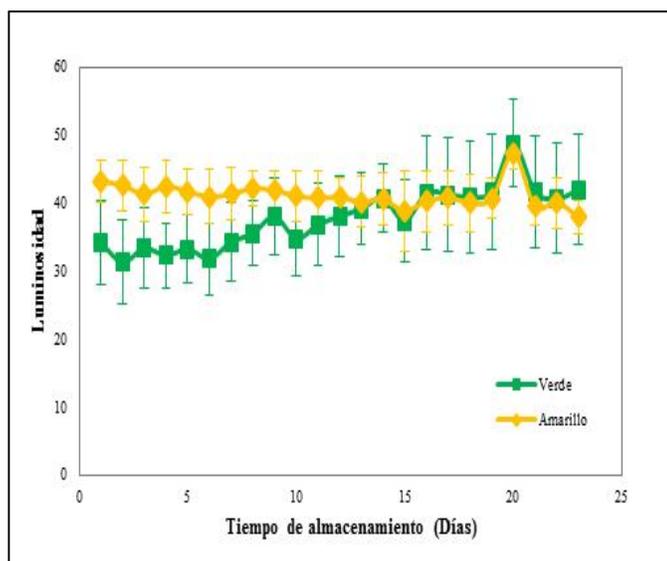


Figura 32. Cambios en la luminosidad de chile manzano en dos estadios de madurez almacenados a 8°C.



En comparación con los estudios de Clemente (2004) que encontró valores de $L= 27.17$ y 45.72 , siendo ligeramente más opacos y sin diferencias significativas al aumento de la cosecha aunque en días posteriores a la misma encontró diferencias estadísticas debido a los cambios metabólicos que sufrieron en diferentes proporciones los híbridos de chile manzano, por lo que los valores obtenidos corresponden a los estudiados en el presente trabajo. Al analizar los resultados de color y relacionarlos con la concentración en carotenos presentes en el chile se atribuyó al contenido de clorofila en el chile manzano verde su degradación de ésta y obtener un color amarillo, mientras que en el estadio amarillo por síntesis de los carotenoides se obtuvo un color anaranjado, por lo que el cambio de color se le atribuyó a dicha degradación y síntesis provocada por la madurez y acercamiento a la senescencia del fruto. Además como se observa en la Tabla 19 se presentaron en el día 16 chiles manzanos en estadio amarillo con disminución de calidad por su apariencia y su afectación por infección de antracnosis. Al realizar el análisis estadístico se obtuvo cuantitativamente el grado de diferencia al comparar los valores entre los dos estadios de madurez, por lo que resultó que en el día 1 al día 10 se presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los valores de luminosidad, esto se atribuye al color presente en el chile verde y amarillo (Figura 32), mientras que a partir del día 11 al 23 no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

Tabla 19. Efecto en el color del chile manzano durante el almacenamiento a 8°C .

Días	Estadio	
	Verde	Amarillo
Día 0		
Día 4		
Día 8		



Continuación. Tabla 19. Efecto en el color del chile manzano durante el almacenamiento a 8°C.

Día 12		
Día 16		
Día 20		
Día 24		
Día 28		
Día 32		

▪ Pérdida de Peso

La disminución de peso en frutos y hortalizas se atribuye a la pérdida de agua y daños provocados en el fruto, ya sean mecánicos, por microorganismos, almacenamiento y/o por frío y manipulación de éstos (Pantástico, 1979). Los resultados presentados en la Figura 33 obtenidos del chile manzano se puede apreciar dicha disminución de peso provocada por un arrugamiento de piel y por lo tanto una disminución de calidad, la cual es de gran importancia para el consumidor.

El peso del chile manzano inicialmente fue de 49.78 y 61.14 g en el chile manzano verde y amarillo, respectivamente, observándose que el peso del estadio verde y amarillo fue



disminuyendo en el transcurso de los días, resultando una pérdida de peso al final del almacenamiento del 13.31% y del 14.88%, respectivamente. A partir del día 16 de almacenamiento se presentó un incremento en el porcentaje de pérdida de peso en los dos estadíos, esto provocó en los chiles manzanos un aspecto arrugado en su epidermis, además de una disminución en su firmeza (Figura 33), esto se ocasionó por la deshidratación de los frutos. En la Tabla 19 se puede apreciar dicha apariencia, resultando una pérdida mayor al 10% que corresponde a una disminución en su calidad.

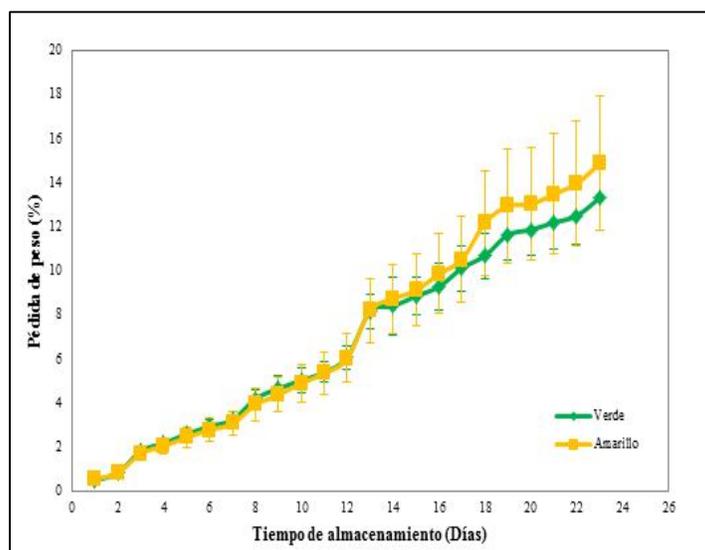


Figura 33. Porcentaje de pérdida de peso en chile manzano en dos estadíos de madurez almacenados a 8°C.

Durante el almacenamiento a 8°C y hasta el día 16 no se presentó una pérdida de peso importante (9.59%), indicando en este momento de la experimentación como factor importante en los parámetros de calidad y que a partir de entonces la actividad fisiológica disminuyó, dando paso a otros procesos relacionados con las transformaciones bioquímicas inherentes a la maduración del mismo. Al realizar el estadístico se encontró una diferencia en los valores de pérdida de peso en los dos estadíos en donde resultó que solamente al inicio del experimento y al día 14 no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$), mientras que a partir del día 15 al 22, se obtuvo una diferencia significativa en los resultados ($p \leq 0.05$).



Finalmente se concluyó que la pérdida de peso varió entre estadíos debido a la evaporación que tiene lugar la contracción superficial produciendo una mayor flacidez, por lo tanto una mayor pérdida de peso y firmeza, además los chiles presentaron daños provocados por enfermedades y ocasionó su afectación en el chile manzano amarillo, el cual presentó mayor incidencia de ésta.

4.3. Efecto en el chile manzano por tratamientos con ceras y fungicida en dos estadíos de madurez

▪ *Acidez*

Los ácidos orgánicos pueden considerarse como una reserva energética más de las frutas, siendo por consiguiente que su contenido decline en el periodo de actividad metabólica máxima en el curso de la maduración, esto produce la desaparición del sabor agrio y de la astringencia y al equilibrio entre sólidos solubles/acidez de los frutos maduros (Salunkhe, 1993). Eventualmente el efecto de la aplicación de tratamientos como ceras y un lavado con fungicida como alternativa para el mantenimiento de la calidad, tiene en cuanto al contenido de ácido málico expresado en porcentaje, el comportamiento que se muestra en la Figura 34. El grupo de chiles manzanos control, en estadío verde Figura 34 (A) mostró valores de 0.025 % de ácido málico al día cero del almacenamiento, mismo comportamiento respecto a los tratamientos de fungicida, ceras de candelilla y de abeja, con valores de 0.024, 0.026 y 0.024% respectivamente bajo las mismas condiciones de almacenamiento al inicio.

Este comportamiento no fue así a partir del día 4 de almacenamiento, ya que a partir de este día existieron variaciones en el contenido de acidez al tratarse de frutos con condiciones metabólicas distintas, sin embargo al día 24 del almacenamiento, los tratamientos estudiados de fungicida y cera de candelilla siguieron una tendencia similar al grupo control, con valores registrados de 0.023 % de acidez de los cuales no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$), mientras que el lote de chiles tratados con cera de abeja evidenciaron valores de 0.034 % de acidez al final del almacenamiento, lo cual redunda en un ligero aumento en el contenido de acidez .

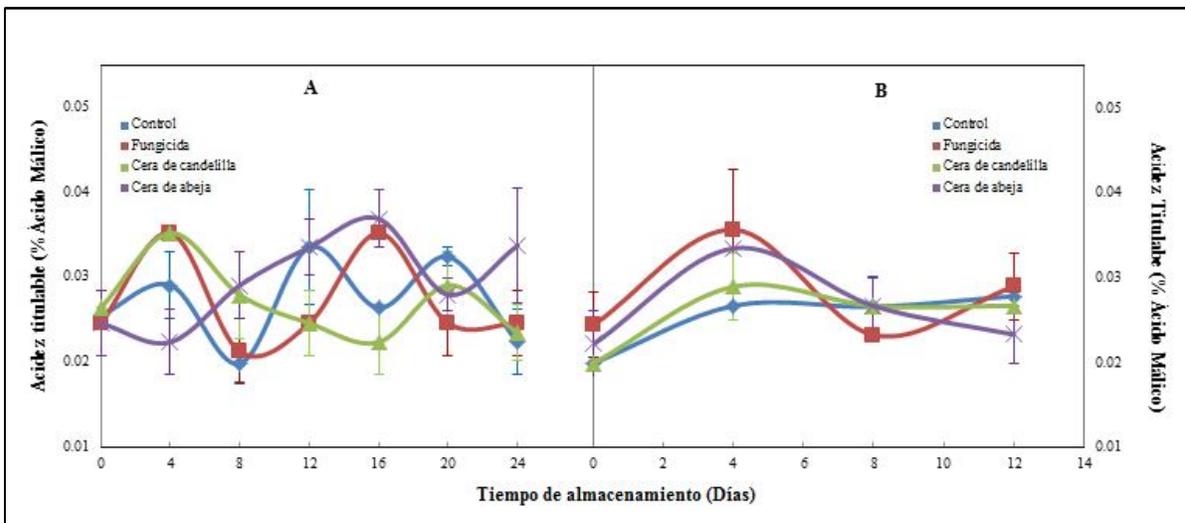


Figura 34. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la acidez de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Para el estadio amarillo Figura 34 (B) se obtuvieron valores semejantes al estadio verde, por lo que no existieron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre estadios de madurez, ya que al día cero de almacenamiento se obtuvo el 0.022 % de ácido málico. Los tratamientos estudiados en este estadio no tuvieron efecto sobre el contenido de acidez, ya que no se evidenció diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ellos, sin embargo la experimentación fue reducida a 12 días de almacenamiento debido a daños fisiológicos sufridos en los chiles siendo de 0.027 % de acidez en el día 12 de almacenamiento. Es de esperar un descenso en la concentración de ácidos orgánicos durante su almacenamiento debido a la maduración natural del fruto. Este descenso coincide con el inicio de la maduración y la acumulación de azúcares.

El ácido predominante (málico) se encuentra en grandes concentraciones derivado del ciclo de los ácidos tricarboxílicos y otros ciclos metabólicos, los cuales se acumulan en la vacuola. El ácido málico se convierte en ácido cítrico o glutámico, lo que explica el descenso del éste (Pantástico, 1979). De los resultados se observó que el estadio de madurez (verde y amarillo) y los diferentes tratamientos (fungicida y ceras de candelilla y abeja), no afectaron la acidez durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, solamente al final se registró un efecto del tratamiento de cera de abeja en el estadio verde comparado con los chiles sin ningún tratamiento.



▪ *Sólidos solubles*

El cambio más importante asociado a la maduración de los frutos es la degradación de los hidratos de carbono, esta transformación tiene doble efecto, tanto de alterar el sabor como la textura del producto (Davies, 1998). Los estadíos de madurez estudiados en chiles manzanos no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre sí a lo largo del almacenamiento (Figura 35) obteniéndose valores de 6.9 y de 7.06 °Brix al día cero del almacenamiento para el estadio de madurez verde y amarillo respectivamente, así como al día 12 sufrieron ligeras modificaciones. Un porcentaje de los sólidos solubles en los dos estadíos son procedentes de la savia que lleva el fruto, más no de la degradación de las reservas amiláceas característica de un fruto no climatérico. Bajo este criterio se observó que los valores fueron constantes a lo largo del almacenamiento donde no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en cuanto a los tratamientos aplicados respecto a los grupos control para los dos estadíos, este comportamiento se observa en el estadio verde y amarillo de la Figura 35.

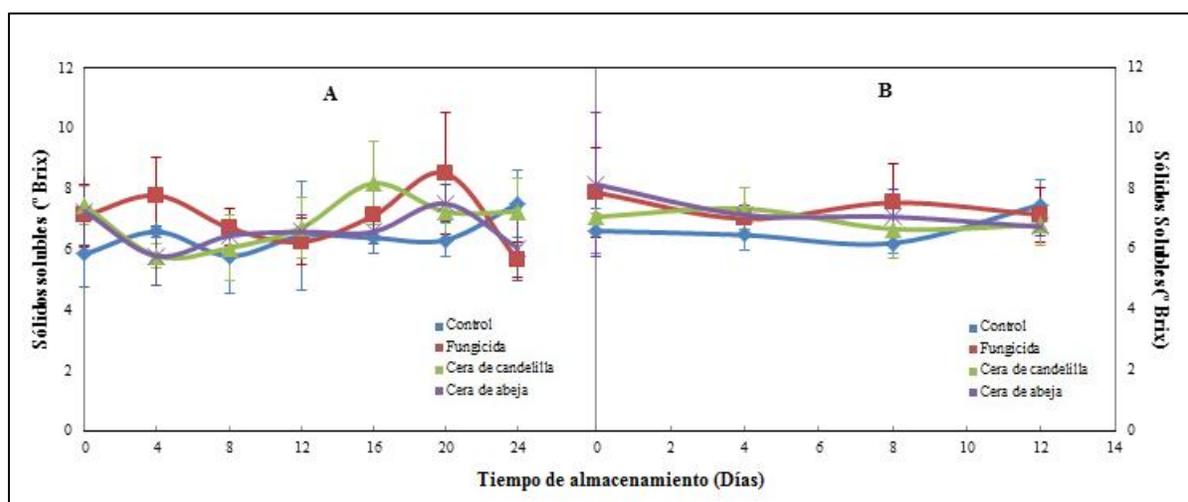


Figura 35. Efecto de tratamientos químicos y ceras en los sólidos solubles de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Tanto en estadio de madurez verde como amarillo, se encontró que los grupos control presentaron valores bajos respecto a los tratamientos en los primeros días de almacenamiento con valores de 5.86 y 6.6 °Brix al inicio para el estadio verde y amarillo



respectivamente, mientras que los tratamientos en conjunto mostraron valores al inicio de 7.28 y 7.68 °Brix para la estadio verde y amarillo, respectivamente sin diferencias significativas entre estos ($p \geq 0.05$). Este comportamiento dio lugar debido a la composición de las formulaciones empleadas para la aplicación de los recubrimientos comestibles en los chiles utilizados.

De los resultados se observó que el estadio de madurez (verde y amarillo) no afectó significativamente los cambios en el contenido de sólidos solubles del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos; fungicida, ceras de candelilla y abeja, tampoco afectaron significativamente su contenido durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano.

- *pH*

El pH es uno de los factores más importantes de estrés en las frutas, ya que determina el tipo de microorganismo que pueden proliferar en ellas, así como su velocidad de crecimiento y la estabilidad de muchas vitaminas (Fellows, 2000).

Para los diferentes tratamientos estudiados en el estadio verde Figura 36 (A) se observó una tendencia constante en la concentración de iones hidroxilo durante el almacenamiento hasta el día 20 y en el 24 se observó un ligero aumento. Este aumento en el pH está relacionado con la disminución que se da en la concentración de ácidos orgánicos considerando la baja tasa de síntesis debido a la clasificación semi climatérica sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los diferentes tratamientos estudiados.

Desde el día cero de almacenamiento en el estadio verde, ningún tratamiento mostró diferencias significativas entre ellos ($p \geq 0.05$), presentando valores de 5.32; fue a partir del día 24 cuando se evidenció un aumento en el contenido de pH donde se obtuvieron valores de 5.88 para los grupos control y fungicida sin diferencias significativas entre ellos ($p \geq 0.05$) obteniendo un incremento del 9.9% en pH, mientras que para los tratamientos con ceras de candelilla y de abeja se obtuvieron valores de 5.48 en el día 24 de almacenamiento, mostrando un aumento del 3.4 %, relativamente menor que los lotes control y fungicida, lo



que destaca que la aplicación de ceras preservó mejor los parámetros de calidad en cuanto al pH se refiere de los chiles manzanos.

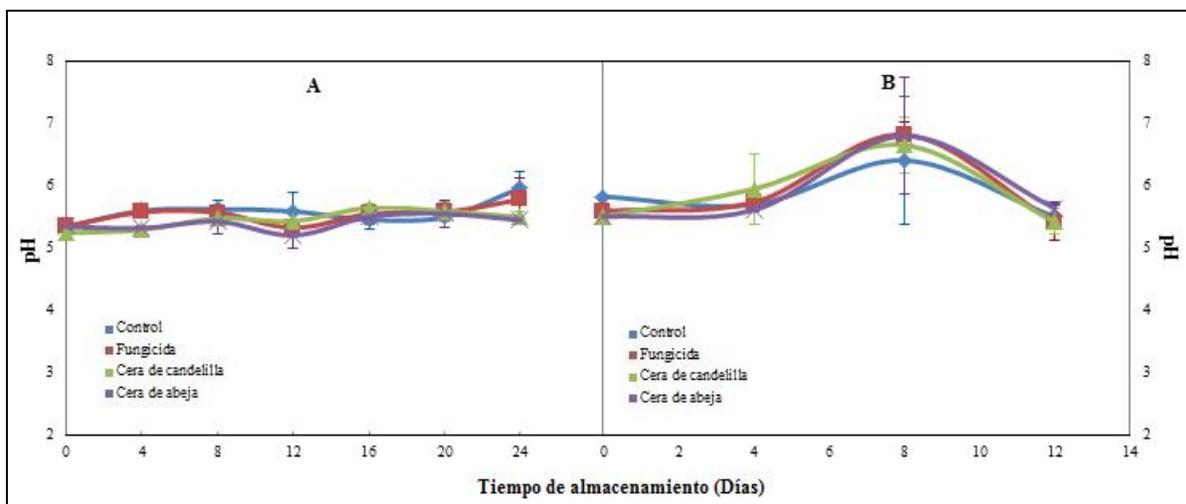


Figura 36. Efecto de tratamientos químicos y ceras en el pH de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

En el estadio amarillo como se muestra en la Figura 36 (B) no se encontraron diferencias significativas a través de los días de almacenamiento en los tratamientos aplicados, mostrando valores de 5.6 en cuanto a la concentración de iones hidroxilo para el día cero y de 5.5 el día 12, sin embargo se observó a partir del día 8 un incremento de pH para todos los tratamientos estudiados de 6.68, produciendo bajo estas condiciones un ablandamiento considerable del tejido debido a la desesterificación, transeliminación de la pectina y gelatinización y solubilización de la hemicelulosa, celulosa y otros polisacáridos (Badui, 2006), por lo que a partir de la Tabla 20 se observa como se descartaron algunas muestras motivo de una mala calidad y apariencia en este estadio, mientras que en el día 12 se emplearon muestras de chile que aún conservaban las características visuales óptimas para su análisis. De los resultados se observó que ni el estadio de madurez (verde y amarillo), ni los tratamientos aplicados afectaron significativamente los cambios en el pH de los chiles manzanos durante el almacenamiento refrigerado.



▪ Firmeza

La aplicación de tratamientos como ceras y un lavado con fungicida en condiciones de refrigeración a 8°C mostraron cambios no esperados debido a su naturaleza para ambos estadíos de madurez, como se observa en la Figura 37, es notorio que todos los tratamientos tanto el estadío verde como el amarillo tienen una misma tendencia y que esta fue disminuyendo a través de los días de almacenamiento debido a la degradación de los tejidos celulares, así como la solubilización de la pectina y pérdida de fuerza en la pared celular razón de la deshidratación de la misma. La aplicación de ceras como recubrimientos comestibles a base de una emulsión no tuvieron efecto positivo en este parámetro, como consecuencia de una mala permeabilidad al vapor de agua respuesta a la transpiración del fruto debido a la naturaleza de las ceras (hidrofóbica), ya que se evidencia una tendencia muy similar en contraste con la curva control.

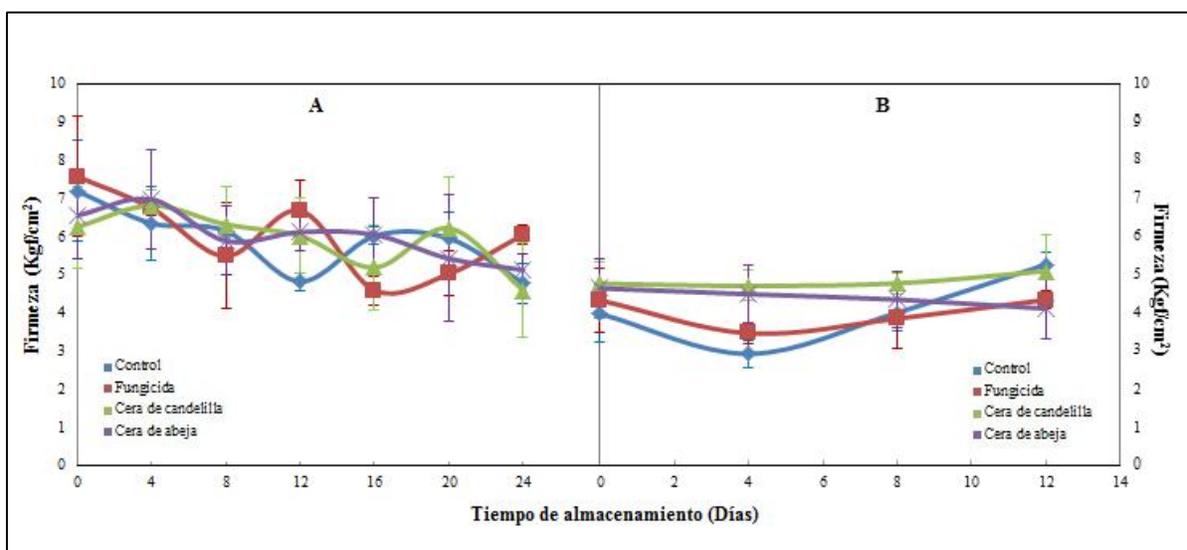


Figura 37. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

En el chile manzano verde por su fisiología y estadío de madurez en etapa prematura, cuenta con una epidermis de gran espesor en exocarpio en contraste con el chile manzano amarillo, por lo que se obtuvieron valores de firmeza mayores que en este estadío Figura 37 (A). La firmeza del chile manzano depende también de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células, la presencia de tejidos de sostén y de la composición, razón por la cual para el estadío verde se obtuvieron valores el primer día en un rango de 6.8 kgf/cm²,



mientras que para el estadio amarillo de 4.4 kgf/cm^2 . La maduración mostró una disminución de firmeza tanto en el estadio verde como en el amarillo en los últimos días de almacenamiento presentando una fuerza de penetración de 5.1 kgf/cm^2 y de 4.6 kgf/cm^2 en verde y amarillo respectivamente.

El estadio de madurez verde evidenció un 25% de pérdida de firmeza desde el día cero hasta el día 24, en cambio para el amarillo se mostró una pérdida de firmeza nula a través de los días de almacenamiento, ya que estos mostraron una vida útil de tan sólo 12 días, debido a problemas fisiológicos en su estructura, algunos de ellos presentaron enfermedades como antracnosis y daños colaterales por frío o podredumbre blanda a partir del día 12 de almacenamiento, estos frutos fueron descartados para su análisis. En un estudio realizado por Bautista (2010) en donde el potencial osmótico es la variable independiente de un medio de cultivo a partir de minerales seleccionados, se obtuvo una firmeza en las muestras de chile manzano amarillo tanto variedad Puebla y Zongolica de 4.50 kgf/cm^2 en donde no existieron diferencias significativas entre las variables, valores por los cuales en este estudio se encuentran por los mismos rangos para el mismo estadio.

De los resultados se observó que el estadio de madurez (verde y amarillo) si afectó significativamente ($p \leq 0.05$) los cambios en la firmeza; mientras que los diferentes tratamientos, fungicida y ceras de candelilla y de abeja, no afectaron significativamente su fuerza de penetración durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano.

▪ *Carotenos*

Al aplicar tratamientos diversos como recubrimientos a partir de ceras o con fungicida en dos estadios de chiles manzanos almacenados a 8°C por 24 y 12 días para el estadio verde y amarillo respectivamente, se observó que para el estadio verde el fungicida no tuvo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) respecto al grupo control a lo largo del almacenamiento como se muestra en la Figura 38 (A), donde el grupo control mostró una disminución respecto a los demás tratamientos en el día 24 correspondiente a 59.58 mg/100 g , mientras que para el grupo tratado con fungicida mostró una disminución no tan drástica en contraste al grupo control, mostrando valores de concentración de carotenos de 121.76 mg/100 g , por lo que el lote con lavado de fungicida tuvo un efecto positivo respecto a la degradación de



los carotenos a lo largo del almacenamiento, este comportamiento se asemeja a una campana que está relacionada con la edad y el estado de desarrollo del fruto donde empiezan a acumularse en las primeras etapas de desarrollo y alcanzan su máxima concentración en las etapas finales (Sakamoto *et al.*, 1994; Estrada *et al.*, 1997; Cruz *et al* 2007).

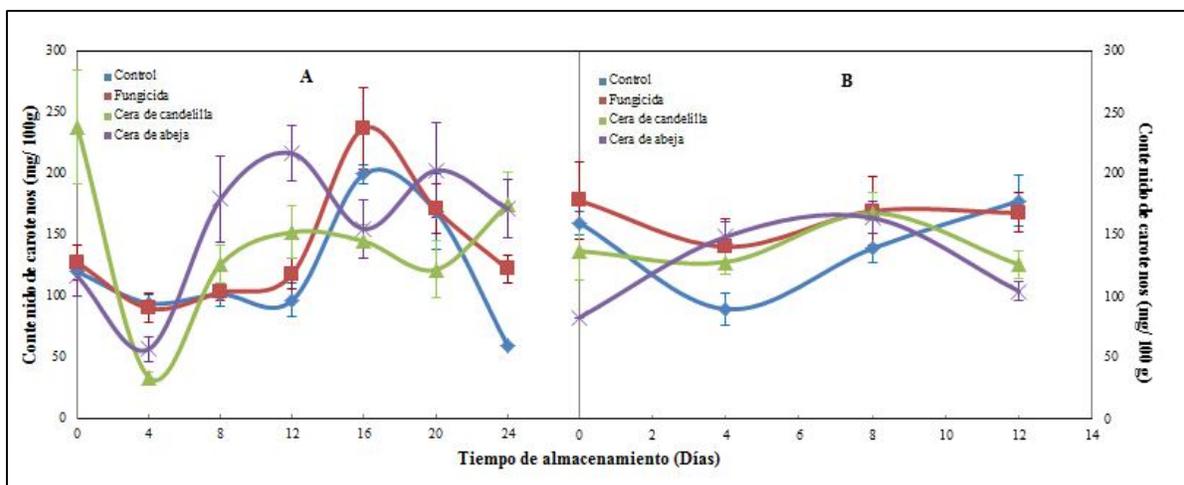


Figura 38. Efecto de tratamientos químicos y ceras en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Los valores de carotenos más bajos se encontraron el día 4 de almacenamiento y al 16 se obtuvieron las lecturas más altas en cuanto a su contenido, tanto para el lote control como el lavado con fungicida de 199.24 y 236.69 mg/100 g, respectivamente. Para este mismo estadio se muestra en la Figura 38 (A) que la aplicación de ceras de candelilla y abeja muestran una tendencia diferente en cuanto a la concentración de carotenos se refiere, respecto a los grupos control y fungicida, ya que no se observó un comportamiento decreciente, sino que se muestra a partir del día 8 de almacenamiento en adelante una tendencia constante hasta el último día de almacenamiento en donde los datos arrojados no tienen diferencia significativa entre ellos, de esta manera para la cera de candelilla se observó que el día de concentración de carotenos más bajo fue en el día 4 con valores de 33.4 y de 56.4 mg/100 g para la cera de abeja, a partir del día 8 se aumentó la concentración de carotenos mostrando una tendencia constante con valores de 135.8 mg/100 g promedio para cera de candelilla y de 184.4 para la cera de abeja. En la Figura 38 (A) se observa que la concentración de carotenos para todos los tratamientos comenzó a incrementar a partir



del día 8 que corresponde al cambio en la coloración amarilla mostrada en la Tabla 20. La aplicación de cera de abeja tuvo efectos positivos a través de los días de almacenamiento, ya que la fórmula (aceite de limón, alcohol y cera de abeja) tuvo un efecto antioxidante ante la pro vitamina A, mostrando que para los últimos días de almacenamiento se obtuvo una concentración de 202.15 y 171.02 mg/100 g en el día 20 y 24 respectivamente, valores que se encuentran por encima de los otros tratamientos.

Químicamente, los carotenoides son solubles en lípidos, con una serie de dobles enlaces conjugados (Bosland y Votova, 2000) que al interactuar con un recubrimiento comestible a base de cera de abeja y de candelilla son difíciles de separar debido a su naturaleza lipofílica. Los tratamientos aplicados a base de ceras ejercieron un efecto protector a la inestabilidad de los carotenos, ya que estos son inestables cuando son expuestos a la luz, al oxígeno o temperatura (Bosland y Votova, 2000), sin embargo debido a estos factores y al tratamiento de las muestras para su análisis (congelación y descongelación) se obtuvieron fluctuaciones en el contenido de carotenos durante su almacenamiento que se observan en la Figura 39 (A).

Para los chiles en estadio amarillo se obtuvieron valores para el grupo control en aumento a través de los días de almacenamiento, sin embargo no se observó el comportamiento que presentaron los chiles verdes, se obtuvieron lecturas al día 4, correspondientes a 90.38 mg/100 g como concentración más baja de carotenos y de 177.91 mg/100 g al día último de almacenamiento con mayor contenido en carotenos, mientras que el lavado con fungicida mostró valores elevados a través de todos los días de almacenamiento, así mismo se muestra en la Figura 38 (B), que los valores registrados no tienen diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cuanto a la concentración de carotenos, obteniendo valores promedio de 164.26 mg/100 g lo que demostró un efecto positivo de los carotenos a través de los días de almacenamiento. Los tratamientos a base de ceras, como la de abeja y candelilla mostraron un efecto campana, la cual en el estadio amarillo no se obtuvieron resultados positivos como protectores ante la oxidación de la pro vitamina A, mostrando en los días 4 y 12 valores más bajos para la cera de candelilla, correspondientes a 128.5 y 126.3 mg/100 g respectivamente y la mayor concentración en el día 8, de 168.12 mg/100 g y para un



recubrimiento a partir de cera de abeja se obtuvieron valores más bajos los días 0 y 12 de 83.4 y 104.8 mg/100 g, así la mayor concentración fue el día 8 sin diferencia significativa respecto al lavado con fungicida y cera candelilla de 164.18 mg/100 g. De los resultados se observó que el estadio (verde y amarillo) fueron afectados significativamente ($p \leq 0.05$) los cambios en el contenido de carotenoides del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos a base de ceras favorecieron significativamente manteniendo la estabilidad de los carotenos ante la fácil oxidación de estos, cuando fueron aplicados en los chiles verdes almacenados en refrigeración.

▪ *Vitamina C*

El análisis de vitamina C (ácido ascórbico) en el chile manzano se presenta en la Figura 39, sin embargo para el estadio verde como se muestra en la Figura 39 (A) el lote control presentó valores de 32.68 mg/100 g, después se incrementó a 53.09 mg/100 g el día 16 de almacenamiento, pero al final disminuyó a 13.66 mg/100 g; mientras que los lotes de tratamiento químico (fungicida) y cera de abeja al inicio tuvieron de 18.92 y 20.04 mg/100 g, y al final de 10.11 y 21.04 mg/100 g, respectivamente, sin embargo su concentración máxima fue el día 20 con 42.78 mg/100 g para el lote de tratamiento químico y para el día 4 con 34.62 mg/100 g para el de cera de abeja. El lote de cera de candelilla tuvo un comportamiento distinto, ya que al inicio tuvo un valor de 25.83 mg/100 g y su máxima concentración fue de 47.60 mg/100g el último día de almacenamiento.

En el estadio verde Figura 39 (A), se tuvo mayor contenido de vitamina C en el lote control que en los otros tratamientos los días 0, 8 y 16 de almacenamiento, el tratamiento de fungicida, teniendo éstos lotes un comportamiento similar mostrando al día 24 de almacenamiento que no existe diferencia significativa con respecto al control con valores de 10.11 y 13.66 mg/100 g, respectivamente, pero con la diferencia que el pico máximo de concentración de vitamina se evidenció al día 16 para el lote control y el día 20 para el tratamiento químico (fungicida).

Sin embargo, para los lotes de ceras de candelilla y de abeja se obtuvieron valores al final del almacenamiento de 47.06 y 21.04 mg/100 g, respectivamente, resultando entonces una



mayor concentración que los lotes control y fungicida, obteniéndose que las ceras por su naturaleza lipofílica conservó la concentración de vitamina C de los chiles manzanos con dichos recubrimientos.

De tal manera en el estadio amarillo, como se ha mencionado, presentó una infección fúngica, por lo que se tuvo una disminución de su vida de anaquel (Tabla 20); aunque se tuvieron concentraciones ligeramente mayores al estadio verde como se muestra en la Figura 39 (B), pero con diferencia entre los tratamientos, teniendo como resultado que los chiles con recubrimiento de cera de candelilla y el de cera de abeja presentaron una máxima concentración el día 8 de almacenamiento, con datos de 55.75 y 44.17 mg/100 g respectivamente, mientras que el lote de fungicida resultó ser el día 12 con 37.53 mg ácido ascórbico/100 g, y finalmente el lote control tuvo su mayor concentración al inicio del experimento con 30.55 mg/100 g disminuyendo ligeramente al final del almacenamiento.

De acuerdo al análisis estadístico se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto a tratamientos y estadios de madurez, causada por la variación de los valores obtenidos de concentración de vitamina C que fue mayor en el estadio amarillo y por las variaciones de los tratamientos representadas por fluctuaciones en los valores.

Los autores Osuna-García *et al.* (1998) reportaron que en tres variedades de *Capsicum* a los 40 días después del florecimiento presentaron un promedio de 46 mg/100 g de peso fresco mientras que a los 65 días se presentó un aumento hasta de 243 mg ácido ascórbico/100 g de peso fresco; esto justificó el comportamiento del chile manzano en sus dos estadios de madurez, en los cuales hubo esta concentración a los primeros días.

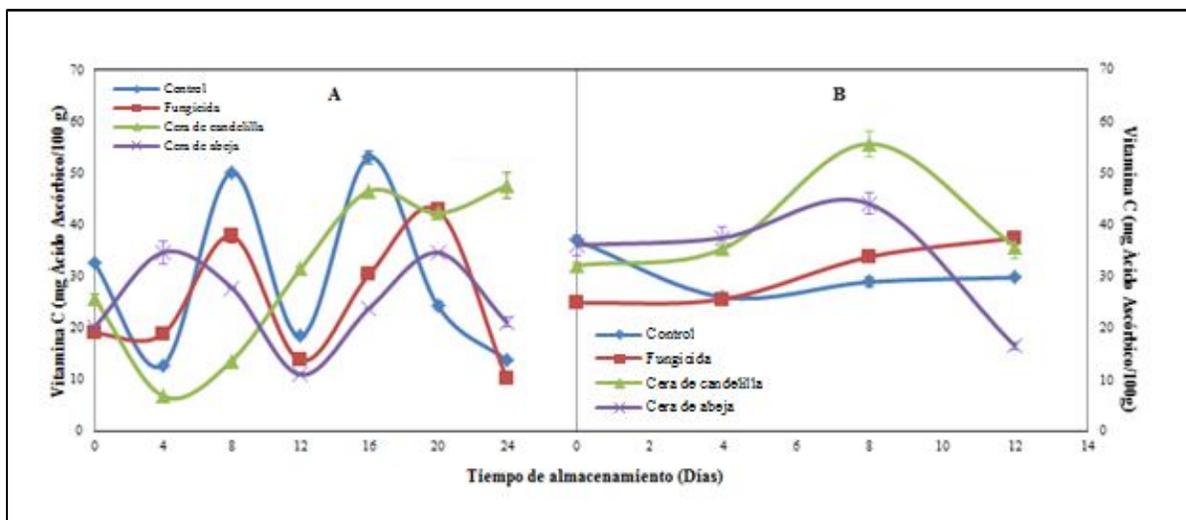


Figura 39. Efecto de tratamientos químicos y ceras en vitamina C de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

En la comparación de los tratamientos en cuanto a su efectividad, resultó ser el tratamiento de recubrimiento de cera de candelilla para los dos estadíos de madurez; debido a que se registraron contenidos de vitamina C mayores y más estables, aumentando su vida útil y su calidad conforme al aporte nutritivo del chile manzano. Sin embargo, no es evidente una tendencia clara con respecto al contenido de vitamina C en el tiempo de almacenamiento de los chiles manzanos ni el efecto de los tratamientos en la preservación de este parámetro.

▪ *Respiración*

Los valores obtenidos de respiración para el estadío verde presentaron un comportamiento constante en la mayoría de los tratamientos, con excepción del lote control, ya que como se observa en la Figura 40 (A), éste presentó los valores más altos en los días 11 y 13 de almacenamiento, sin embargo existió una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, ya que se tuvieron valores distintos en cada uno de éstos, mostrándose desde un inicio los valores más altos en el recubrimiento de cera de canelilla y los más bajos en el recubrimiento de cera de abeja, teniéndose una menor respiración en el control que en los demás al final del almacenamiento.

En cuanto al estadío amarillo presentado en la Figura 40 (B), el recubrimiento de cera de abeja presentó mayor respiración los días 1 y 6, mientras que los demás tratamientos y el control presentaron fluctuaciones durante los días, teniendo en este último una menor



respiración (30.6 mgCO₂/kgh) al último día de almacenamiento; aunado a esto estadísticamente hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los valores de respiración debido a las variaciones entre tratamientos en dicho estadio.

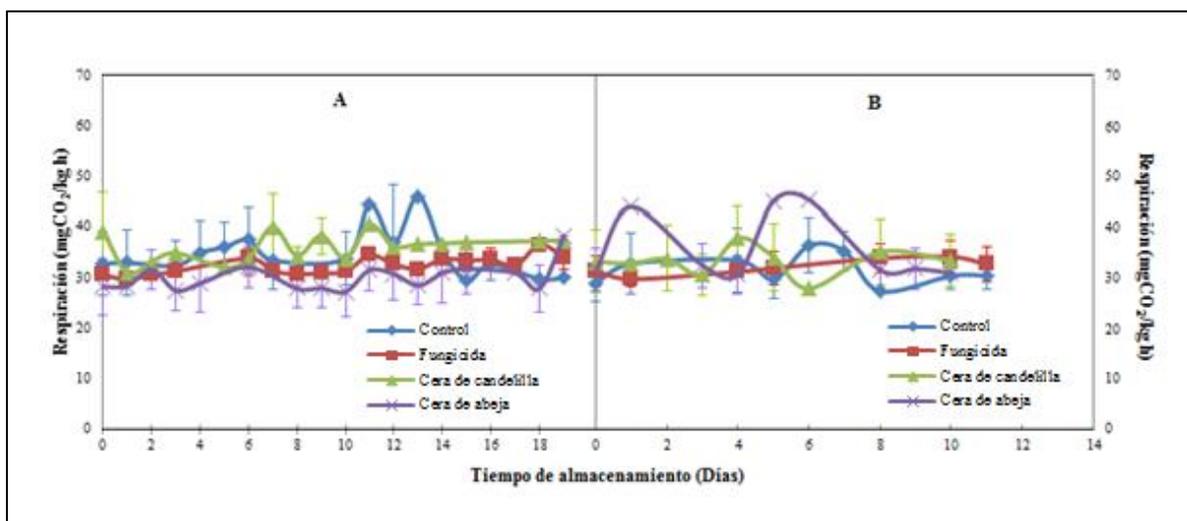


Figura 40. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la respiración de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Finalmente se concluyó que entre tratamientos de cada estadio hubo diferencias en su comportamiento inicial y final, además de que la respiración varía según el estadio de madurez, ya que en el estadio verde se tuvo un inicial de 33.4 mgCO₂/kg h y final de 34.1 mgCO₂/kg h, mientras que para el estadio amarillo de 36.6 mgCO₂/kg h a 31.8 mgCO₂/kg h (Figura 40 A y B).

En un estudio realizado por Angueira *et al.* (2003) encontraron que para frutos del género *Capsicum annum* se tenía una tasa de respiración en el intervalo de 24.6 al inicio y de 56.2 mgCO₂/kg h al final del almacenamiento a 10°C durante 2 a 2.5 semanas. Dicho intervalo correspondió a los valores obtenidos al inicio en el presente proyecto, sin embargo en el caso del chile manzano al final del experimento se presentó una respiración constante con un leve descenso durante el almacenamiento.

▪ **Luminosidad**

Los resultados de luminosidad se presentan en la Figura 41 (A), donde los valores para los chiles manzanos verdes fueron bajos en un inicio ($L = 28.50$), pero estos fueron aumentando



conforme los días de almacenamiento hasta llegar a valores en promedio de $L=41$, ya que su coloración se fue tornando amarilla, obteniendo una tendencia creciente. Vázquez *et al.* (2007) destacaron que en un estudio de calidad y vida de anaquel de chile habanero con respecto al color, fue que los frutos cosechados en estadio de madurez fisiológica (verdes), no alcanzaron las tonalidades de los frutos maduros y los frutos cosechados en madurez intermedia (rayados) si alcanzaron las tonalidades de los frutos cosechados en madurez de consumo (maduros), pero no llegaron a tener intensidad de color que distinguió a los frutos cosechados en madurez total (amarillo).

La diferencia en los niveles de luminosidad de cada tratamiento se debió a que en un inicio se tuvieron valores similares, sin embargo conforme el tiempo de almacenamiento la coloración de los lotes de cada tratamiento fueron aumentando en diferente proporción en el recubrimiento como es el caso de cera de abeja que tuvo mayor luminosidad comparado con el control y los demás tratamientos como se observa en el lote de recubrimiento de cera de abeja a partir del día 8 un aumento en su luminosidad manteniéndose constante al día 20 con un cambio de luminosidad del 5.64%, mientras que los lotes de fungicida y candelilla presentaron un aumento en los niveles de luminosidad presentando un 18.28% mostrando una tendencia en aumento.

En el caso del estadio amarillo se presentaron valores de luminosidad mayores que en el verde debido a que como se presenta en el diagrama de cromaticidad, el color amarillo emite mayor luz que en el verde, pero conforme el tiempo de almacenamiento se fue presentando un cambio de color en la epidermis de los chiles, cambiando a color anaranjado y dicho cambio se observó a partir del segundo día (ver Tabla 20). Conforme a la Figura 41 (B), se tiene una tendencia decreciente pero sin gran diferencia entre el inicio y el final en los tratamientos y el control con valores al inicio de $L= 45.7$ y al final de $L= 42.39$ con una disminución del 7.24% en su luminosidad.

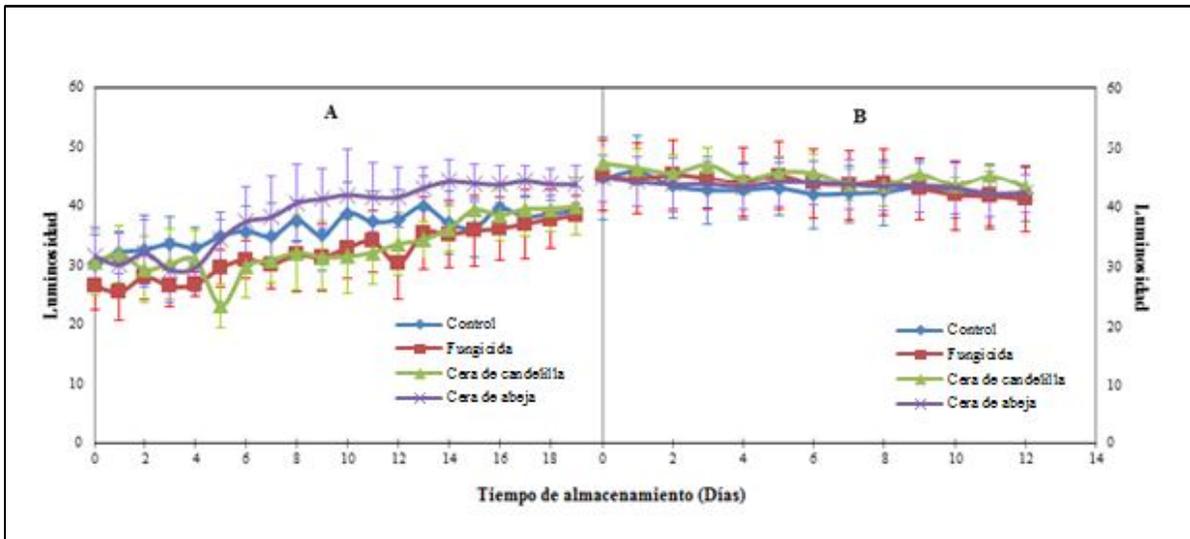


Figura 41. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la luminosidad de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

De acuerdo al análisis estadístico en los tratamientos no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cada uno de los estadios, ya que se obtuvo un comportamiento similar al control. Sin embargo, se presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre estadios de madurez, ya que en amarillo todos los tratamientos fueron similares al control, pero en el verde el recubrimiento de cera de abeja favoreció el cambio de coloración en éste estadio, dicho aumento en los valores de luminosidad se observaron a partir del día 8 de almacenamiento a diferencia de los demás tratamientos.

▪ *Pérdida de Peso*

En el parámetro de pérdida de peso de los chiles manzanos en sus dos estadios de madurez, se observó que se tuvo un aumento conforme los días de almacenamiento teniendo entonces para el estadio verde (Figura 42 A) una diferencia entre los tratamientos, donde el control tuvo mayor pérdida de peso al inicio y al final del experimento (0.44 a 13.14%), mientras que la menor pérdida al final resultó ser el recubrimiento de cera de candelilla (8%).

Sin embargo estadísticamente no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cuanto a los tratamientos de cera de abeja, fungicida y control de 12.48% al final de pérdida de peso.

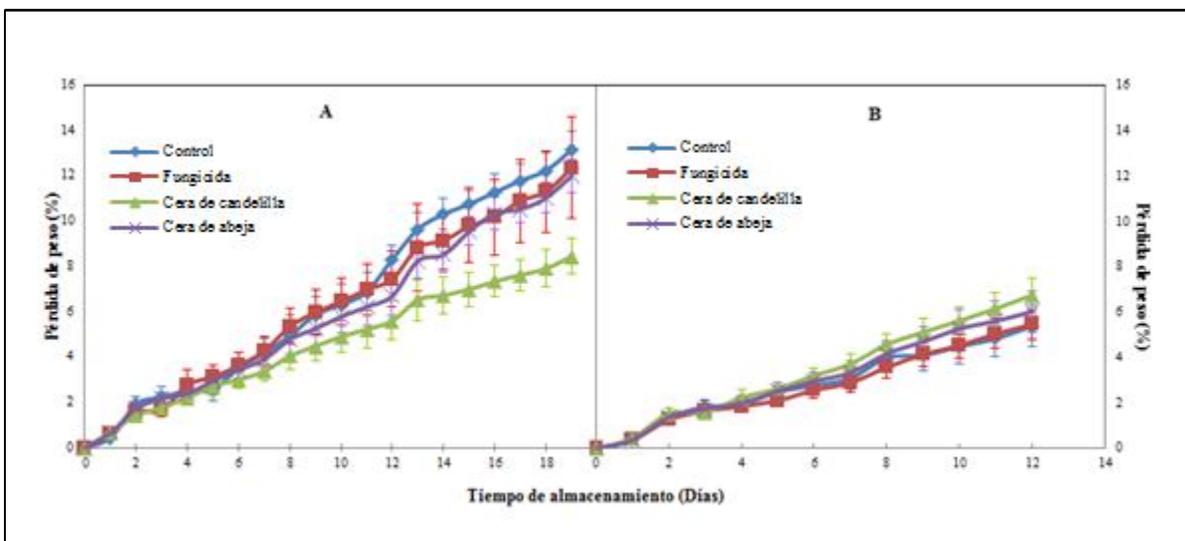


Figura 42. Efecto de tratamientos químicos y ceras en la pérdida de peso de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenado a 8°C.

De acuerdo al estadío amarillo (Figura 42 B) no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos, teniendo valores de pérdida final de 5.91%, donde a partir del día 8 de almacenamiento se desecharon chiles manzanos amarillos, ya que existieron leves daños mecánicos en éstos, tal como se observa en la Tabla 20; teniendo un valor hasta este día del 3.26% de pérdida de peso donde comparándose con el estadío verde en dicho día fue de 3.9% (Figura 42 B) sin diferencia significativa.

Además se observó que el lote control y fungicida tuvieron menor pérdida de peso comparado con los demás tratamientos con un valor de 5.42% en comparación a ceras de candelilla y abeja de 6.39%.

De los resultados se observó que el estadío de madurez (verde y amarillo) no afectó la pérdida de peso del chile manzano, mientras que en la cera de candelilla se obtuvo una menor pérdida de peso en comparación a los demás tratamientos y el lote control, ya que afectaron significativamente su pérdida de peso, durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano.



Tabla 20. Efecto en el color de la aplicación de tratamientos químicos y ceras sobre chile manzano en sus estadíos de madurez.

Tiempo de almacenamiento	Tratamiento			
	Control	Fungicida	Cera de candelilla	Cera de abeja
Día 0				
Día 4				
Día 8				
Día 12				



Continuación. Tabla 20. Efecto en el color de la aplicación de tratamientos químicos y ceras sobre chile manzano en sus estadios de madurez.

Día 16				
Día 20				
Día 24				

4.4. Efecto de la irradiación gamma sobre los parámetros de calidad, fisiológicos y nutricionales del chile manzano en dos estadios de madurez

- *Acidez*

En la Figura 43 (A) para el lote de chiles estadio verde, almacenados a 8°C por 20 días sin tratamiento de irradiación, se observó que al día cero de almacenamiento se obtuvieron valores de 0.038% de acidez y alcanzó un máximo de 0.060% al décimo día para después disminuir al final del almacenamiento hasta valores de 0.040%. Este comportamiento pudo haber sucedido debido a alguna interferencia como las condiciones de almacenamiento y preparación de la muestra, las cuales se tenían que sacar de un ambiente refrigerado de 8°C, motivo de estrés en la actividad metabólica y como consecuencia de un valor elevado de acidez. Se puede decir que en cuanto al contenido de acidez se refiere, este permaneció con los valores en el día cero y al 20 de almacenamiento correspondientes a 0.040 %.

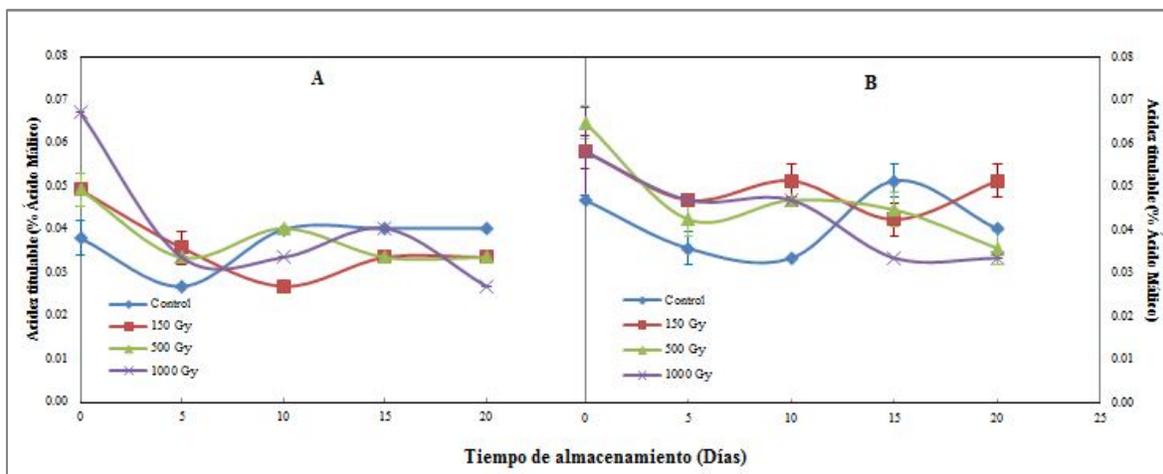


Figura 43. Efecto de irradiación en la acidez de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Sin embargo, en los chiles verdes tratados a distintas dosis de irradiación (150, 500 y 1000 Gy), mostraron una disminución de los ácidos orgánicos en comparación al lote control a partir del día 5 con diferencias significativas ($p \leq 0.05$). En donde a 150 y 500 Gy se tuvieron valores en promedio de 0.049% de acidez al día cero de almacenamiento y de 0.034 % como valores constantes a partir de los días 5, 10, 15 y 20 sin encontrarse diferencia significativas entre estos días ($p \geq 0.05$), mientras que a una dosis de 1000 Gy se obtuvieron valores de 0.067% de acidez al día cero y de 0.036 % en promedio de los días 5, 10, 15 y de 0.027 % en el día 20 de almacenamiento, mostrando valores más altos en el día cero respecto al control y a las tres dosis de irradiación, esto debido a que los carbohidratos en sistemas acuosos reaccionan principalmente con los radicales hidroxilos para formar cetona, aldehídos o ácidos como productos finales; otra posible reacción es la desoxigenación.

En presencia de oxígeno, la formación de productos desoxi disminuye, mientras que los azúcares, ácidos y cetonas aumenta (Peña, 2008), además se obtuvieron valores ligeramente más bajos que el grupo control a partir del quinto día hasta el día 20, esto debido a que la formación de ácidos orgánicos involucrados en procesos metabólicos a nivel estructural es interrumpida por un estrés debido a la aplicación de radiación gamma al interior de las células, éste comportamiento fue observado a partir del día 10 en adelante, así mismo se observó que entre las tres dosis de irradiación fue evidente que si existió diferencia significativa entre tratamientos, en donde a dosis altas se observaron fluctuaciones en



cuanto a la acidez, esto tendría su explicación, ya que debido a que el chile tiene dentro su composición química glucosa, fructosa y trazas de sacarosa; existe una pequeña formación de ácidos volátiles por efecto de la irradiación sobre estos azúcares. Esta fluctuación también sería por la formación de α - D- glucosa formado a partir de la glucosa y fructosa (Linares, 1990).

En el estadio amarillo Figura 43 (B) es notorio que los tratamientos por irradiación también tuvieron un efecto en el contenido de acidez respecto al lote control, lo que se puede evidenciar como un aumento en el contenido de acidez desde el inicio del almacenamiento hasta el día 10 con valores de 0.060% en las tres dosis estudiadas y de 0.047% correspondiente al control en el día cero y que disminuyeron los valores hasta una tendencia constante a través de los días de almacenamiento con un contenido de 0.035 % a una dosis de 500 y 1000 Gy sin encontrarse diferencia significativas ($p \geq 0.05$) entre estas, mientras que a una dosis de 150 Gy se obtuvieron valores al día 20 de 0.051 %, lo cual es notorio a partir del estadístico una diferencia significativa ($p \leq 0.05$), y con una disminución en el contenido de acidez a lo largo del almacenamiento del 27%. El lote control incrementó su contenido de acidez en el día 15 por encima de los tratamientos irradiados hasta alcanzar valores de 0.051% y posteriormente disminuyó el día 20 a un valor de 0.040% sin encontrarse diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre estadios.

De los resultados se observó que el estadio (verde y amarillo) no tuvo efecto por la irradiación pero los diferentes tratamientos si afectaron la acidez durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, encontrándose que al final a dosis medias y altas de irradiación provocaron una disminución de acidez en los chiles, comparados con las dosis bajas y los chiles sin tratamiento.

▪ *Sólidos Solubles*

Cuando una solución acuosa es irradiada se producen cambios químicos tanto en las moléculas solventes como en las del soluto. Estas últimas pueden cambiar por acción directa o indirecta de los radicales libres producidos en el solvente. Los radicales H^+ y OH^+ pueden atacar las moléculas orgánicas y convertirlas en radicales libres (Durand, 2000).



En la Figura 44 (A) se observa que una dosis de 500 Gy en estadio verde, se obtuvieron valores a través del almacenamiento semejantes a los obtenidos en el grupo control, sin encontrar diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en donde va incrementando la concentración de sólidos solubles a través de los días de almacenamiento, sin causar efecto en la concentración de estos en el orden que van desde 6.3 °Brix en los primeros días de almacenamiento hasta alcanzar 8.0 °Brix al finalizar por 20 días continuos a una temperatura de 8°C. A una dosis de 1000 Gy se presentaron valores casi constantes a través del almacenamiento con un valor de 7 °Brix sin fluctuaciones causadas por dosis altas de irradiación. A dosis de 150 Gy se observó que al final del almacenamiento existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) respecto al grupo control y demás tratamientos obteniendo valores de 9.1 °Brix al día 20.

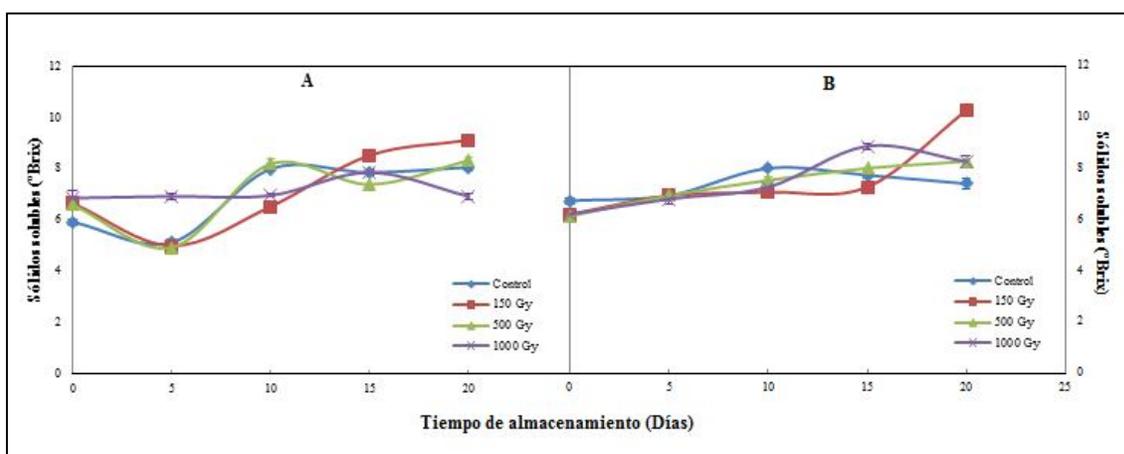


Figura 44. Efecto de irradiación en los sólidos solubles de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C

En la Figura 44 (B) en el estadio amarillo, también existieron efectos como respuesta a la irradiación a las distintas dosis estudiadas. Del mismo modo que el estadio verde presentaron el mismo comportamiento en aumento a la síntesis de azúcares, en donde a lo largo de los días de almacenamiento tanto los grupos control como los tratamientos de irradiación mostraron en los primeros días valores que oscilaron entre los 6.3 °Brix al igual que el estadio verde sin encontrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$), y que alcanzaron el máximo contenido en sólidos solubles hasta finalizar el almacenamiento al día 20 con 8.2 °Brix para los tratamientos de dosis medias y altas sin encontrarse diferencia significativas entre ellas ($p \geq 0.05$), al igual que el estadio verde, mientras que a una dosis baja se



obtuvieron valores por encima de los demás tratamientos alcanzando lecturas de 10.2 °Brix al final del almacenamiento. Este comportamiento presentado en ambos estadíos a dosis bajas se debió a que la irradiación tiende a formar ácido derivado de los azúcares y de los ceto- azúcares. Esto se debe a la formación de radicales peroxi-glucosídicos.

Un aumento en los azúcares reductores, como se observó a partir de la segunda semana, podría ser debido a que se presenta el mismo efecto tanto en los disacáridos como en los polisacáridos, pero en forma más lenta, porque primero existe el rompimiento de los enlaces glucosídicos, lo cual trae como consecuencia la formación de grupos reductores, formándose en algunos casos glucosa, maltosa, fructosa (Linares, 1990).

De los resultados se observó que el estadío de madurez (verde y amarillo) no afectó significativamente los cambios en el contenido de sólidos solubles del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos por irradiación afectaron significativamente su contenido durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, encontrándose al final que las dosis de 150 Gy permitieron alcanzar mayor contenido de sólidos solubles en los chiles para ambos estadíos.

▪ *pH*

El efecto de la irradiación sobre el pH de los chile manzanos fue casi nulo, los cambios se deben mayormente al proceso de maduración, por lo que las variaciones de pH obtenidos en la presente investigación se consideraron aceptables. Los valores obtenidos de pH se encuentran entre 5 y 6 para los dos estadíos, Ojeda (2003) menciona que el rango de pH óptimo del pimiento es de 5 a 5.7, en función de la variedad, suelo, etc., los resultados en esta investigación se encontraron dentro de los valores mencionados.

En el estadío verde Figura 45 (A) se obtuvieron valores al día cero de almacenamiento de 5.27 donde no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los diferentes tratamientos respecto al control, el contenido de iones hidroxilo aumentó conforme transcurrieron los días hasta alcanzar valores constantes del lote control para el estadío verde de 5.5 mientras que los tratamientos a dosis de irradiación medias y altas mostraron valores de 5.7, sin embargo a dosis bajas de irradiación se evidenció un aumentó en cuanto



al contenido de pH respecto al grupo control con valores al último día de almacenamiento correspondiente a 6.0.

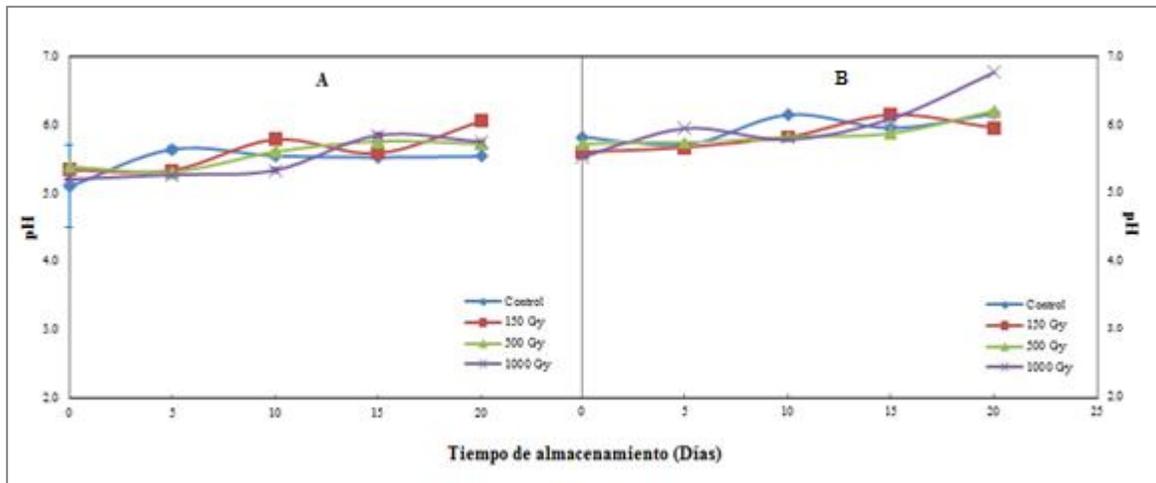


Figura 45. Efecto de irradiación en el pH de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C

En el estadio amarillo Figura 45 (B) no se encontró diferencias significativas entre el grupo control y los tratamientos de irradiación obteniendo valores de 5.7 al día cero, y fue aumentando su valor durante el almacenamiento; este comportamiento se debe a la degradación natural de los ácidos orgánicos de predominancia (Ac. málico) y al desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas como proceso natural de madurez fisiológica del fruto, donde se encontraron valores al día 20 de almacenamiento de 6.0 sin existir diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre el grupo control y dosis bajas y medias, mientras que a dosis altas se evidenció un aumento al último día de almacenamiento con valores de 6.7 con diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

De los resultados se observó que el estadio (verde y amarillo) no afectó significativamente los cambios en el contenido de pH del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos por irradiación afectaron significativamente su contenido durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, presentando en el estadio verde una diferencia significativa a dosis bajas mientras que en el amarillo a dosis altas de irradiación.



- ***Firmeza***

Los vegetales sobre maduros se tornan fibrosos y blandos debido a la solubilización de las pectinas en sus estructuras celulares dando por resultado una fácil separación de las células y una degradación de tejidos debido a algunas enzimas homolíticas presentes en la maduración, además la forma y tamaño de las células influyen en la firmeza. Los polisacáridos como la hemicelulosa y la lignina, al ser sometidos a una irradiación, pueden sufrir alteraciones debido al ataque de los radicales OH. También los electrones solvatados (e^-_{aq}), y los átomos de hidrógeno H^+ , ejercen su influencia pero en menor magnitud (Linares, 1990).

Los radicales OH substraen preferentemente átomos de hidrógeno de los enlaces C- H, para formar agua. Los radicales resultantes C, reaccionan subsecuentemente, ya sea por diporcionamiento, por dimerización, por deshidratación, o ya sea por desdoblamiento beta, para formar compuestos estables. Tanto los disacáridos como los polisacáridos, al ser irradiados sufren más o menos el mismo efecto, pero en forma más lenta porque primero el efecto más importante es el rompimiento de los enlaces glucosídicos, los cuales unen los monosacáridos para formar la cadena (Linares, 1990).

En la figura 46 (A y B) y de acuerdo al tratamiento estadístico se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los estadios. En la Figura 46 (A) se observa, que los chiles tratados a distintas dosis de irradiación a una temperatura de almacenamiento de $8^\circ C$ mostraron valores muy semejantes sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre las dosis de irradiación en estadio verde, respecto al control, arrojando valores constantes hasta el día 15 de 5.4 kgf/cm^2 que decrece hasta el día 20 para todos los tratamientos del estadio verde obteniendo valores de 4.0 kgf/cm^2 con una pérdida de firmeza del 26 %. Es la firmeza uno de los principal aspectos de este fruto, la fibrosidad es uno de los factores que más influyen en el consumidor, este estadio de madurez en cuanto a contenido de lignina es mayor debido al consabido consumo de azúcares reductores. Esta cantidad de fibra presente es una indicación del grado de dureza del chile en este estadio de desarrollo, por su parte la lignina y la hemicelulosa ejercieron una protección contra la irradiación.

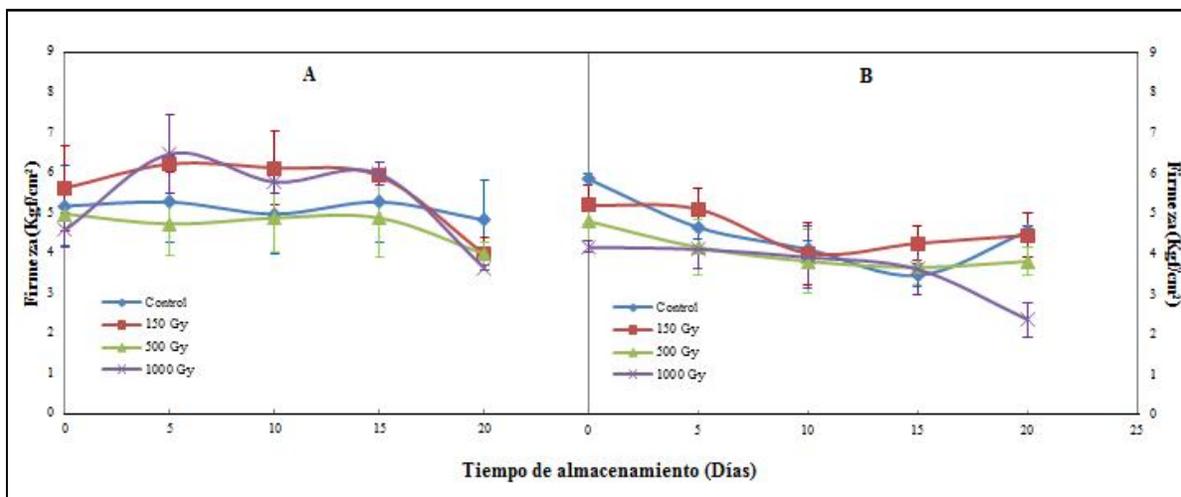


Figura 46. Efecto de irradiación en la firmeza de chile manzano en dos estadíos de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C

El estadío amarillo, de acuerdo a su estado de desarrollo, mostró un comportamiento distinto al verde, para el lote de chiles manzanos almacenados a 8°C por 20 días, se observó que conforme aumentó la dosis de irradiación, disminuyó la firmeza del fruto, presentando diferencia significativa respecto al control Figura 46 (B). Los chiles que pertenecen al grupo control presentaron valores al inicio del almacenamiento de 5.86 kgf/cm², mientras que a las distintas dosis de 150, 500 y 1000 Gy obtuvieron lecturas de 5.17, 4.8 y 4.14 kgf/cm² respectivamente, al inicio del almacenamiento y los posteriores días mostraron lecturas constantes hasta el día último de almacenamiento correspondiente al día 20 en donde el grupo control mostró lecturas de 4.19 kgf/cm² y de 4.25, 3.84 y 3.32 kgf/cm² a dosis de 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente.

El comportamiento natural de la pérdida de firmeza incrementó, siendo de esta manera el estadío amarillo el que mostró menores valores de firmeza, evidencia que este estadío en cuanto a su madurez fisiológica presentó una fuerza de penetración menor que se traduce en un tejido más blando en comparación al estadío verde.

Se observa también en la Figura 46 (A y B) que a través de los días de almacenamiento a 8°C desde el día cero hasta el día 20 se presentó un comportamiento similar en ambos estadíos, presentándose disminución en la firmeza.



De los resultados se observó que el estadio (verde y amarillo) si afectó significativamente los cambios en la firmeza del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos por irradiación afectaron significativamente su cambio durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, encontrándose al final que las dosis altas provocaron una mayor pérdida de firmeza en los chiles para ambos estadios, encontrándose un mayor efecto en los chiles amarillos.

▪ *Carotenos*

Debido a las diferentes estructuras moleculares de las vitaminas, la radiosensibilidad es diferente para cada tipo de vitamina y por consiguiente los productos radiolíticos son muy variados. En general, las vitaminas son bastantes sensibles a la acción de las radiaciones, como lo son al calor. Las vitaminas A₁ y A₂ ambas con estructuras carotenoideas son radiosensibles principalmente en los dobles enlaces de la cadena lateral, la cual se efectuará por acción del O₂ y del H₂O₂, aunque también los radicales OH ejercen su acción radiolítica, sobre todo si el fruto tiene un alto contenido de agua como es el chile manzano (Linares, 1990).

En la aplicación de un tratamiento con irradiación en chiles manzanos en dos estadios de madurez verde y amarillo, y almacenados a 8° C, se encontró el siguiente comportamiento en el contenido de carotenos a través de su almacenamiento (Figura 47). En el estadio verde Figura 47 (A) se obtuvo una tendencia constante a través de los días de almacenamiento sin variaciones en la concentración de carotenos obteniendo así valores promedio de 150.3 mg/100 g en el grupo control. En la Figura 47 (B) se muestra en el estadio amarillo control un comportamiento el cual se observó un aumento de 107.5 mg/100g al inicio, hasta alcanzar una máxima concentración de carotenos que corresponde al día 10 de almacenamiento con una lectura de 356 mg/100g, evidencia de cambios metabólicos involucrados en el desarrollo del fruto debido a su naturaleza con una coloración amarillo intenso, en contraste a un fruto verde con 150 mg/100g indicativo de un fruto con madurez fisiológica prematura y por tanto pocos cambios metabólicos involucrados en la síntesis de carotenos, y al final del almacenamiento se obtuvieron valores de 254.2 mg/100g. Los chiles tanto verdes como amarillos sin tratamiento de irradiación como se muestra en la



Figura 47 (A y B) al inicio del almacenamiento no mostraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$). Esto es relevante ya que los chiles verde del grupo control presentaron un 60% de coloración amarilla, en los primeros días del almacenamiento hasta el día 10 donde el estadio amarillo mostró una elevación brusca en la concentración de carotenos el cual aumentó un 151 %, mostrando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los dos estadios del grupo control, hasta finalizar el almacenamiento. Los tratamientos con irradiación gamma en el estadio verde Figura 47 (A) mostraron cambios en la concentración de carotenos en donde a una irradiación de 150 y 1000 Gy mostró una tendencia, en donde al día cero se registraron valores de 82 mg/100 g a 150 Gy y 148 mg/100g a 1000 Gy, los carotenos se fueron incrementando hasta un máximo correspondiente al día 15 con valor de 383 mg/100g para 150 Gy, de 337 mg/100 g para 1000 Gy y sin diferencia significativa entre las dosis ($p \geq 0.05$), pero se observó una máxima acumulación de carotenos aumentando su valor respecto al control un 155% a una dosis de 150 y 1000 Gy, encontrando gran diferencia significativa ($p \leq 0.05$) este día respecto al control.

A una dosis media de 500 Gy en el estadio verde se evidenció un aumento conforme los días de almacenamiento Figura 47 (A), en donde es evidente que no existe diferencia significativa entre los valores de carotenos respecto al grupo control hasta el día 15 y que al día 20 se obtuvieron lecturas de 261 mg/100g correspondientes a un incremento del 74% respecto al grupo control encontrando también diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

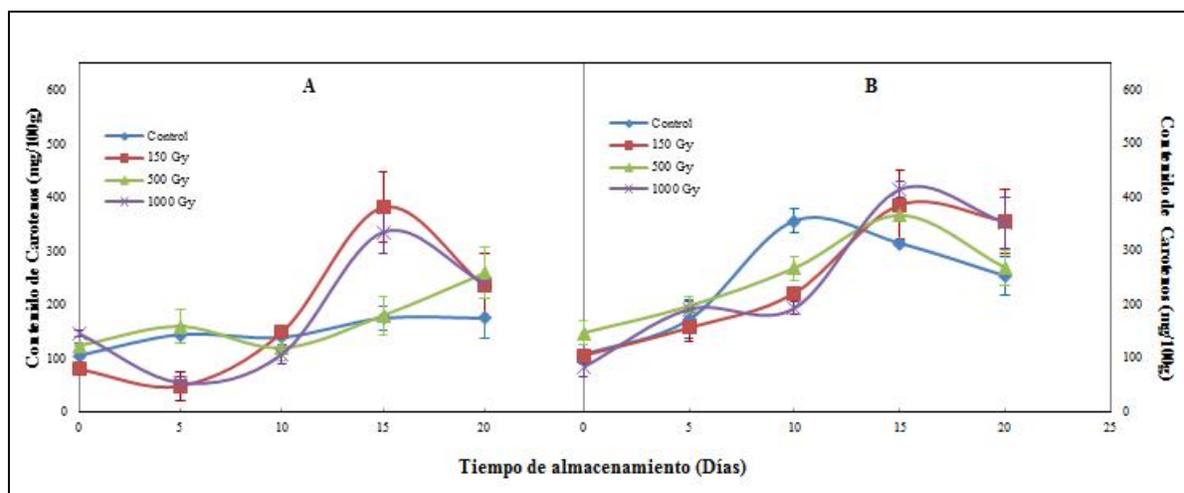


Figura 47. Efecto de irradiación en el contenido de carotenos de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C



Lo que respecta al estadio amarillo con un tratamiento a distintas dosis, en grupos de chiles manzanos almacenados a 8° C con una coloración al 100% amarilla, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la Figura 47 (B), donde a dosis de 150, 500 y 1000 Gy, se obtuvieron tendencias similares sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las distintas dosis, en donde la mínima concentración de carotenos en el día cero corresponde a 106, 148 y 84 mg/100g, a 150, 500 y 1000 Gy respectivamente, seguido de una máxima concentración al día 15 con 386, 366 y 415 mg/100g en las tres dosis respectivas y finalmente se muestra un decremento al día último a 150, 500 y 1000 Gy con 356, 269 y 353 mg/100g respectivamente, mismo comportamiento que se observó en el estadio verde a dosis de 150 y 1000 Gy, sin embargo se observa en la Figura 47 (B) que la concentración máxima de carotenos a las distintas dosis en contraste a la curva control muestra una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en donde la absorción de irradiación en el fruto ocasionó un retraso en la máxima concentración de carotenos, ya que como se menciona anteriormente el grupo control, presentó su máxima concentración el día 10, mientras que a 150, 500 y 1000 Gy se obtuvieron lecturas promedio de 389 mg/100g sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los valores en el día 15, por lo que a una dosis de irradiación baja, media y alta en estadio amarillo del chile manzano produjo un efecto en el retraso en la síntesis de carotenos a través de su desarrollo.

De los resultados se observó que el estadio verde y amarillo no afectaron significativamente los cambios en el contenido de carotenos del chile manzano; mientras que los diferentes tratamientos por irradiación afectaron significativamente su contenido durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, encontrándose al final que los chiles sometidos a los diferentes dosis de irradiación presentaron un mayor contenido de carotenos en los chiles para ambos estadios.

▪ *Vitamina C*

La vitamina C o ácido ascórbico, exhibe un alto grado de sensibilidad a la radiación ionizante, ya que es fácilmente oxidada a ácido dehidroascórbico (Simic, 1983), pero los efectos en alimentos irradiados raramente son pronunciados (Diehl, 1991; Thayer *et al.*, 1991). Por lo que los resultados de concentración de vitamina C teniendo al inicio del



almacenamiento valores para el estadio verde de 10.19, 7.56, 7.44 y 9.19 mg /100 g para los lotes control, 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente, a lo largo del almacenamiento se observaron diferentes cambios encontrándose al final una disminución en el contenido de vitamina C.

La irradiación de vitaminas en solución o en sistemas modelo da como resultado una considerable reducción de estos micronutrientes. Graham y Stevenson (1997) demostraron posteriormente que las patatas irradiadas almacenadas durante 5 meses tienen niveles de vitamina C similares a sus homólogas que no fueron irradiadas, que como se observó en el presente experimento, se cumplió dicho comportamiento en el chile manzano, teniendo que para el estadio verde fue más evidenciado la similitud con el control en la concentración de vitamina C que en el amarillo.

Sin embargo, los picos máximos presentados en la Figura 48 (A) del estadio verde, se obtuvo que los lotes control, 500 y 1000 Gy tuvieron su máxima concentración al día 5 de almacenamiento (12.54, 10.38 y 9.56 mg/100 g, respectivamente) sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre estos, resultando entonces que la dosis de 150 Gy retrasó dicho pico máximo al día 10 con una concentración de 11.78 mg/100 g.

El estadio amarillo presentó mayor contenido de vitamina C que en el estadio verde (Figura 48 B); esto fue debido a la madurez del fruto, presentando mayor aporte nutritivo, teniendo entonces que los lotes control, los lotes irradiados a 150, 500 y 1000 Gy tuvieron concentraciones de 12.27, 17.29, 15.44 y 13.23 mg/100 g, respectivamente. Profundizando en cuanto a las dosis de irradiación se tuvo que la dosis de 150 y 1000 Gy tuvieron su máxima concentración de vitamina C el último día de almacenamiento con valores de 29.89 y 35.89 mg/100 g, respectivamente, sin embargo el lote control fue al día 15 de almacenamiento con una concentración de 20.68 mg/100 g y finalmente fue la dosis de 500 Gy, la cual fue al día 5 de almacenamiento con 26.84 mg/100 g.

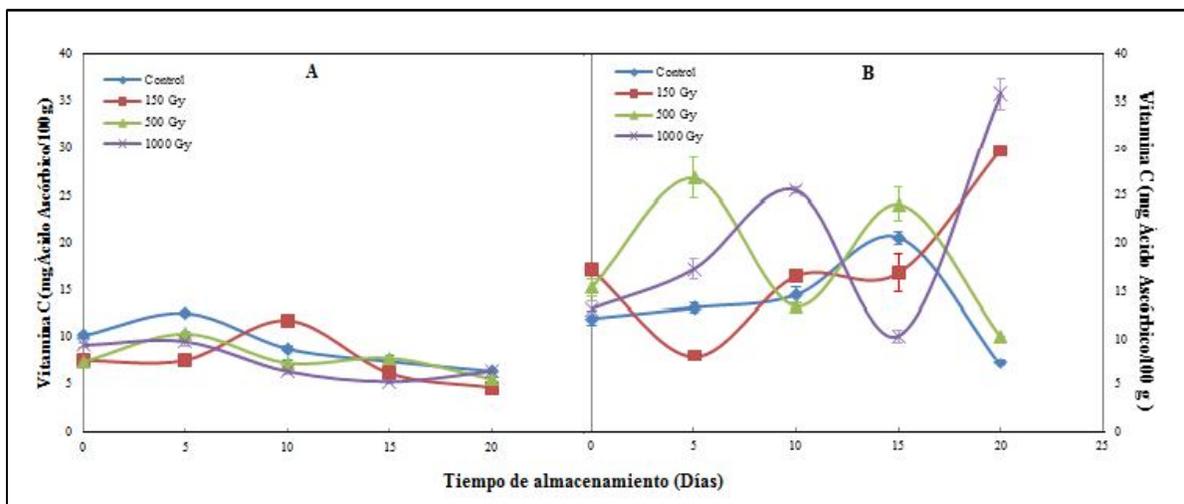


Figura 48. Efecto de irradiación en vitamina C de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C

Los análisis estadísticos mostraron que existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre estadios de madurez y tratamientos de irradiación, esto es evidente por la diferencia en cuanto a la concentración de vitamina C en el estadio verde y amarillo (mayor concentración en estadio amarillo) y de igual manera entre las dosis de irradiación, ya que se tuvieron comportamientos distintos de la concentración de vitamina C en los días de almacenamiento.

Las diferencias en cuanto al efecto de los tratamientos de irradiación sobre el contenido de vitamina C, se debió a que, como la literatura lo menciona, su concentración varía de acuerdo a la temporada de cosecha, tipo de suelos, variedad, calidad de los chiles, estadio de madurez etc., por lo que se han hecho estudios en los que el contenido de vitamina C va aumentando y/o disminuyendo conforme el tiempo de almacenamiento (Osuna-García, 1998) y además influye la cercanía a la senescencia (Wimalasari y Wills, 1983; Nisperos-Carriedos *et al.*, 1992; Howard *et al.*, 1994; Lee *et al.*, 1995). Los distintos niveles o picos de vitamina C en los diferentes estadios de madurez dependen del cultivar, ya que estas diferencias pueden atribuirse a la variación en el contenido de humedad de los frutos. El ácido ascórbico es un compuesto hidrosoluble que se puede esperar que disminuya a medida que los frutos se deshidratan (NRC, 1989).

En general las radiaciones ionizantes no tuvieron un gran efecto sobre el contenido de vitamina C en los dos estadios de madurez, sino que, resultó un comportamiento similar al



lote mantenido como control, teniendo en algunos casos hasta mayor concentración que éstos. Reforzando lo anterior dicha sensibilidad fue estudiada por Loaharanu (1971) en mangos variedad “Okrong” y por Pablo *et al.* (1971) en mango “Carabao” donde ambos estudios demostraron que no se registraban pérdidas significativas de ácido ascórbico en los mangos cuando se les irradió con 60 Gy almacenados en refrigeración y a temperatura ambiente.

Finalmente se puede concluir que la dosis de 150 Gy fue la dosis que retrasó el pico máximo de concentración durante el almacenamiento en los dos estadios de madurez agregando la dosis de 1000 Gy en el estadio amarillo pero sin gran evidencia del efecto de la irradiación en el contenido de vitamina C de los chiles manzanos.

▪ **Respiración**

El principio fundamental del almacenamiento en frío es aprovechar el efecto retardador de la respiración. Asimismo la respiración es un proceso de descomposición y se deben proporcionar los medios para reducirlo al mínimo (Pantástico, 1979), por lo que en la experimentación realizada se almacenó a una Temperatura de 8°C.

Las frutas y vegetales en general mantienen un metabolismo activo aún después de la cosecha. La fotosíntesis se reduce y prácticamente se detiene pero, sin embargo, los procesos de respiración prosiguen activos (Charlie, 2001; Barreiro y Sandoval, 2002). Por consiguiente en el experimento realizado en los dos estadios de madurez de chile manzano y sus distintos tratamientos se cumplió con dicha teoría debido a que se obtuvo éste comportamiento durante el almacenamiento pero presentando un descenso en la actividad respiratoria al final como consecuencia de su periodo hacia la senescencia.

Como se observa en la Figura 49 (A y B), se puede analizar que en general se tiene un comportamiento descendiente en la cantidad de CO₂ producido durante los 20 días de almacenamiento en el caso de los distintos estadios de madurez y en los tratamientos de irradiación. Dicho comportamiento se debió a que los frutos pertenecientes a los no climatéricos, como es el caso del fruto estudiado (chile manzano) presentaron un aumento



de la respiración en la maduración y la intensidad respiratoria fue disminuyendo gradualmente.

Los resultados obtenidos de $\text{mg CO}_2/\text{kg h}$ para los estadios de madurez (verde y amarillo), obtuvieron valores que presentaron un comportamiento descendiente. Los resultados de tasa de respiración para el estadio verde fueron de $18.04 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$ para el lote control y sin respiración para los de dosis de irradiación de 150, 500 y 1000 Gy al inicio del almacenamiento, de igual manera no hubo respiración en ningún lote al final del almacenamiento (Figura 49A), presentando actividad respiratoria el día 5 de almacenamiento la dosis de 1000 Gy ($51.60 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$), 500 Gy ($34.21 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$) y el lote control ($27.96 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$), este aumento se debió al cambio en su temperatura donde fue almacenada.

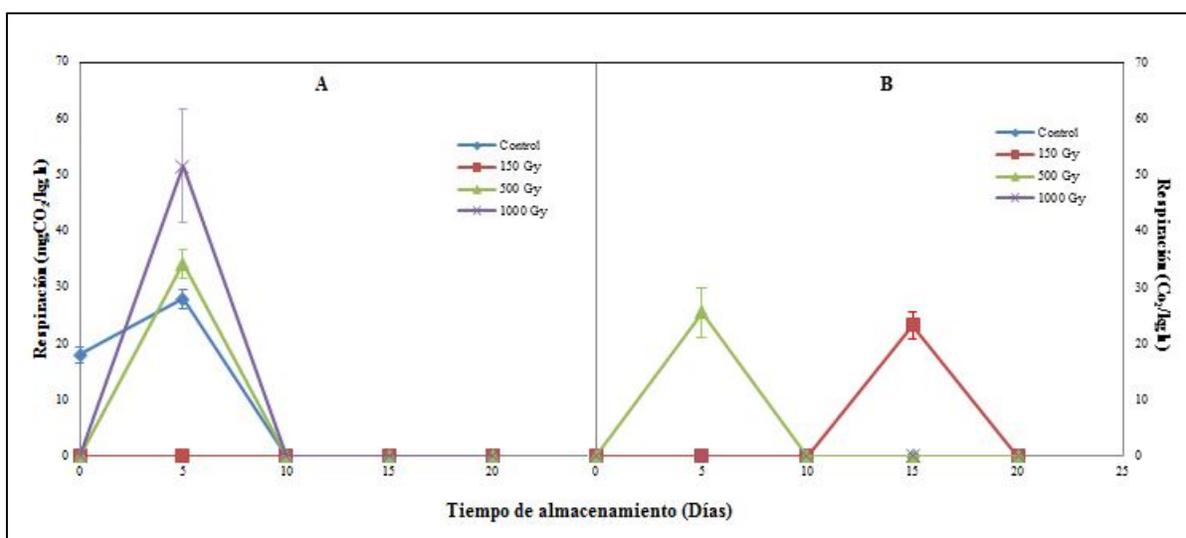


Figura 49. Efecto de irradiación en la respiración de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

El estadio amarillo presentó actividad respiratoria Figura 49 (B) el día 5 de almacenamiento en la dosis de 500 Gy con un valor de $25.64 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$, mientras que el día 15 de almacenamiento fue para la dosis de 150 Gy ($23.39 \text{ mgCO}_2/\text{kg h}$), teniendo entonces que el lote control y de 1000 Gy no presentaron tasa de respiración durante el almacenamiento, los picos obtenidos de respiración fue provocada como una actividad por un cambio en el interior del chile manzano amarillo, ya que como se observa en la Tabla 21 un cambio en su



apariencia provocada por la irradiación que fue manifestada durante el tiempo de almacenamiento.

Comparando los resultados de los distintos tratamientos se presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$), ya que resultaron datos muy distintos en cuanto a la cantidad de CO_2 producido, es decir, los resultados obtenidos en las dosis establecidas de irradiación alteraron la respiración o producción de CO_2 del chile manzano, por consiguiente los valores de respiración altos presentados en el día 5 para el estadio verde, el día 5 y 15 para el estadio amarillo, se debió a que los chiles fueron dañados por heridas mecánicas o por alteraciones debido a las irradiaciones y que conforme el tiempo de almacenamiento dicha respiración fue disminuyendo. Además dicha diferencia significativa se demuestra también en los resultados obtenidos, los cuales en el estadio verde se presentó mayor cantidad de CO_2 que en el estadio amarillo.

Otro punto importante es que el tratamiento irradiación no retrasó la senescencia del chile manzano en el tiempo de almacenamiento, es decir, el comportamiento de los chiles manzanos con las distintas dosis de irradiación comparado con los controles no tuvo un gran beneficio, sino que al contrario, se obtuvieron los valores mayores de producción de CO_2 en los lotes sometidos a irradiación.

▪ *Luminosidad*

Conforme los valores obtenidos en el estudio de la Luminosidad presentados en la Figura 50, se observó que permaneció casi constante en el estadio verde (Figura 50 A), registrándose valores de $L = 44.59$ para los lotes control, 150, 500 y 1000 Gy, sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) al inicio del almacenamiento y con valores al final de $L = 45.21$, presentando entonces un leve aumento en su luminosidad, esto es porque del estadio verde cambió su coloración a amarillo, aunque en algunos tratamientos hubo una leve disminución provocada a que algunos chiles fueron manteniendo su color verde y en el caso de la irradiación de 500 Gy y 1000 Gy, se supone que gracias a la irradiación se provocaron ciertos oscurecimientos en algunas zonas de la epidermis del chile manzano. Sin embargo, la dosis de 500 Gy presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los demás



tratamientos y el control, ya que ésta dosis tuvo un comportamiento contrario teniendo un leve descenso de luminosidad con un valor de $L=42.40$.

En caso específico del estadio amarillo hubo un comportamiento contrario al estadio verde, ya que hubo una disminución de luminosidad conforme al tiempo de almacenamiento, teniendo valores al inicio de $L=50.27$ para control, 150, 500 y 1000 Gy y al final del almacenamiento de $L=43.85$ para los lotes control, 150 y 500 Gy, sin embargo para el lote de 1000 Gy fue de $L=36.02$ se observa entonces que conforme aumenta la dosis de irradiación disminuyó su luminosidad en el caso del estadio amarillo, presentando entonces un descenso en este parámetro, esto fue por un cambio de color amarillo que es un color más luminoso hacia el anaranjado que en este caso disminuyó su intensidad de luz (Figura 50 B). Dichos cambios se observan en la Tabla 21 correspondientes a los lotes establecidos en cuanto al estadio y tratamientos, donde se confirma la justificación aquí presentada.

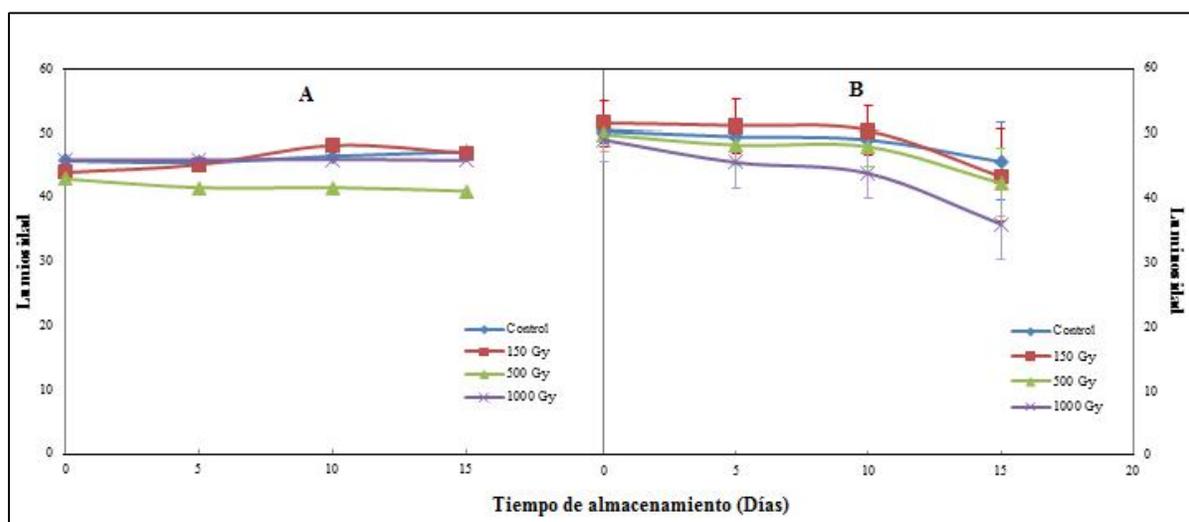


Figura 50. Efecto de irradiación en la luminosidad de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

En consecuencia de los valores obtenidos del estudio realizado se obtuvo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la interacción de las variables, las cuales son los distintos estadios de madurez y los tratamientos de irradiación, ya que existió una variación de luminosidad en cuanto al estadio por el cambio de coloración verde-amarillo y amarillo-anaranjado y la afectación de las dosis de irradiación que, como es el caso de la de 1000 Gy que resultó ser



la que más dañó a los chiles manzanos en su epidermis para el estadio amarillo y teniendo que la dosis de 500 Gy para el estadio verde.

▪ *Índice de Color*

El estudio realizado en cuanto al índice de color que fue presentándose en los chiles manzanos en un tiempo de almacenamiento de 15 días y a una temperatura de 8°C (Figura 51). El índice mostró una tendencia ascendente en los dos estadios de madurez del chile manzano en sus tratamientos de irradiación.

Realizando un análisis particular en cada estadio se presentó el máximo aumento de índice de color al día 15 de almacenamiento con valores de 14.16 para los lotes de control, 150 y 1000 Gy y de 13.57 para el lote de 500 Gy para el estadio verde (Figura 51 A), esta diferencia de color fue provocada debido a que, como se mencionó en el apartado anterior de luminosidad el estadio verde cambió su color hacia un color amarillo presentando este cambio en la Tabla 21 en el tiempo de almacenamiento, encontrándose que la dosis de 150 Gy fue la dosis que benefició el cambio de coloración en el estadio verde, pero la dosis que se comportó similar al control resultó ser la de 1000 Gy, teniendo finalmente que la dosis de 500 Gy no presentó gran diferencia de color en el estadio verde de chile manzano.

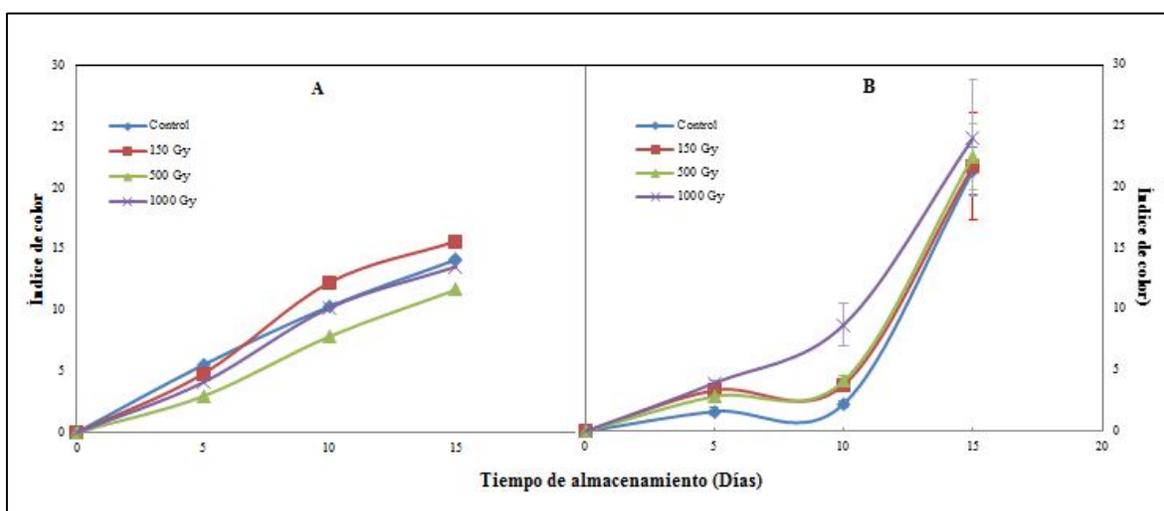


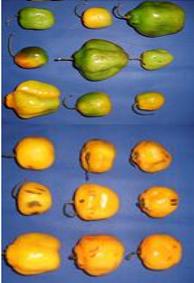
Figura 51. Efecto de irradiación el índice de color de chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.



Mientras que de igual manera en el último día de almacenamiento se presentaron los valores máximos en el estadio amarillo de 22.36 para los lotes control, 150, 500 y 1000 Gy, en donde los datos más altos fueron en el lote establecido de dosis de irradiación de 1000 Gy (23.99) pero sin gran diferencia significativa. Se analizó además de que los datos de índice de color fueron más altos en el estadio amarillo, ya que como se observa en la Figura 51 B y en la Tabla 21, correspondiente a dicho estadio que inicialmente se tenía una coloración amarilla 100% y fueron tornándose anaranjados y/o un color café, el cual este último fue más notorio en la irradiación de 1000 Gy conforme los días.

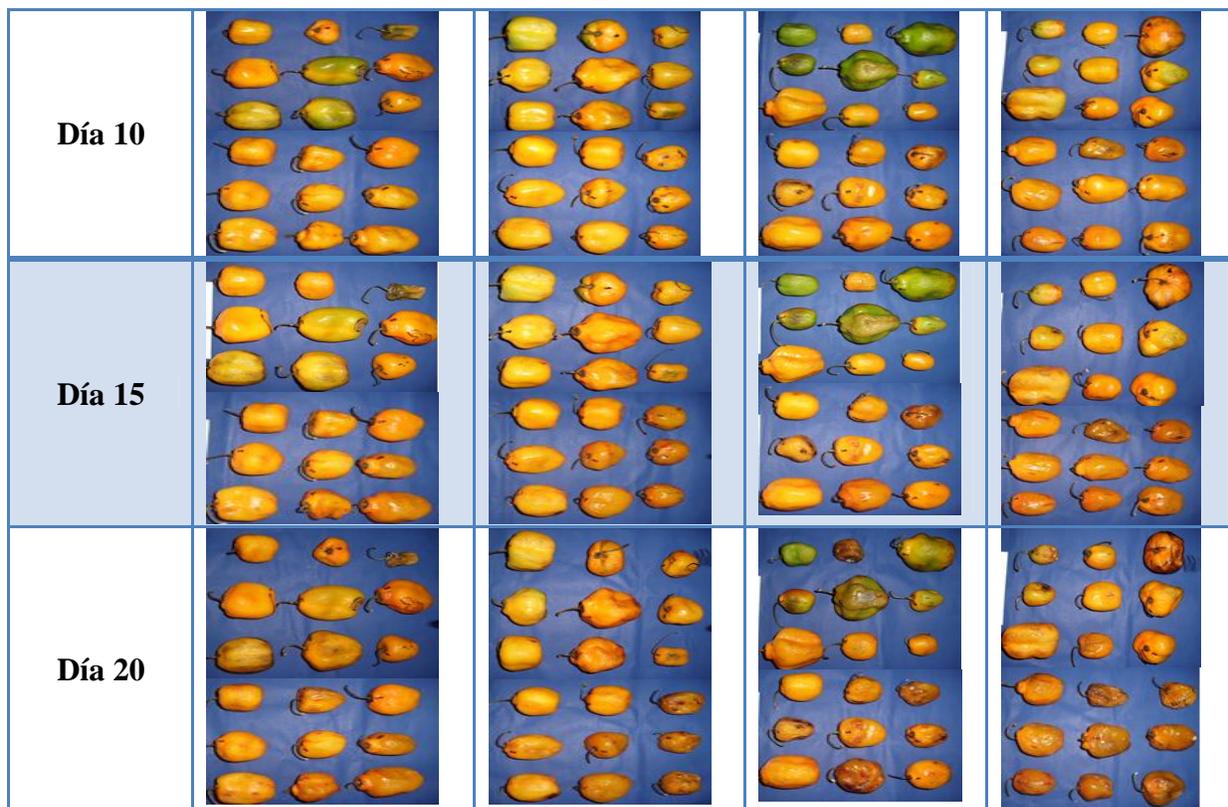
Con respecto a los análisis estadísticos correspondientes se dedujo que existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto al índice de color en los distintos estadios de madurez, en los tratamientos de irradiación se obtuvieron resultados distintos presentando una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en dichas variables.

Tabla 21. Efecto de la aplicación de tratamientos de irradiación sobre chile manzano en dos estadios de madurez.

Tiempo de almacenamiento	Dosis de irradiación			
	Control	150 Gy	500 Gy	1000 Gy
Día 0				
Día 5				



Continuación. Tabla 21. Efecto de la aplicación de tratamientos de irradiación sobre chile manzano en dos estadios de madurez.



▪ *Pérdida de Peso*

En el cultivo de chiles, por ser altamente perecederos, es muy importante evaluar en postcosecha la pérdida de agua por efecto de la transpiración y respiración (Dorantes, 2003), dicha pérdida de agua se ve manifestada por la pérdida de peso evaluada durante los 20 días de almacenamiento en el chile manzano.

De acuerdo a los resultados obtenidos de porcentaje de pérdida de peso en el chile manzano presentados en la Figura 52 (A y B) se tuvo un aumento en cuanto a su pérdida conforme los días de almacenamiento, esto correspondió a la pérdida de humedad presentando cambio en su apariencia y en su textura mostrando una epidermis rugosa, aunado a esto se obtuvo una disminución en el peso del chile manzano en sus dos estadios de madurez correspondientes a sus distintos tratamientos a los que fueron sometidos.



En el caso del estadio verde se tuvo una pérdida de peso en el día 5 de 4.1% sin diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos; aumentando hasta un valor de 19.45% en el día 20 de muestreo para el lote control, donde se tuvo mayor pérdida en los tratamientos de irradiación de 23.32% presentando una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos y el lote control, esto se debió al daño que provocaron las dosis de irradiación a los chiles manzanos en su apariencia (Figura 52 A).

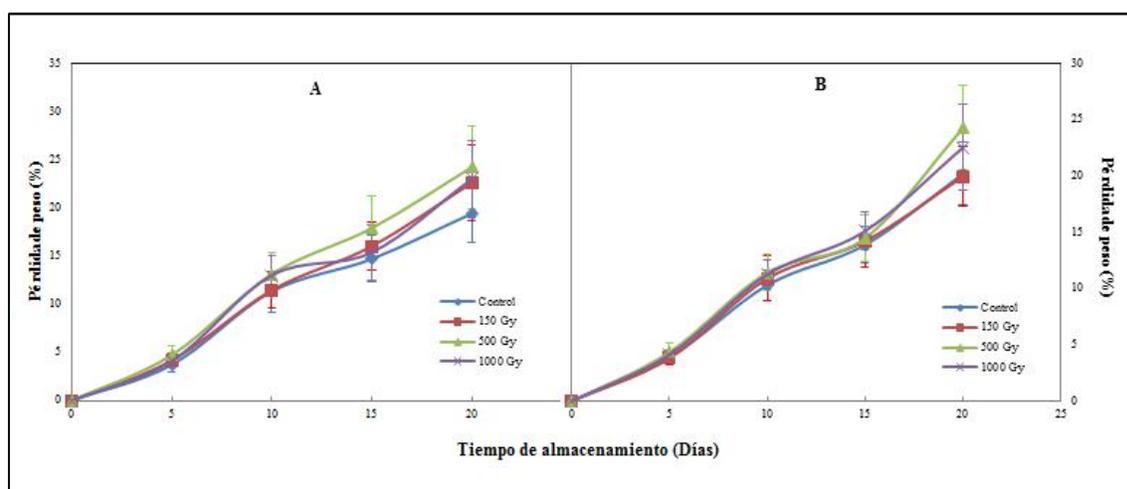


Figura 52. Efecto de irradiación en el porcentaje de pérdida de peso de Chile manzano en dos estadios de madurez A) verde y B) amarillo almacenados a 8°C.

Referente al estadio amarillo se tuvo una pérdida inicial para control y sus distintas dosis de irradiación de 4% al día 5 y de 20.08% para el lote control y 150 Gy y de 23.39% para las dosis de 500Gy y 1000Gy (Figura 52 B), teniéndose al inicio del almacenamiento un comportamiento similar en los tratamientos de irradiación y control durante los días 5, 10 y 15 de almacenamiento. Sin embargo al último día hubo mayor pérdida de peso en la dosis de 500 y 1000 Gy, resultando que la dosis de 150 Gy fue similar al control con menor pérdida de peso de chiles manzanos amarillos.

Se observó que a partir del día 10 de almacenamiento se obtuvieron valores por arriba del 10%, demostrando así una disminución de la calidad de los chiles manzanos. En cuanto al análisis estadístico de los valores de porcentaje de pérdida de peso no se tuvo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en cuanto al estadio de madurez pero sí en la interacción de los tratamientos de irradiación en cada uno de los estadios.



Sin embargo, en el parámetro de pérdida de peso la dosis de 150 Gy en el estadio amarillo resultó ser la que mantuvo una menor pérdida de peso al final del experimento en comparación a las dosis altas, en comparación del estadio verde que el lote control resultó ser el que tuvo menor pérdida de peso encontrando que los tratamientos de irradiación no tuvieron efecto en la disminución de dicha pérdida.

4.5. Evaluación de la pungencia en una salsa preparada a base de chile manzano irradiado en diferentes estadios de madurez mediante una evaluación sensorial

En el cultivo del género *Capsicum* es muy importante considerar algunas características de calidad como apariencia, color, olor y pungencia para que tenga aceptación ante el público consumidor (Moguel; *et al.*, 2006). Se elaboró una salsa a partir del chile manzano irradiado y se evaluó la pungencia y características sensoriales de dicho producto al inicio y al final del tiempo de almacenamiento para poder estimar el efecto del tratamiento de irradiación, tomando en cuenta como parámetro la variación de los atributos (apariencia, picor, color, sabor, aroma y consistencia) del chile manzano en sus dos estadios de madurez. En cuanto a la pungencia del chile manzano evaluada en la salsa elaborada, se presentaron resultados referentes a la comparación por pares, en la cual se entregaron muestras en donde en el par una muestra correspondía a una elaborada con chiles manzanos control y otra sometida a irradiación a las distintas dosis, esto fue con el fin de conocer si existía diferencia en el picor de las muestras, deduciéndose que al día 20 de almacenamiento sólo hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) en las de chile manzano amarillo irradiadas a 150 Gy, infiriendo entonces que los jueces no percibieron la diferencia entre pares, por lo que se concluyó que la irradiación no afectó la pungencia o picor del chile manzano en sus dos estadios de madurez.

Referente a la evaluación de clasificación hedónica de atributos como el picor, para el estadio verde se obtuvo que al inicio del almacenamiento a una dosis de 1000 Gy hubo mayor percepción de éste con un valor inicial de 2.8 y final de 2.7 que correspondió a un picor con menos intensidad (Figura 53 A y B), es decir, que tuvo una calificación correspondiente a “poco picante” (Ver Anexo D 4-f), pero al final se mantuvo con un valor



similar sin encontrar diferencia significativa. Las dosis de 150 y 500 Gy se obtuvieron valores de 2.1 y en el control de 1.9, sin encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos al inicio del almacenamiento. Sin embargo al día 20 de almacenamiento se obtuvo un valor de 2.6 de picor en los tratamientos estudiados así como el lote control sin diferencia significativa, resultando entonces que la variación de la capsaicina a través del almacenamiento es significativa en la percepción del picor para el chile manzano verde.

Sin embargo para el estadio amarillo en la evaluación de clasificación hedónica, las dosis de 150 Gy y 500 Gy y lote control presentaron un valor de 2.5 sin encontrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en estos que correspondió a una calificación “poco picante” (Ver Anexo D 2-f), sin embargo la dosis de 1000 Gy presentó un valor de 1.8 resultando una calificación “sin picor”. Al día 20 de almacenamiento se obtuvo un valor de 2.5 en las dosis de irradiación y el lote control, sin presentar diferencia significativa en los valores de picor en el chile manzano amarillo.

De los resultados obtenidos se observó que el estadio verde y amarillo no afectaron significativamente los cambios en el picor del chile manzano, mientras que los diferentes tratamientos por irradiación afectaron significativamente su cambio durante el almacenamiento refrigerado del chile manzano, encontrándose que al inicio del almacenamiento a dosis altas se tuvo un aumento en la percepción del picor para el estadio verde, mientras que para el estadio amarillo fue a dosis bajas.

En cuanto al sabor, se presentó que la dosis de 500 Gy en los dos estadio de madurez al inicio y al final del almacenamiento, se obtuvo mayor valor en promedio de 3.0 que correspondió a la opción de “ni agradable ni desagradable” para el estadio verde y de 3.4 que correspondió a un valor cercano a un sabor “agradable” para el estadio amarillo, teniendo entonces como menor valor el lote control para el estadio verde de 2.8 teniendo una calificación de “desagradable” y la dosis de 150 Gy en el estadio amarillo de 3.1 en una calificación de “ni agradable ni desagradable”.

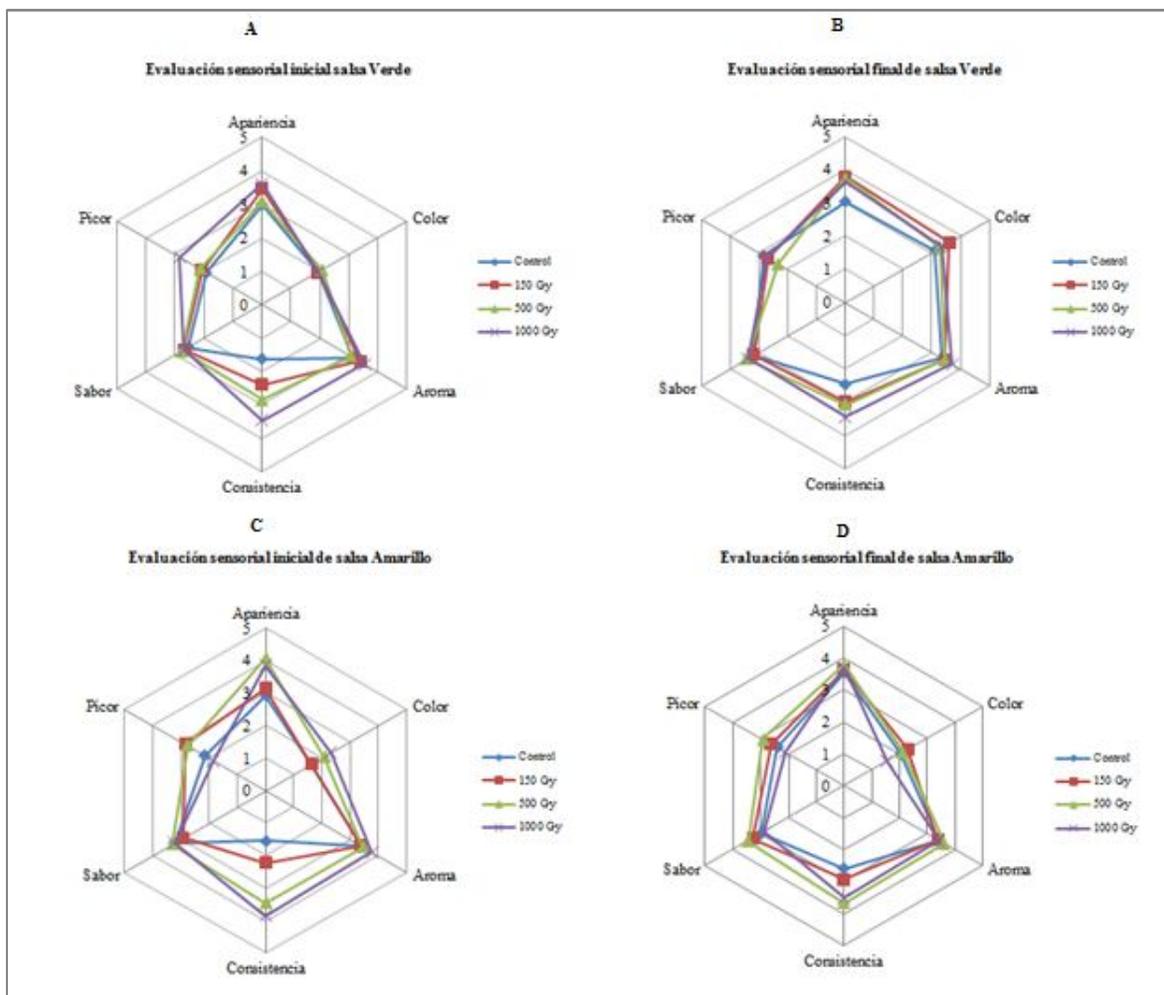


Figura 53. Evaluación sensorial de salsa a base de chile manzano con los tratamientos de irradiación. A) Evaluación sensorial inicial salsa verde, B) Evaluación sensorial final de salsa verde, C) Evaluación sensorial inicial salsa amarilla, D) Evaluación sensorial final salsa amarilla.

De acuerdo con lo que se menciona en la literatura referente al cambio de sabor en los frutos irradiados, en el caso de la irradiación de chile manzano no hubo algún cambio afectando dicho atributo hasta una dosis de 1000 Gy, ya que como se observó no hubo percepción de alguna modificación o de sabor extraño. Resultando que al inicio en el estadio verde hubo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los valores de sabor con un valor de 2.6 con una calificación de “agradable” y al final de 3.25 “ni agradable, ni desagradable”, sin embargo se apreció que en el estadio amarillo no existió diferencia significativa con el tiempo de almacenamiento con valores al inicio de 3.15 y al final de 3.24 entre los lotes control, 150 y 500 Gy; y a dosis de 1000 Gy se observó una disminución en este atributo de 2.87 al final, esto es como se observó en el atributo de picor



que de igual manera se obtuvo un menor valor en el estadio amarillo en dicha dosis. Además el cambio en la coloración del chile manzano verde al final del almacenamiento hacia un color amarillo, se apreció que no existió diferencia significativa respecto al estadio amarillo.

Fellows (2000) menciona que en los niveles de dosis de irradiación más altas, se crea una división del grupo sulfhidrilo de aminoácidos azufrados en las proteínas provocando cambios en el aroma y el sabor de los alimentos. El efecto sobre los lípidos es similar a la de auto-oxidación, para producir hidroperóxidos y por lo tanto resultados inaceptables de sabor y olor, considerando que la concentración en este componente en el chile manzano es mínimo. Sin embargo, estos cambios o alteraciones a dosis altas (1000 Gy) no fueron presenciados en el chile manzano, ya que los jueces que participaron en la evaluación sensorial no llegaron a identificar esos cambios en los atributos provocada por la irradiación.

Los resultados en aroma en la salsa de chile manzano verde al inicio tuvo un valor de 3.3 y al final de 3.5 que correspondió a una calificación de “ni agradable ni desagradable” (Ver Anexo D 4-c), sin diferencia significativa entre los tratamientos, mientras que en el estadio amarillo fueron de 3.5 al inicio y al final sin diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, el análisis estadístico no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cuanto a los valores de las dos evaluaciones ni en los estadios y los distintos tratamientos debido a como se presenta en la Figura 53 no hay gran diferencia en los valores de aceptabilidad del aroma de las salsas.

Osuna *et al.* (1998); en su estudio de papayas irradiadas y naranjas Kau a 75 Gy y almacenados de 2 y 9 días para determinar el efecto de la irradiación en los atributos de calidad sensorial, concluyendo que el aroma y el sabor no fueron afectados por el tratamiento al que fueron sometidos. Resultados similares se muestran en el estudio del chile manzano, presentando también esas características.

La apariencia de las salsas resultó con mayor aceptabilidad las elaboradas con chile manzano amarillo, teniendo datos al inicio de 3.5 para este estadio y de 3.2 para el estadio verde, valores que correspondían a una calificación a “ni agradable ni desagradable”;



presentando una diferencia entre los dos estadíos al inicio del almacenamiento. Teniendo un aumento en la apariencia en la evaluación final de la salsa en el estadío verde con un valor 3.5 (Figura 53 B), por lo que no existió diferencia significativa entre el inicio y al final. Se entiende entonces que, a pesar de la disminución de calidad en el estadío amarillo como se ve en la Tabla 21, con la elaboración de la salsa y hacer una adición de ingredientes y teniendo una presentación diferente de los chiles fue aceptable para los jueces. Asimismo fueron las salsas elaboradas con chiles manzanos irradiados las que obtuvieron mayor aceptabilidad en cuanto a la apariencia que los lotes de control correspondientes a los dos estadíos de madurez teniendo un valor en el estadío verde al inicio para las dosis de irradiación de 3.4 contra el control de 3.0, y final de 3.7 para los lotes irradiados y de 3.0 para el lote control; en cuanto al estadío amarillo fueron al inicio de 3.7 para los lotes de irradiación contra 2.9 del lote control y al final de 3.7 en los irradiados y de 3.5 para el lote control.

El análisis estadístico de apariencia de las salsas hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los valores del estadío verde al inicio y al final, mostrando mayores valores de apariencia al final, sin embargo este último no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) respecto al estadío amarillo a lo largo del almacenamiento, además de que no se presentaron diferencias entre los tratamientos de irradiación.

El color de las salsas se modificó considerablemente en comparación de las evaluaciones inicial y final, teniendo entonces, que para el estadío verde al inicio fue de 2.0 con una calificación de “verde” y aumentó al final de 3.2 que correspondía a la calificación de “entre amarillo y verde” presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el tiempo de almacenamiento, pero sin haber presentado una diferencia entre los tratamientos, además se obtuvo mayor percepción de intensidad de color en el estadío verde debido al cambio en su coloración que como se ha mencionado antes se tornó amarillo.

Para el estadío amarillo se tuvo un valor de 1.9 al inicio y al final del almacenamiento sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamientos y control, el valor obtenido correspondía a la calificación de color “pálido”. Estas referencias fueron utilizadas debido a



que desde la actividad 4.1 se observó que presentaron variación en su color conforme los días de almacenamiento.

Por lo tanto, en cuanto a la consistencia de las salsas de chile manzano en los dos estadios de madurez, se observó que conforme aumentó la dosis de irradiación y de acuerdo al tiempo de almacenamiento los jueces percibieron mayor calificación de consistencia, es decir para el estadio verde al inicio se tuvieron valores de 1.6, 2.3, 2.8, 3.4 y al final de 2.4, 3.0, 3.1 y 3.4 para control, 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente, siendo que a esta última dosis no hubo diferencia significativa en cuanto al tiempo de almacenamiento. Para el estadio amarillo se observó el mismo comportamiento con valores al inicio de 1.53, 2.23, 3.46, 3.84 y al final de 2.58, 3.0, 3.66 y 3.5 para los lotes control, 150, 500 y 1000 Gy, respectivamente, pero a dosis medias y altas al final del almacenamiento no se encontraron diferencias significativas en los valores de consistencia.

Además se observó que a dosis bajas de irradiación y control no se encontraron diferencias significativas entre los dos estadios de chile manzano pero a dosis medias y altas si tuvieron efecto sobre la consistencia, siendo a estas dosis para el estadio amarillo el que presentó mejores resultados, pero manteniéndose en la calificación de “ni líquida, ni espesa”.

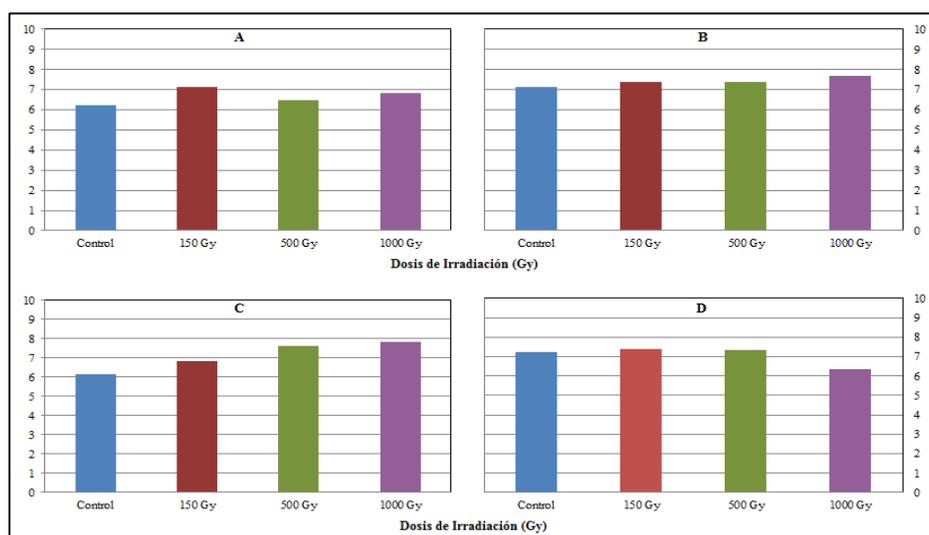


Figura 54. Preferencia de salsa a base de chile manzano con los tratamientos de irradiación. A) Verde al inicio de la experimentación, B) Verde al final de la experimentación, C) Amarillo al inicio de la experimentación y D) amarillo al final de la experimentación.



En la Figura 54 se muestran los niveles de preferencia de las distintas salsas de chile manzano estableciendo que el valor 10 era la máxima puntuación. Se expone entonces que para el estadío verde hubo mayor preferencia al final del almacenamiento (Figura 54 B) para todos los tratamientos estudiados, sin embargo de esto se destacó que la dosis de 1000 Gy fue la que obtuvo mayores resultados de 7.7, que de igual manera a esa misma dosis en la evaluación inicial del estadío amarillo (Figura 54 C) se obtuvieron la mayores resultados en cuanto a la preferencia con un valor de 7.8. Además se observó que a dosis bajas y medias no hubo diferencia significativa en cuanto al estadío al final del almacenamiento con un valor de 7.3 de preferencia (Figura 54 B y D). El efecto que tuvieron las dosis de irradiación media y alta en el tiempo de almacenamiento de 20 días fue desfavorable en la preferencia de la salsa de chile manzano amarillo (Figura 54 D), obteniéndose valores de 7.6 y 7.8 al inicio y de 7.3 y 6.3 al final a dosis de 500 y 1000 Gy, respectivamente.

Deduciendo finalmente, que hubo mayor aceptación en las salsas de chile manzano verde que las amarillas al haber sido sometidas a un tiempo de 20 días de almacenamiento y a los distintos tratamientos de irradiación sin verse afectados sus atributos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Conclusiones

Con base en los resultados del presente trabajo se concluye lo siguiente:

- En la caracterización del chile manzano en sus dos estadios de madurez se encontró que el tiempo de la vida útil fue de 16 días a una temperatura de almacenamiento de 8°C, así como el control de buenas prácticas de agricultura y manejo apropiado de operación.
- El estadio de madurez amarillo del chile manzano presentó una mayor susceptibilidad a los diferentes tratamientos aplicados y una menor vida útil que en estadio verde, ya que presentó un aumento en la pérdida de peso, motivo de una deshidratación y disminución de la calidad del fruto.
- La aplicación de ceras de abeja y candelilla en el chile manzano verde ayudó a preservar los parámetros de calidad: acidez, sólidos solubles, pH, pérdida de peso y color, así como los parámetros nutricionales: carotenos y vitamina C. Sin embargo, la aplicación de ceras afectó la apariencia de los chiles manzanos, principalmente en el estadio amarillo. Los tratamientos a base de recubrimientos de ceras pueden ser una alternativa a la preservación en el chile manzano verde para su comercialización a nivel nacional.
- La aplicación de dosis bajas (150 Gy) y medias (500 Gy) de irradiación permitieron la conservación de chiles manzanos en sus dos estadios de madurez, ayudando a preservar los parámetros de calidad y nutricionales además de cumplir con los requisitos fitosanitarios para su exportación a Estados Unidos de Norteamérica y satisfacer las necesidades para consumo en fresco de chile manzano así como procesado.
- En la evaluación de la consistencia de las salsas de chile manzano en sus dos estadios de madurez fue afectada por el tiempo de almacenamiento y por las dosis



de irradiación bajas y medias, ya que conforme aumentó la dosis, también lo hizo el valor de consistencia, llegando a una calificación “ni líquida, ni espesa”.

- La dosis de aplicación no tuvieron efecto sobre los atributos de picor, aroma, sabor, color y apariencia de una salsa preparada de chile manzano, presentando un efecto considerable y viable para combatir las principales plagas que se presentan en el fruto.

Recomendaciones

1. Realizar un estudio del efecto de irradiación en los compuestos relacionados con la pungencia de los chiles manzanos.
2. Evaluar el efecto de tratamientos combinados (ceras e irradiación) en la conservación del chile manzano.
3. Determinar el efecto de la irradiación en la síntesis de compuestos fenólicos y fitoalexinas del chile manzano.
4. Aplicar los tratamientos poscosecha estudiados a diferentes variedades de chile mexicanos para mejorar la calidad e inocuidad de estos productos.
5. Realizar un estudio del efecto de los tratamientos de irradiación sobre la actividad enzimática como importancia en la comercialización en chiles frescos y procesados.
6. Aplicar un tratamiento poscosecha con Etefón para el mejoramiento en los atributos de color del chile manzano verde para posteriormente ser irradiados y mantener una mayor resistencia ante el tiempo de almacenamiento y dosis de irradiación.



ANEXOS



ANEXO A

Situación de la Irradiación en Latinoamérica

El estado actual de la irradiación de alimentos en algunos países de América Latina es el siguiente:

- Argentina.

Comenzó sus actividades en 1970 y tiene tres instalaciones de irradiación alimentaria, situadas en Buenos Aires y Salta. El Código Alimentario Argentino (Ley N°18284/69, Decreto N°2126/71) autoriza la utilización de la irradiación en nueve productos: papas, cebollas, ajos, frutillas, frutas secas, hongos, espárragos, frutas y vegetales desecados o deshidratados, y especias y condimentos vegetales.

Recientemente, se presentaron para su estudio los tratamientos para carne vacuna, de aves y de cerdo, productos del mar, granos, frutas y vegetales frescos y huevos.

La legislación establece además un código de prácticas para el funcionamiento de instalaciones de irradiación de alimentos destinados al consumo humano (García, 1998)

- Brasil.

La legislación brasileña y los tratos comerciales han fomentado el desarrollo de un mercado de alimentos irradiados. El gobierno brasileño ha aprobado 117 tipos de alimentos (incluida la categoría de “todo alimento”) para ser sometidos al proceso de irradiación, por cualquier razón y en cualquier dosis.

Esto significa que Brasil cuenta con mayor aprobación del proceso de irradiación que cualquier país del mundo, aparte de tener las leyes más liberales en cuanto a dosis. Brasil ha realizado actividades de irradiación alimentaria desde 1985. Cuenta actualmente con ocho instalaciones y otras 22 más en estado de planificación o construcción. En Brasil se puede irradiar cualquier alimento sin tope de dosis (TECH ION industrial Brasil, 2001).



- Cuba.

Comenzó actividades en 1987, cuando se inauguró la planta industrial de irradiación de alimentos, convirtiendo a Cuba en una de las diez naciones del mundo con capacidad de hacerlo industrialmente. Tiene un establecimiento para este fin en la Habana y ha aprobado el proceso en 18 categorías de alimentos. Comenzó actividades en 1987 (Public Citizen, 2010).

- Perú

En el Perú se abrió en 1996 un establecimiento de irradiación alimentaria, donde se irradian especias, aditivos y piensos. La Planta de Irradiación Multiuso, ubicada en el distrito de Santa Anita en Lima, se dedica de manera exclusiva a descontaminar alimentos con fuentes de Cobalto-60. Como se puede observar, la irradiación de alimentos es aprobada por la reglamentación de muchos países (SERNAC, 2004).

- Chile

Chile es uno de los países que, como Holanda, Bélgica, Sudáfrica y Hungría, entre otros, tiene plantas de irradiación multipropósito que están operando comercialmente, dedicadas a la esterilización de productos médicos desechables y también de algunos alimentos.

La aplicación de la radiación ionizante como método de preservación de alimentos comienza en Chile a fines de 1982, cuando el Ministerio de Salud autoriza a la CCHEN a usar la energía ionizante como un método más de preservación de alimentos. Se aplica desde entonces esta tecnología a nivel semi-comercial en productos como papas, especias y otros.

En la Planta de Irradiación Multipropósito del Centro Nuclear Lo Aguirre, de la CCHEN, se irradian hierbas, productos del mar congelados como camarones y langostinos, cebolla deshidratada, materias primas para productos farmacológicos, productos terminados de cosmética, pulpa de fruta, espárragos, tomates, especias y condimentos como orégano, comino, pimienta, paprika, ají, pimentón, entre otros. La dotación de la Antártica utiliza



hace tiempo papas y cebollas irradiadas, las que con esta aplicación aumentan su durabilidad (Rossi, *et al.*, 2009).

También existe otro reactor en la Comuna de La Reina, donde se produce una cantidad importante de los radiofármacos y de los radioisótopos que se usan en el país. En el año 2003 surge la CCE, perteneciente en un 50% a Fundación Chile y en el otro 50% a la CBE. En su primera etapa se concentrará en desarrollar la demanda por la tecnología de irradiación de alimentos, aumentando la capacidad de la actual planta de la CCHEN en Lo Aguirre y considerando en una segunda etapa la construcción de una planta de escala industrial, como la que ya existe en Brasil (SERNAC, 2004).

En el Reglamento sanitario de los alimentos del Gobierno de Chile, en el Título VI, Párrafo I, II y III, Artículo 175-185, se menciona que sólo se podrá tratar con energía ionizante los tipos de alimentos que determine el Ministerio de Salud, cuando obedezca a necesidades de carácter técnico o de higiene alimentaria. Se aplicará básicamente para la inhibición de bulbos y tubérculos, desinfección, desparasitación, retardo de la maduración y reducción y/o eliminación de carga microbiana, saprófita o patógena. Mediante resolución del Ministerio de Salud, se establecerá la finalidad del proceso y la dosis media que podrá recibir el respectivo alimento de acuerdo a la finalidad autorizada. Esta tecnología no podrá ser usada como sustituto de buenas prácticas producción y/o fabricación de los alimentos.

La preservación de alimentos por medio de radiación ionizante deberá atenerse a las disposiciones de este reglamento relativas a la seguridad microbiológica. Los materiales de empaque deben ser apropiados para la irradiación y adecuados para impedir la reinfestación, la recontaminación o el deterioro del producto durante su almacenamiento y transporte (Reglamento Sanitario de los Alimentos de Chile, 2010).

En la Tabla A1 se muestra información de alimentos irradiados a nivel internacional.



Tabla A 1. Irradiación de alimentos en diferentes países.

País	Producto irradiado	Año de inicio
Alemania	Cebollas, hierbas y especia.	1985
	Ajos, papas en polvo.	1987
	Huevo en polvo y fresas	1988
Argentina	Fresas, papas, cebollas, ajos	1987
Bélgica	Arroz, papas, cebollas, ajos y pimentón.	1980
	Especias, verduras secas y goma arábica	1983
Brasil	Arroz, papas, cebollas, habas, maíz, carne, especias, papayas, fresas, pescado y derivados, aves de corral.	1985
Chile	Papas, papaya, trigo y productos derivados, fresas, pollos, cebollas, arroz, pescado y derivados, cocos, dátiles, mangos, especias y legumbres.	1983
China	Papas, cebollas, ajos, cacahuates, grano, setas y salsa de soya.	1984
	Manzanas	1985
Dinamarca	Hierbas y especias	1985
España	Papas y comida destinada a alimentación animal.	1969
	Cebollas	1975
	Hierbas aromáticas y especias	2001
Estados Unidos de Norteamérica	Trigo	1953
	Papas	1964
	Cerdo	1985
	Enzimas deshidratadas, frutas, verduras secas, hierbas y especias.	1986
	Carnes de ave (frescas y congeladas).	1990
	Comida para astronautas y comida para animales.	1995
	Carne de vacuno congelada	1997



Continuación. Tabla A 1. Irradiación de alimentos en diferentes países.

Finlandia	Espicias y condimentos deshidratados. Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas	1987
Francia	Papas	1972
	Cebollas y ajos.	1977
	Espicias y sustancias aromáticas.	1983
	Goma arábica, cereales, verduras deshidratadas y carne de pollo.	1985
	Frutos secos, ancas de rana congeladas y fresas	1988
Hungría	Cebollas	1982
	Espicias (pimentón)	1986
Italia	Papas, cebollas y ajos.	1983
México (SAGARPA 2010)	Espicias (chile colorado, verduras deshidratadas, cereales, carne congelada. Pescado, cacahuates, coco, crema de cacao y setas deshidratadas.	1984
	Papaya, mango (manila y ataulfo), chile manzano, lima dulce, toronja	2009 2010
Países Bajos	Setas y carnes congeladas	1969
	Papas	1970
	Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas	1972
	Cebollas	1975
	Pollos	1976
	Espicias y ancas de rana congeladas	1978
	Arroz y derivados	1979
	Gambas congeladas	1980
	Malta, pescado congelado, huevo en polvo y verduras congeladas	1983



Continuación. Tabla A 1. Irradiación de alimentos en diferentes países.

Reino Unido	Todas las comidas de pacientes que requieren dietas esterilizadas.	1969
Sudáfrica	Papas, plátanos secos y aguacates.	1977
	Cebollas, ajos, pollos, papaya, mango, fresas, plátanos, lichis, queso en polvo, especias y verduras deshidratadas.	1978
URSS	Papas	1958
	Granos	1959
	Frutos secos y concentrados de comida seca	1966
	Cebollas	1973

Fuente: Lomelí y Tamayo (2010).



ANEXO B

Tabla B 1. Alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes

Producto	Autorizado con la dosis máxima Indicada (kGy)				
	B	F	I	NL	UK
Hierbas aromáticas congeladas		10			
Patata	0.15		0.15		0.2
Ñame					0.2
Cebolla	0.15	0.075	0.15		0.2
Ajo	0.15	0.075	0.15		0.2
Chalote	0.15	0.075			0.2
Hortalizas, incluidas las legumbres					1
Legumbres				1	
Frutas (incluidos los hongos, el tomate y el ruibarbo)					2
Hortalizas secas y frutos secos		1		1	
Cereales					1
Copos y gérmenes de cereales para productos lácteos		10			
Copos de cereales				1	
Harina de arroz		4			
Goma arábica		3		3	

B: Bélgica; F: Francia; I: Italia; NL: Holanda; UK: Reino Unido

Fuente: Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2001).



Continuación Tabla B1. Alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes

Carne de pollo				7	
Aves de corral		5			
Aves de corral (aves domésticas, gansos, patos, pintadas, palomas, codornices y pavos)					7
Carne de pollo recuperada mecánicamente		5			
Menudillos de pollo		5			
Ancas de rana congeladas	5	5		5	
Sangre, plasma y coagulados deshidratados		10			
Pescados y mariscos (incluidos anguilas, Crustáceos y moluscos)					3
Gambas congeladas, peladas o bien decapitadas	5	5			
Gambas				3	
Clara de huevo		3		3	
Caseína y caseinatos		6			

B: Bélgica; F: Francia; I: Italia; NL: Holanda; UK: Reino Unido

Fuente: Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2001).



ANEXO C

Instalaciones y fuentes de irradiación

La normativa internacional que tiene relación con estos productos es la *Norma General del Codex para Alimentos Irradiados* (Norma Mundial) *Codex Stan 106-1983*, que establece en su párrafo 2.3 de Instalaciones y control del proceso:

- El tratamiento por irradiación de los alimentos se llevará a cabo en instalaciones a las que la autoridad nacional competente haya concedido licencia e inscrito en un registro a tal efecto.
- Tales instalaciones se proyectarán de modo que cumplan los requisitos de seguridad, eficacia y buenas prácticas de higiene en el tratamiento de los alimentos.
- Las instalaciones estarán dotadas de personal adecuado que posee la capacitación y competencia apropiadas.
- Entre otras medidas, para el control interno del proceso en la instalación se llevarán los registros adecuados en particular los referentes a la dosimetría cuantitativa.
- Los locales y registros podrán ser inspeccionados por las autoridades nacionales competentes.
- El control se ejercerá de conformidad con el Código Internacional recomendado de prácticas para el funcionamiento de instalaciones de irradiación utilizadas para el tratamiento de alimentos (Norma General del Codex CAC/RCP 19-1979, Rev. 1)

A. Fuentes de energía de irradiación.

Podrán utilizarse los siguientes tipos de radiación ionizante:

- Rayos gamma (provenientes de los radionucleidos Cobalto⁶⁰ o Cesio¹³⁷).



- Rayos X generados por máquinas que trabajan a energías de 5 MeV o inferiores.
 - Electrones generados por máquinas que trabajan a energías de 10 MeV o inferiores
- (Norma General del Codex CODEX STAN 106-1983).

De estas cuatro fuentes, la más utilizada a nivel mundial es el Co^{60} . Los rayos gamma provenientes de Co^{60} y Cs^{137} , poseen una longitud de onda muy corta, similares a la luz ultravioleta y las microondas; y debido a que no pueden quitar neutrones (partículas subatómicas que pueden hacer a las sustancias radioactivas), los productos y envases irradiados no se vuelven radioactivos. Los rayos gamma penetran el envase y el producto pasando a través de él, sin dejar residuo alguno. La cantidad de energía que permanece en el producto es insignificante y se retiene en forma de calor; el cual puede provocar un aumento muy pequeño de temperatura (1-2 grados) que se disipa rápidamente (Narvaiz, 2000).

B. Procedimiento de irradiación

Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto lapso de tiempo, que es proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba, cuya duración es controlada para que produzca diferentes efectos de conservación. Para irradiar alimentos se emplean comercialmente plantas de Co^{60} (aproximadamente el 90% de las instalaciones). El Co^{60} emite radiaciones gamma, siendo su penetración superior a la de los electrones. Una planta de Co^{60} consta básicamente de una sala de irradiación, que es una cámara central de paredes de hormigón gruesas y puertas diseñadas especialmente para impedir la liberación de radiactividad, una piscina de almacenamiento, un sistema transportador, una consola de control, y depósitos que separan el material irradiado del sin irradiar. Los dispositivos de interbloqueo y alarma impiden que la fuente de radiación se eleve mientras las puertas no estén completamente cerradas. La piscina de almacenamiento es el lugar donde se encuentran las fuentes radiactivas de Co^{60} mientras no se está tratando nada. El agua actúa de blindaje contra la energía radiactiva, protegiendo a los operadores cuando tienen que entrar en la sala. El sistema transportador sirve para desplazar automáticamente los alimentos dentro y fuera de la cámara de irradiación. Los productos pasan por el campo de irradiación dentro de la cámara a una velocidad controlada



con precisión para absorber la cantidad de energía necesaria para el tratamiento. Después del tratamiento, pueden manipularse inmediatamente. Desde la consola de control, fuera de la cámara de irradiación, operadores capacitados controlan electrónicamente la fuente de irradiación y el tratamiento de los productos. Todas las instalaciones de irradiación deben tener una licencia, y son inspeccionadas periódicamente por el organismo gubernamental correspondiente. La seguridad de los trabajadores depende además de procedimientos de operación estrictos y de una capacitación adecuada (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2010).

C. Dosimetría

La dosimetría es sólo uno de los componentes de un programa de aseguramiento de calidad total para la observancia de buenas prácticas de producción. Un sistema de dosimetría apropiado deberá ser seleccionado y los procedimientos de dosimetría deberán ser seguidos para la caracterización del irradiador, la calificación de proceso y el procesamiento rutinario, para asegurar que el producto ha sido tratado con la dosis absorbida mínima prescrita por la institución competente para la mitigación de las plagas objetivo en particular, que se supone que infestan/infectan/contaminan un producto dado de un origen particular (USDA, APHIS-IS, SENASICA, SAGARPA, DGSV, 2007).

Al utilizar la irradiación gamma, la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de producto se define como dosis, y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Joule de energía por kilo de masa irradiada (1000 Grays = 1 KiloGray).

La dosis total media absorbida deberá calcularse con un arreglo a lo dispuesto:

Dosis total media absorbida.

A los efectos de determinar la salubridad de productos alimenticios tratados con una dosis total media igual o inferior a 10 kGy, se puede presuponer que, dentro de esta gama específica de dosis, todos los efectos químicos de la irradiación son proporcionales a la dosis.



La dosis total media D se fija con ayuda de la siguiente ecuación integral para el producto alimenticio tratado: $D = 1/M \int p(x, y, z) dV$.

Donde:

D = La dosis local absorbida en el punto en cuestión (x, y, z)

M = Masa total de la muestra tratada.

p = Densidad local en el punto que se trate (x, y, z)

dV = El elemento en volumen infinitesimal dx, dy, dz , representado en la realidad por las fracciones de volumen.

La dosis total media absorbida por productos homogéneos o productos a granel con una densidad de llenado aparentemente homogénea, puede determinarse directamente distribuyendo por todo el volumen del producto, estratégicamente y aleatoriamente, un número suficiente de dosímetros.

La distribución de dosis así calculada permite obtener un valor medio que corresponde a la dosis total media absorbida.

Si está bien determinada la forma de la curva de distribución de la dosis a través del conjunto del producto, se puede calcular donde se presentan dosis mínimas y máximas. Puede medirse la distribución de la dosis en estos dos puntos en una serie de muestras del producto para obtener una estimación de la dosis total media.

En algunos casos, la media aritmética de los promedios de la dosis mínima (D_{min}) y dosis máxima (D_{max}) constituye un valor estimativo válido para la dosis total media. En estos casos:

La dosis media total = $D_{max} + D_{min} / 2$

La proporción D_{max} / D_{min} no deberá rebasar tres.



Procedimientos

1. Antes de la irradiación rutinaria de un tipo determinado de productos alimenticios en una instalación de irradiación, se determinará mediante mediciones de irradiación, se determinarán mediante mediciones de dosis en el volumen total de producto los puntos en que se den la dosis máxima y mínima. Debe llevarse a cabo un número suficiente de éstas mediciones de validación (por ejemplo de 3 a 5), para tener en cuenta las variaciones de densidad o geometría del producto.
2. Cuando se modifique el producto, su geometría o las condiciones de irradiación, deberán repetirse las mediciones.
3. Durante la irradiación se llevarán a cabo mediciones rutinarias de las dosis para garantizar que no se sobrepasen los límites posológicos. Para llevar a cabo las mediciones se situaran dosímetros en posiciones de las dosis máxima o mínima o en un punto de referencia. La dosis en el punto de referencia deberá guardar una relación cuantitativa con las dosis máxima y mínima. El punto de referencia deberá estar situado en el lugar idóneo en el interior del producto o en su superficie, en el que las variaciones de dosis sean bajas.
4. Durante la producción, deberán efectuarse mediciones rutinarias, de dosis en cada lote y a intervalos regulares.
5. Cuando se irradian productos fluidos sin envasar no resulta posible determinar los puntos en que se encuentran las dosis mínima y máxima. En tal caso, es preferible proceder a la determinación de los valores extremos mediante muestreo dosimétrico aleatorio.
6. Las mediciones de dosis, deberán llevarse a cabo con dosímetros homologados y referirse a continuación a normas de base.



7. Durante la irradiación, deberán supervisarse y registrarse constantemente determinados parámetros de la instalación. Cuando se trate de instalaciones con radio-nucleótidos, los parámetros abarcarán la velocidad de avance del producto o del tiempo de permanencia en la zona de irradiación y la indicación exacta de la posición correcta de la fuente. Cuando se trate de instalaciones de aceleración de partículas, los parámetros abarcaran la velocidad en el transporte del producto y el nivel de energía, el flujo de electrones y la anchura de exploración de la instalación.

La clasificación de dosis de energía aplicadas en la preservación de alimentos, según FAO-OMS-OIEA, se presenta en la Tabla C1.

Tabla C 1. Clasificación de dosis aplicadas, según la energía absorbida y el objetivo deseado.

Dosis Aplicada	Energía absorbida	Objetivo
Dosis bajas	Hasta 1 kGy	Inhiben la brotación Controlan la presencia de insectos. Controlan la infestación con parásitos. Retrasan la maduración.
Dosis medias	1kGy a 10 kGy	Prolongar la vida útil. Reducen la carga microbiana. Pasteurizan en frío.
Dosis altas	10 kGy a 70 kGy	Esterilizan. Eliminan virus

Fuente: FAO, OMS, OIEA (1981).

Los diferentes estudios científicos elaborados en 1980 por varios organismos internacionales, como la FAO, el OIEA y la OMS determinaron que “La irradiación de los alimentos hasta una dosis media global de 10 kGy no crea problemas especiales de orden nutricional o microbiológico.” (FAO/OIEA/OMS, 1981). Este valor máximo de la dosis total media de radiación absorbida, se acepta hoy día en la mayoría de los países que utilizan la energía ionizante como método de preservación de alimentos (Hidalgo, 2010).

En la Tabla C2 se presentan las consideraciones de dosis a utilizar en algunos alimentos, los cuales ya fueron aceptados para ser sometidos al tratamiento de irradiación.



Tabla C 2. Consideraciones para la irradiación de algunos alimentos examinados por el Comité mixto de expertos FAO/OIEA/OMS

Tipo de Alimento	Finalidad del proceso	Dosis Media
Arroz, trigo y leguminosas	Combatir la infestación de insectos durante el almacenamiento.	Hasta 1kGy
Cebollas y papas	Inhibir la germinación durante el almacenamiento.	Hasta 0.15 kGy
Cebolla deshidratada y en polvo, especias y condimentos	Combatir la infestación de insectos. Reducir la carga microbiana, especialmente microorganismos patógenos.	De 1 kGy hasta 10 kGy
Dátiles	Los dátiles secos ya envasados son irradiados con la finalidad de combatir la infestación de insectos durante el almacenamiento.	1kGy
Frutillas	Prolongar el período de almacenamiento de frutillas frescas mediante la eliminación parcial de los organismos que provocan su descomposición.	Hasta 3 kGy
Granos de cacao	Combatir la infestación de insectos durante el almacenamiento.	1kGy 5kGy

Fuente: FAO, OIEA, WHO (1986).

De acuerdo a la dosis aplicada se habla de:

- **RADURIZACIÓN**

Prolongar el tiempo de comercialización por reducción de contaminación microbiana, en un proceso similar a la pasteurización por calor.



- RADICIDACIÓN

Elimina microorganismos patógenos no esporulados tales como *Salmonella* en pollo y huevo.

- RADAPERTIZACIÓN

Además de controlar la esterilización de la "mosca del Mediterráneo" (*Ceratitis capitata*) para evitar su propagación a áreas libres, se logró aplicar un tratamiento capaz de conservarlos sin desarrollo microbiano, a temperatura ambiente durante años, lo cual se asemeja a la esterilización comercial, y se indica como "Radapertización" (Comisión Nacional de Energía Atómica. Irradiación de Alimentos, 2010).

D. Factores que afectan a la irradiación.

Se deben controlar además factores importantes a la hora de irradiar para evitar daños nutricionales y organolépticos tales como: dosis, temperatura del producto a irradiar, estados de maduración, tipos de envase, presencia o no de Oxígeno y tiempo de exposición a la radiación (Comisión Nacional de Energía Atómica. Irradiación de Alimentos, 2010).

E. Plan de trabajo para exportación de chile manzano (*Capsicum pubescens*) con destino a Estados Unidos de Norteamérica.

Se designará a un solo Cooperador como una entidad de administración para representar a las partes involucradas en el país exportador (incluyendo exportadores, empacadoras y plantas de tratamiento). El Plan de Trabajo será utilizado como una guía para el tratamiento, certificación y exportación de productos a los Estados Unidos de América, en el cual se describen los requerimientos del programa para tratamiento de productos aprobados para irradiación. Los productos aprobados serán específicamente identificados en addendum o adenda, las cuales pueden ser revisadas según sean aprobados productos adicionales para ingreso a los Estados Unidos. Dicho Plan de Trabajo estará vigente hasta que un nuevo Plan de Trabajo sea aprobado y firmado por ambas partes. Las desviaciones de estos lineamientos no están autorizadas, a menos que ambas partes provean su previa aprobación por escrito (USDA, APHIS-IS, SENASICA, SAGARPA, DGSV, 2007).



F. Exportación de chile manzano irradiado (*Capsicum pubescens*).

Las organizaciones participantes son la DGSV, SAGARPA. En el cual dicho Plan Operativo para la exportación de chile manzano a Estados Unidos fue aprobado en el año 2009 por el Dr. Javier Trujillo Arriaga (Director General de Sanidad Vegetal SAGARPA-SENASICA-DGSV) y el Dr. Alan Green (Director Ejecutivo de los programas de Sanidad Vegetal USDA-APHIS-PPQ). (USDA, APHIS-IS, SENASICA, SAGARPA, DGSV, 2007)

Los objetivos del tratamiento de irradiación del chile manzano son la prevención de la emergencia del adulto de moscas de la fruta y al menos una forma de neutralización (muerte, generar esterilidad o detener su posterior desarrollo hacia adulto) de las otras plagas objetivo. Las plagas incluyen tanto plagas cuarentenarias objetivo como plagas cuarentenarias no objetivo, en las primeras se definen como una plaga de importancia cuarentenaria, la cual será neutralizada por la dosis absorbida y las segundas es una plaga de importancia cuarentenaria que no se sabe si será neutralizada por irradiación.

En el Anexo 4 del Plan de Trabajo Operativo se rige por los requerimientos para la exportación de chile manzano irradiado de México a los Estados Unidos de América, en el cual se establecen distintos puntos, los cuales son:

1. El artículo a ser exportado es Chile manzano (*Capsicum pubescens*).
2. La plaga de importancia cuarentenaria objetivo es *Anastrepha ludens* (loew) (Tephritidae) y cualquier otra mosca de la fruta (Tephritidae) del complejo *Anastrepha*.
3. De acuerdo a las reglas de APHIS, todas las plagas insectiles de la familia Tephritidae son neutralizadas con una dosis mínima de 150 Gy, por lo que ésta será la dosis mínima a tratarse en el chile manzano y será monitoreada por inspectores de APHIS.
4. Los huertos certificados deben utilizar medidas de control de plagas apropiadas para asegurar niveles bajos de población de plagas (Especialmente de moscas de la fruta)



- y para cumplir con las normas de horticultura requeridos por el Programa de Huertas como lo haya determinado la DGSV.
5. Los chiles deben ser empacados dentro de las primeras 24 horas de haber sido cosechados.
 6. La fruta debe ser producida comercialmente y ser parte de un embarque comercial.
 7. Cada embarque de fruta debe ser inspeccionada conjuntamente por inspectores de APHIS y SAGARPA y acompañado por un certificado fitosanitaria (CF) emitido por personal oficial de SAGARPA.
 8. Asegurar que los paquetes que contienen productos para tratamiento estén marcados con las leyendas “Tratado por Irradiación” o “Tratado con radiación” y sean tratados apropiadamente.
 9. Se debe asegurar que exportadores y empacadores de chile manzano adhieran etiquetas en frutos individuales, la cual debe incluir número de lote, código de la empacadora o planta de tratamiento y país de origen. Si el empaque es en caja de cartón o contenedores, al menos el 20% de los chiles deben llevar etiquetas. Para los chiles que son empacados en cajas de plástico (clamshells) o bolsas de malla, sólo la parte exterior debe llevar una etiqueta.
 10. El área de empaque podrá recibir chile únicamente de invernaderos autorizados por PIPAA y APHIS-IS
 11. Deben ser empacados en cajas. El interior debe ser cubierto con plástico u otro material para poder ser transitados en Estados Unidos.
 12. Las frutas importadas a los Estados Unidos están sujetas a inspección en el puerto de entrada, cuando los inspectores determinen que esta medida sea necesaria.



Las acciones a tomar cuando se detectan plagas vivas durante la inspección previa al tratamiento se presentan en la Tabla C3.

Tabla C 3. Acciones cuando se detectan plaga

Plagas	Tipo de Plaga	Número encontrado	Acción
Plagas objetivo	Tephritidae (Mosca de la fruta)	1	Pasa a tratamiento
		Más de 1	Rechazo del lote
Plagas no Objetivo	Otras plagas	1 o más	Como sea indicado por <i>PPQ</i> ,

Fuente: USDA, APHIS-IS, SENASICA, SAGARPA, DGSV (2007).



ANEXO D

Cuestionario para la Evaluación sensorial

FECHA: _____ SEXO: _____ EDAD: _____

OCUPACIÓN: _____

De cada par de muestras que se te proporcionarán deberás contestar marcando con una X si existe o no diferencia entre ellas, evaluando el grado de picor de las salsas. Antes de cada prueba, incluida la primera, es necesario enjuagarse la boca con agua a Temperatura ambiente y darle una mordida a la galleta y continua con la siguiente muestra.

1.-

MUESTRAS			Si hay diferencia	No hay diferencia
1.-	489	651		
2.-	248	240		
3.-	319	702		
4.-	703	147		
5.-	409	582		
6.-	891	198		

AMARILLO

2.- De las mismas muestras que se te proporcionaron deberás marcar con una X la respuesta que más se asemeje a tu juicio a cada pregunta realizada. Antes de cada prueba, incluida la primera, es necesario enjuagarse la boca con agua a Temperatura ambiente y darle una mordida a la galleta y continua con la siguiente muestra.

a) La apariencia de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				



b) El color de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Pálido				
Amarillo				
Entre amarillo y naranja				
Naranja				

c) El aroma de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				

d) La consistencia de la salsa es :

Categoría	248	489	651	702
Muy líquida				
Líquida				
Ni líquida, ni espesa				
Espesa				
Muy espesa				

e) El sabor de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				

f) El picor de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Sin picor				
Poco picante				
Picante				
Muy picante				



3.- En una escala del 0 al 10 qué tan agradable te pareció la muestra (0 significa que te desagradó mucho y 10 que te agradó mucho). Marca la calificación correspondiente a cada muestra.

MUESTRAS	CALIFICACIÓN
248	
489	
651	
702	

VERDE

4.- De las mismas muestras que se te proporcionaron deberás marcar con una X la respuesta que más se asemeje a tu juicio a cada pregunta realizada. Antes de cada prueba, incluida la primera, es necesario enjuagarse la boca con agua a Temperatura ambiente y darle una mordida a la galleta y continua con la siguiente muestra.

a) La apariencia de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				

b) El color de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Pálido				
Verde				
Entre amarillo y verde				
Amarillo				

c) El aroma de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				



d) La consistencia de la salsa es :

Categoría	248	489	651	702
Muy líquida				
Líquida				
Ni líquida, ni espesa				
Espesa				
Muy espesa				

e) El sabor de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Muy desagradable				
Desagradable				
Ni agradable, ni desagradable				
Agradable				
Muy agradable				

f) El picor de la salsa es:

Categoría	248	489	651	702
Sin picor				
Poco picante				
Picante				
Muy picante				

5.- En una escala del 0 al 10 qué tan agradable te pareció la muestra (0 significa que te desagradó mucho y 10 que te agradó mucho). Marca la calificación correspondiente a cada muestra.

MUESTRAS	CALIFICACIÓN
248	
489	
651	
702	



REFERENCIAS



Referencias

1. Akl, A.; Eid, A.; Yegab, M. (1995). Effect of urea, some micronutrients and growth regulator foliar spray on the yield, fruit quality and some vegetative characters of Washington navel orange trees: fruit physical and chemical properties. *Hortscience*, 30: 30-80.
2. A.O.A.C. (1999). Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Analytical Chemists, Washington, D.C.
3. Andrews, J. (2000). Chili peppers. pp 281-288. En Kiple K.F. y K.C.T. Ornelas (eds.), *The Cambridge world history of food*. Volumen 1. The Cambridge University Press, Cambridge.
4. Angueria, M.; Sandoval, A.; Barreiro, J. (2003). Tasas de respiración en cuatro híbridos de pimentón (*Capsicum annum* L.) *Intercencia*, 28(10): 593-596.
5. Antonio, S. (2008). Chile manzano en invernadero, ventajas productivas y de mercado, *Revista Imagen Agropecuaria*. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.imagenagropecuaria.com>
6. Antonio, S. (2007). Alimentos irradiados, una alternativa de conservación. *Revista Imagen Agropecuaria*. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.imagenagropecuaria.com>
7. Arzate, S. (2009), Irradiación nuclear eliminará mermas y garantizará inocuidad en agro alimentos, *Revista Imagen Agropecuaria*, número 1, Junio. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.imagenagropecuaria.com>
8. Astiasarán, I. y Martínez, J. (2000). *Alimentos: composición y propiedades*. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España.
9. Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Alhambra – Mexicana. México.



10. Bautista, M. (2010). Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Postgrado de Edafología. México.
11. Barbosa, C., V. G. (1999). *Conservación no térmica de alimentos*. Acribia, España.
12. Barreiro, J. A., Sandoval, A. J. (2002). *Operaciones de Conservación de Alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio. Caracas, Venezuela.
13. Belakbir, A.; Ruiz, J.; Romero, L. (1998). Yield and fruit quantity of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to bioregulators. *HortScience*, 33 (1): 85-87.
14. Biacs, P. A., Czinkotal, B., Hoschke, A. (1992). Factors affecting stability of colored substances in paprika powders. *Journal of Agriculture Food and Chemistry*. 40, 363-367.
15. Bramlage, W.J., Meir, S. (1990). Chilling injury of crops of temperate origin. In: Wang, C.Y. (ed.), *Chilling injury of horticultural crops*. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL.
16. Bosland, P. y Votava, E. (2000). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*, Cabi Publishing, US.A.
17. Bosquez, M. (1992). Introducción a la bioquímica de los alimentos. El manual moderno. México.
18. Carpenter, R.; Lyon, D.; Hasdell, T. (2002). *Análisis Sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Acribia, España.
19. Castaños, M., C. M. (1999). Horticultura. Manejo simplificado. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México



20. Castillo, C.; Ortiz, C.; Borie, F.; Rubio, R. (2009). Respuesta de Ají (*Capsicum annuum* L.) “Cacho de Cabra” a la Inoculación con Hongos Micorrícicos”, *Información Tecnológica*, 20 (4): 3-14.
21. Casar, M. C y Moreno, C. (2005). La ionización de chiles frescos, deshidratados y enteros: una alternativa para mejorar su calidad sanitaria. NGS Enterprises/Sterigenics, Inocuidad y post cosecha, segunda convención Mundial del Chile.
22. Charlie, H (2001). *Tecnología de Alimentos*. Limusa. México.
23. Cheftel J., Cheftel, H., Besancon, P. (2000). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Vol. I y II. Acribia. Zaragoza, España.
24. Clemente, L., I. (2004). Caracterización post cosecha de cinco híbridos de Chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Universidad Autónoma de Chapingo. Edo de México.
25. Collins, M.D., Wasmund, L.M., Bosland, P. (1995). Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. *HortScience* 30(1): 137-139.
26. Comisión Nacional de Energía Atómica. Irradiación de Alimentos (2010). Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.cnea.gov.ar>
27. Consumer Eroski (1999), Irradiación de los alimentos. Polémica forma de conservarlos. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://revista.consumer.es>
28. Coultate, T. (1998). *Manual de química y bioquímica de los alimentos*. Acribia. Zaragoza, España.
29. CPI. (2006). Chile pungency. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: www.chilepepperinstitute.org.



30. Cruz, A.; Gardea, A.; González-Gutiérrez, M.; Víctor A.; Pérez, M.; Soto, R. (2007). Capsaicinoides, Vitamina C y Heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia*, 41 (06):627-635.
31. Daood, H. G., Biacs, P. A., Kiss- Kutz, N., Hajdu, F., Czinkotal, B. (1989). Lipid and antioxidant content of red pepper In: Biacs, P. A, Gruiz, K., Kremmer, T. (eds). *Biological role of plant lipids plenum publishing*. E.U.A.
32. Davies. (1998). Physiology of metabolism. *Biochem. Of plants*, 12: 479- 523.
33. DeWitt, D., Stock, M.T., Hunter, K. (2000). *Los poderes curativos de los chiles: remedios y recetas para mejorar vida y salud*. Diana. México.
34. DeWitt, D., Bosland, P. (1996). *Peppers of the world: An identification guide*. Ten Speed Press. Berkeley, CL.
35. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (2001). Comunicación de la Comisión relativa a alimentos e ingredientes autorizados para el tratamiento con radiaciones ionizantes en la comunidad. (2001/C 241/03). España
36. Díaz, J. (2006). Perfil del pimiento paprika. Ministerio de Agricultura de Perú. (Producción de chile en México).
37. Diehl, J. (1991). Nutritional effects of combining irradiation with other treatments, *Food Control*, 1:20-24.
38. Dorantes, G. (2003). Efectos genéticos de la vida de anaquel en chile serrano (*Capsicum annuum*): Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Narro. México.
39. Durand, J. L. (2000). Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante. Trabajo especial de Ingeniería Nuclear. Argentina.



40. Estrada, B.; Pomar F, Díaz, J.; Merino, F.; Bernal, M. (1999). Pungency level in fruits of the Padron pepper with different water supply. *Sci. Hortic.*, 81: 385-396.
41. Estrada, B.; Pomar F, Díaz, J.; Merino, F.; Bernal, M. (1997). Evolution of capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. var. *annuum* cv. Padron fruits at different growth stages. *Capsicum Eggplant Newsletter*, 16:60-63.
42. Estrella, V. (2012) (*En revisión*). Aplicación de recubrimientos a base de ceras adicionadas con compuestos naturales y químicos para controlar la antracnosis en aguacate “hass”. México
43. FAO (2005). Bases de datos estadísticos de la FAO-Agricultura, pesca, silvicultura y Nutrición. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org>
44. FAO, IAEA, WHO (1986), Task force meeting on the use of irradiation to ensure hygienic quality of food. International Consultative Group on food Irradiation, July, Vienna, Austria.
45. FAO, OIEA, OMS. (1981) Comestibilidad de los alimentos irradiados, Informes Técnicos Número 659, Ginebra.
46. Fellows. P. (2000). Food processing technology. Principles and practice. Segunda Edición. Woodhead Publishing Limited, Inglaterra.
47. García, W. (1998). Los átomos amigos. *Revista Alimentos Argentinos* (9):22-24. Consultado en Abril 2010. Disponible en: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar>
48. Gnayfeed, M.H, Daood, H.G., Biacs, P.A., Alcaraz, C.F. (2001). Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1580-1585.
49. Govindarajan, V.S. (1988). *Capsicum*: Production, technology, chemistry and quality. *CRC Critical Reviews in food Science Nutrition*. 25(3) 185-282



50. Govindarajan, V.S., Sathyanarayana, M.N. (1991). Capsicum - Production, Technology, Chemistry, and Quality. Part V. Impact on Physiology, Pharmacology, Nutrition, and Metabolism; Structure, Pungency, Pain, and Desensitization Sequences. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 29(6): 435-474.
51. Graham, W. y Stevenson, M. (1997). Effect of irradiation on vitamin C content of strawberries and potatoes in combination with storage and with further cooking in potatoes, *J. Sci. Food Agric.*, 75:371-377.
52. Gray, L., Collavino, G., Gilardon, E., Hernandez, C., Olsen, A. (1999) Heredabilidad de la Resistencia a la “polilla del tomate” (*Tuta absoluta* Meyrick) y su correlación genética con caracteres de calidad, en descendencias de cruzas interespecíficas del genero *Lycopersicon*. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 14(3) 446- 451.
53. Haymon, L.W., Aury, L.W. (1971). Volatile constituents of Tabasco peppers. *J. Agric. Food Chem.*, 19: 1131-1134.
54. Hernández, O. V. y M. A. (1993). Listado de especies del género neotropical *Anastrepha* (DIPTERA: Tephritidae) con notas sobre su distribución y plantas hospederas. *Fol. Entomol. Mexico.*, 88:89-105.
55. Hedstrom, I., Jirón, L. F. (2005) Evaluación de campo de sustancias atrayentes en la captura de *Anastrepha* spp (Diptera, tephritidae), plaga de frutales en América tropical. *Revista bras* 29 (3/4) 515- 520.
56. Hidalgo, J. (2010). Alimentos Irradiados: cuestión de confianza. *Revista Consumer Eroski*. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.consumer.es>
57. Hornero, M. D., Gómez, L. de G. R, Mínguez, M. M. (2000). Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 3857-3864.



58. Howard, L.R., Smith, R.T., Wagner, A.B., Villalon, B., Burns, E.E. (1994). Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapeños. *J. Food Sci.*, 59: 362-365.
59. Howard, L.R., Talcott, S.T., Brenes, C.H., Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 1713-1720.
60. Ibar, A., L. y Serrat B. J. (1989). Tomates, pimientos y berenjenas. Editorial Aedos. Barcelona, España.
61. INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Diccionario de datos vectorial. Consultado en Enero 2010. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>
62. Industria Agrícola Maya (2010). Chile Habanero. Consultado en Enero 2010. Disponible en: <http://www.habanero-yucatan.com>
63. Juárez, H. (2000) El trips. Pequeños pero... Spannabis Magazyne. Edición Digital. Consultado en Septiembre 2010. Disponible en: <http://www.spannabismagazine.com>
64. Kader, A. (1997). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 2a ed. Publicación 3311. University of California. E.U.
65. Kader, A. (2007) Post cosecha de productos Hortofrutícolas. 3ª ed. Universidad de California. E. U.
66. Kanner, J., Harel, S., Mendel, H.(1979). Content and stability of α - tocopherol in fresh and dehydrated pepper fruits (*Capsicum annuum L.*) *Journal of Agriculture, Food and Chemistry*. 27: 1316- 1318.
67. Keller, U., Flath, R.A., Mon, T.R., Terranishi, R. (1981). Quality of selected fruit and vegetables of North America En R. Terranishi y H. Barrera-Berirtz (eds. ACS Symposium series 170. ACS. U.S.A.



68. Kinsella, D.E., Kemp, T.R. (1983). Ethephon and CPTA on color development in bell pepper fruits. *Hort Science*, 8: 403- 404.
69. Knee, M. (2008). Bases biológicas de la calidad de la fruta. Acribia, España.
70. Kollmannsberger, H., Rodríguez, B. A, Nitz, S., Nuez, F. (2006). Compuestos volátiles implicados en el aroma de las especies cultivadas de *Capsicum*. *Actas de Horticultura*, 45:89-90.
71. Konica minolta sensing. Ing (2003). Comunicación precisa de los colores. Consultado en: Octubre 2010. Disponible en: www.konicaminolta.eu
72. Larrín, S. P. (2004) Situación de la mosca minadora *huidobrensis* (blanchard) en cultivos de papa del cono sur de América y sus perspectivas de manejo integrado. Suplemento revista Latinoamericana de la papa. 3: 5- 14.
73. Latham, M.C. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 29. FAO, Roma.
74. Lee, J.; Crosby, K.; Pike, L.; Yoo, K.; Leskovar, D. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Sci. Hortic*, 106: 341-352.
75. Lee, Y.; Howard, L.; Villalon, B. (1995). Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science* 60: 473-476.
76. Lees. R. (1980). *Análisis de los alimentos*. Acribia, España.
77. Linares, A. M. A (1990). Estudio de radioconservación del espárrago (*Asparagus Officinalis*). Universidad Nacional del Callao Facultad de Ingeniería Química. Peru.



78. Loaharanu, P. (1971). Recent research on the influence of irradiation of certain tropical fruits in Thailand. International Atomic Energy Agency (ed.). *Disinfestation of fruit by irradiation*. Vienna: IAEA. 113-124.
79. Lomelí, M.; Tamayo, R. (2010). Irradiación de Alimentos. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.sagan-gea.org>
80. Long, J. (2005). El chile, indispensable en la comida mexicana, nació en Sudamérica. Conferencia durante la 25 jornada del IME. SER. Consultado en Enero 2010. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx>
81. López, C. L., López, C.M., Robles, D. G., Ramírez, E. A., Mohar, B. A., Meneses, A., López Y., Blair A. (2003). Capsaicin consumption, Helicobacter pylori positivity and gastric cancer in Mexico. *Int J Cancer*, 106:277-282.
82. Lorenz, O. A., Maynard, D. N. (1988). *Hybook for vegetable growers*. Wiley. E.U.A.
83. Lownds, N.K., Banaras, M., Bosland, P. (1993). Relationship between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (*Capsicum annuum L.*). *HortScience*, 28: 1182- 1184.
84. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A.L., Randall, R, J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent; *Journal Biology and Chemistry*, 193: 265-275.
85. Lunning, P.A., Rijk, T., Wichers, H. J., Roozen, J.P. (1994). Gas chromatography, mass spectrometry, and sniffing port analyses of volatile compounds of fresh bell peppers (*Capsicum annuum*) at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* 42: 977-983.



86. Lyon, B.; Senter, S.; Payne, J. (1992). Quality characteristics of oriental persimmons (*Diospyrus kaki* L.) Fuyu grow in the southeastern United States. *Journal of Food Science*, 57: 693-695.
87. Lyons, J.M. y Lippert, L.F. (1966). Characterization of fatty acids from roots and shoot lipids of *Capsicum* species. *Lipids*, 1(2), 136.
88. Matissek, R.; Schnepel, F.; Steiner, G. (1998). *Análisis de los Alimentos: Fundamentos, métodos y aplicaciones*. Acribia. España.
89. McKee, L. (1998). Chile skin as a fiber source. NMSU Chile Conference. Las Cruces. E.U.A.
90. Meléndez, A.; Vicario, I.; Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. Volumen 54 (2). España. Consultado en Noviembre 2010. Disponible en: <http://www.alanrevista.org>
91. Meléndez-Martínez, Vicario, I., Heredia F. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. Volumen 57 (2). España.
92. Meza, T. (2010). Recetas de cocina. Salsa de chile manzano en ajo. Disponible en: www.recetascocina.com
93. Moguel, O.; Trujillo A.; Avilés, B.; Gutiérrez A. (2006). Calidad morfológica del fruto de variedades de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Yucatán, México. Tercera Convención Mundial de Chile. México.
94. Mozafar, A. (1994). *Plant vitamins: Agronomic, physiological and nutritional aspects*. CRC Press, Boca Raton, E.U.A.



95. Namesny, A. (1999). *Post recolección de hortalizas*. Ediciones de Horticultura, Volumen 3, España.
96. Narvaiz, P. (2000). Irradiación de los Alimentos. Unidad de Actividad Aplicaciones Tecnológicas y Agropecuarias. Argentina. Consultado en Abril 2010. Disponible en: <http://www.nutrinfo.com.ar>
97. National Academy of Science. (1982). Diet, nutrition, and cancer. In: C. Grobstein (Chairman). *A report by the Committee on Diet, Nutrition, and Cancer*, Commission on Life Sciences. National Academy Press, Washington, DC.
98. National Research Council (NRC), Food and Dietary Board (1989). Recommended Dietary Allowances. National Academy of Sciences. Washington DC.
99. Nisperos- Carriedos, M., Bosling, B., Shaw, P. (1992) Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic and some organic acid in fruits and vegetables by HPLC. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40: 1127- 1130.
100. NMX-FF-025-SCFI-2007. Productos Alimenticios no industrializados para consumo humano- chile fresco (*Capsicum spp*). México. Norma Mexicana.
101. NOM-033-SSA1-1993. Bienes y servicios. Irradiación de alimentos. Dosis permitidas en alimentos, materias primas y aditivos alimentarios. Norma Oficial Mexicana. Consultado en Marzo 2010. Disponible en web: <http://www.salud.gob.mx>
102. Norma General del Codex para alimentos irradiados (Norma mundial) CODEXSTAN 106-1983. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar>
103. Norma General del Codex para el etiquetado de los alimentos preenvasados CODEX STAN 1-1985. Consultado en Febrero 2010. Disponible en: www.codexalimentarius.net



104. Norma General del Codex para prácticas en el tratamiento de Alimentos por Irradiación CAC/RCP 19-1979, Rev. 1-1983. Consultado en Diciembre 2011. Disponible en: www.codexalimentarius.org
105. Nuez, F., Gil-Ortega, R., Costa, J. (2003). *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Mundi Prensa. España.
106. Ojeda, L. (2003). Aplicación de composta de residuos vegetales sobre tomate y pimiento. Revista dosier Fertilización otoñal. Vida Rural 48- 50.
107. Olvera M, Martínez C., Real de León. E. (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. México. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.fao.org>
108. Osuna-García, J., Wall, M., Waddell, C. (1998). Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of new mexican-type chile (*Capsicum annuum* L.) *J. Agric. Food Chem.*, 46: 5093-5096.
109. Padmanaban, B. y Sathiamoorthy, S. (2001) El barrenador del tallo del banano *Odoiporus Longicollis*. Inibap. Consultado en Septiembre 2010. Disponible en: www.inibap.org
110. Pablo, I.; Manalo, J.; Cardeño V. (1971). Sensory, chemical and nutritional evaluation on the effect of ionizing radiation on mangoes (*Mangifera indica* Linn.) var. "Carabao". *Proc. Use of Irradiation to Solve Quarantine Problems in the Int. Fruit Trade*.
111. Pantástico, E. B. (1979). *Fisiología de la Postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales*. Compañía Editorial Continental. México.



112. Pearson, D. (1998). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Acribia, España.
113. Pedrero, D. y Pangborn, R. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Analíticos*. Alhambra mexicana. México.
114. Peña, C. M. E. (2008). Tratamiento cuarentenario contra la mosca mediterráneo (*Ceratitis capitata*) en mangos variedad Haden (*Manguífera índica*) con irradiación gamma (Co- 60). Universidad Nacional Mayor San Marcos. Facultad de Farmacia y bioquímica. Perú.
115. Pérez, M. (2006). Cultivo de chile manzano en zonas altas. *Revista Técnico Ambiental*. Consultado en Mayo 2010. Disponible en: <http://www.teorema.com.mx>
116. Pino, J., Gonzalez, M., Ceballos, L., Centurión- Yah., Trujillo, A. J., Latounerie-Moreno L., Sauri, D. E. (2007). Characterization of total capsaicinoids, color and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack). Cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry* 104: 1682- 1686.
117. Public Citizen, Protecting Health, Safety & Democracy (2010). La irradiación y el comercio Internacional: El creciente control empresarial sobre el abastecimiento de alimentos a nivel mundial . Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.citizen.org>
118. Pujol, X. (2003). Los alimentos irradiados no logran despegar en Europa. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.consumer.es>
119. Real decreto 348/2001 (2001). Elaboración, comercialización e importación de productos alimenticios e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. Consultado en Febrero 2010. Disponible en: <http://www.belt.es>



120. Reglamento Sanitario de los Alimentos, Gobierno de Chile (2010). DTO. No 977/96 (D.OF.12.05.97), Actualizado Junio 2010. Consultado en Octubre 2010. Disponible en: <http://www.redsalud.gov.cl>
121. Rodríguez, B.A. y Nuez, V.F. (2007). Caracterización del contenido en elementos esenciales de una colección de tipos varietales de pimiento *Capsicum annuum* con diversos orígenes geográficos. *Actas de Horticultura*, 48: 57- 60.
122. Rossi, L.; Watson, D.; Escandarani, S.; Miranda A.; Troncoso A. (2009). La radiación a la mesa. *Rev Chil Infect.* 26(4): 318-330. Consultado en Octubre 2010. Disponible en: <http://www.scielo.cl>
123. Ruiz, E. S., Aguilar, O. O., Cristóbal, J. A., Tún, J. M. S., Latournerie, M. L., Pérez, G. A. (2009). Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus Eugeniei* Cano) (coleoptera: curculionidae) en chile habanero (*Capsicum Chinense* jacq.) Fitosanidad 13 (2) 117- 120.
124. Russo, V.M. y Howard, L.R. (2002). Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. *J. Sci. Food Agric.* 82: 615-624.
125. SAGARPA (2010). Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado en Marzo 2010. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>
126. Saavedra, G del R (2009). Efecto del medio ambiente en el contenido de licopeno y sólidos solubles del tomate para procesamiento. Seminario Internacional “Producción de tomate para procesamiento”, 1: 45- 52.
127. Salunkhe, D. (1993). Postharvest Biotechnology of fruits. CRC Press. Florida, USA.



128. Sakamoto, S., Y. Goda, T. Maitani, T. Yamada, O. Nunomura, and K. Ishikawa. (1994). High-performance liquid chromatographic analyses of capsaicinoids and their phenolic intermediates in *Capsicum annuum* to characterize their biosynthetic status. *Biosci. Biotech. Biochem*, 58: 1141-1142.
129. Scoville, W.L. (1912). Note on Capsicum. *J. Amer. Pharmac. Assoc.*, 1: 453-454.
130. SERNAC (2004). Irradiación de Alimentos. Información al consumidor sobre el significado del tratamiento con energía ionizante. Consultado en Octubre 2010. Disponible en: <http://www.sernac.cl>
131. Simic, M. (1983). Radiation chemistry of water-soluble food components, In: Josephson, E. and Peterson, M. (eds). *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. Vol. II. CRC Press, Boca Raton, FL.
132. Somos. A. (1984). The paprika. Akadémia. Kiadó, Budapest.
133. Stern, D.; Ortolá, M. D.; Fito, P. (2000). Estudio de la influencia de distintas condiciones de almacenamiento de cítricos sobre el desarrollo de componentes volátiles indeseables y predicción de su vida útil. Series de Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Investigación del Postgrado del IAD-DTAN, (1):159-175.
134. Szallasi, A., Blumberg, P. M. (1990). Resiniferatoxin and its analogs provide novel insights into the pharmacology of the vanilloid (capsaicin) receptor. *Life Sciences*, 47: 1399-1408.
135. Tamayo, P.J. (2005). Problemas patológicos en cultivos de pimentón y berenjena. *ASCOLFI INFORMA*, 31(6): 52-53.
136. TECH ION industrial Brasil. (2001). Legislación Brasileira. N° 21. Brasil.
137. Thayer. D.; Fox J.; Lakritz, L. (1991). Effects of ionizing radiation on vitamins. In: Thorpe, S.(eds). *Food Irradiation*, Applied Science. Londres.



138. USDA, APHIS-IS, MAGA (2006). Plan de trabajo para la exportación de chile (*Capsicum* spp.) con destino hacia los Estados Unidos de América.
139. USDA, APHIS-IS, SENASICA, SAGARPA, DGSV (2007). Irradiación. Plan de trabajo operativo entre México y Estados Unidos de América.
140. Vázquez, E.; Ramírez, M.; Vázquez, A.; Mata, H.; Flores, R. (2007). Características de calidad y vida de anaquel de siete cultivares de chiles habaneros (*Capsicum chinense* Jacq.) en el sur de Tamaulipas. *Cuarta Convención Mundial del chile. Poscosecha*. México. 4:177-181.
141. Wall, M. M., Waddell, C. A., Bosland, P. (2001). Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *Hort Science*, 36(4): 746-749.
142. Williams, DJ., Granara, M. C. (1992) Mealybugs of Central and South America C. A. B. International, Wallingford.
143. Wills, R.; Mc Glasson, B.; Graham, D.; Joyce D. (1999). Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. 2ª edición. Acribia. España.
144. Wimalasiri, O. y Wills, R. (1983). Simultaneous analysis of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in fruits and vegetables by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 256: 368-371.
145. Zewdie, Y. y Bosland, P. (2000). Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica*. 111: 185-190.
146. Ziegler, R.; Mason, T.; Stemhagen, A. Hoover, R.; Schoenberg, J.; Gridley, G.; Virgo, P.; Fraumeri, J. (1986). Carotenoid intake, vegetables, and the risk of lung cancer among white men in New Jersey. *Amer. J. Epidemiol*, 123: 1080-1093.