



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**EFFECTO DEL TRATAMIENTO POR IRRADIACIÓN GAMMA SOBRE LA
CALIDAD Y VIDA ÚTIL DEL CHICOZAPOTE (*Manilkara sapota*)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTAN:

JENICE LIZETTE LÓPEZ MARÍN

ATZELBI ELIZABETH MEDINA BACA

ASESORA: DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX.

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

U. N. A. M.
 ASUNTO: VOTO APROBATORIO
 CUAUTITLÁN

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 del tratamiento por irradiación gamma sobre la calidad y vida útil del chicozapote
 (Manilkara sapota)

Que presenta la pasante: Jenice Lizette López Marín
 Con número de cuenta: 407006225 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 Izcalli, Méx. a 11 de octubre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José Francisco Montiel Sosa	
VOCAL	M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	M. en C. Julieta González Sánchez	
2do SUPLENTE	M. en T.A. Omar Reyes Martínez	

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.

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 del tratamiento por irradiación gamma sobre la calidad y vida útil del chicozapote
(Manilkara sapota)

Que presenta la pasante: Atzelbi Elizabeth Medina Baca
Con número de cuenta: 407011278 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 Izcalli, Méx. a 11 de octubre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. José Francisco Montiel Sosa	
VOCAL	M. en C. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er SUPLENTE	M. en C. Julieta González Sánchez	
2do SUPLENTE	M. en T.A Omar Reyes Martínez	

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 PAPIME: **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 (PE202610)**, de la Dirección General de Asuntos de 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.

“El éxito consiste en obtener lo que se desea. La felicidad, en disfrutar lo que se obtiene”.

Ralph Waldo Emerson

“La ambición es el camino al éxito, la tenacidad, el vehículo en que se llega”.

Bill Eardley

“Una mente atormentada por la duda no puede concentrarse en el camino que conduce al éxito”.

Marianne Williamson

"No permitas que nadie diga que eres incapaz de hacer algo, ni si quiera yo. Si tienes un sueño, debes conservarlo. Si quieres algo, sal a buscarlo, y punto. ¿Sabes?, la gente que no logra conseguir sus sueños suele decirles a los demás que tampoco cumplirán los suyos"

“En busca de la felicidad

Agradecimientos

Mamá, has sido una persona muy importante durante toda mi vida, desde que nací has estado conmigo viéndome crecer, caer y levantarme. Por eso y más quiero agradecerte, porque durante todo el tiempo que invertí en la realización de mi tesis, estuviste ahí, apoyándome, dándome ánimos para continuar en los momentos difíciles. Hoy ya es una realidad, es un hecho, por fin el trabajo se vio recompensado y en gran parte fue por ti, por tu fe en mí. Gracias mamá.

Papá, los breves momentos en los que estás conmigo son muy importantes, gracias a tu trabajo y orgullo hacia mí, tengo fuerzas para realizar mis proyectos. Muchas gracias por tus palabras necias que me hacen crecer, porque si las escucho, aunque creas que te tomo de a loco, todo lo que dices siempre lo escucho con atención. Gracias papi.

Hermanos Beto y Erick, les agradezco solo por el hecho de ser mis hermanos, espero con mucha esperanza que también ustedes logren sus objetivos, me siento orgullosa de cómo han ido creciendo y aprendiendo. Sé que aún les falta mucho, al igual que a mí y cuentan conmigo para lo que necesiten.

Atzelbi, muchas gracias por trabajar conmigo en este proyecto, pasamos muchas cosas durante este tiempo, nos desvelamos trabajando, nos reímos, nos desesperamos, pero al final, terminamos con satisfacción este trabajo. Gracias amiga.

Andy, a ti un agradecimiento especial, porque has sido mi amiga desde hace mucho tiempo y espero que lo sigas siendo aún más. Gracias a los momentos que trabajamos juntas he podido aprender cosas también y he conocido la tolerancia. Gracias amiga por estar siempre ahí.

Te agradezco mucho también a ti Martín, por llevarme casi todos los días a cumplir mi deber, por soportar mis ataques de angustia y apoyarme con alguna palabra bonita y amorosa, sabes lo que siento por ti, te amo. Gracias.

A mis amigos de la universidad que estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos y me apoyaron en todo. Panchichiz muchas gracias por ser mi amiguito, Milí, Mijail, Angie, Eri, Pachequín y el resto de las personas que compartieron momentos agradables conmigo. Muchas gracias a todos ustedes.

Profesoras Selene, Lupita y Miriam, gracias por apoyarnos durante nuestro recorrido experimental para la realización de este trabajo, en especial a ti Selene, porque gracias a tus regaños y buenos consejos ahora somos más “rápidas” para trabajar.

Gracias Dra. Andrea por todo su apoyo ético que nos brindó para lograr finalizar este trabajo tan importante, es usted un ejemplo de perseverancia y fue muy gratificante trabajar a su lado.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir que los alumnos puedan aprender en sus distintos recintos universitarios.

Con mucho cariño para todos

Jenice Lizette López Marín

Agradezco a:

Mi familia, por estar siempre a mi lado, brindándome apoyo incondicional a pesar de algunos obstáculos que nos puso la vida. Gracias por soportar conmigo esas noches de llanto, de ausencia y de desvelos, pero sobre todo, gracias por haber compartido conmigo esta etapa de mi vida. Los amo papá, mamá, Laura y Rubén.

La UNAM, la máxima casa de estudios, y a la FES-C por el apoyo y la oportunidad que me brindaron de estudiar y concluir una carrera de manera satisfactoria, ¡Gracias!

La Doctora Andrea Trejo, por haber confiado en Liz y en mí, por la paciencia, dedicación, apoyo y dirección de este trabajo. Gracias también por el ánimo que nos brindó, además de aquellos momentos de risa y reflexión.

Mi amiguita de tesis, Liz, porque sin sus risas, sus ocurrencias, responsabilidad, apoyo y amistad, la realización de este trabajo no habría sido tan amena.

Mi amiga Florecita, quien me acompañó a lo largo de toda la carrera, compartiendo tristezas, angustias, alegrías, fiestas, risas, desvelos... brindándome su amistad y apoyo incondicionales.

Andy y Milý por compartir con Liz y conmigo momentos agradables fuera y dentro del laboratorio, acrecentando nuestra amistad, compartiendo risas, ocurrencias, desayunos y ¡hasta boda!

Javier Cruz Maranto, profesor y amigo, por contribuir satisfactoriamente con mi formación académica, por compartir conmigo momentos de todo tipo, pero sobre todo ¡Gracias! por la amistad y apoyo incondicionales.

Las profesoras del Laboratorio de Poscosecha, Selene, Lupita y Miriam, por transmitirnos sus conocimientos, por brindarnos apoyo incondicional y por la motivación para siempre seguir adelante.

Todos aquellos profesores que compartieron su conocimiento, haciendo posible mi formación académica, ayudándome a superar los obstáculos en el camino.

Todos los amigos y compañeros que hice durante esta etapa de mi vida (Ricardo, Pacheco, Mijail, Luis, Karina, David, Gabby...y a todos los que no nombro, pero que están presentes), por su apoyo, por los buenos momentos que pasamos y por permitirme entrar en su vida durante estos años.

Atzelbí



ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ll
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Origen	5
2.2. Clasificación taxonómica.....	5
2.3. Producción	6
2.3.1. Producción en México	6
2.4. Variedades	7
2.5. Morfología.....	8
2.6. Composición química	9
2.7. Compuestos fenólicos	10
2.8. Estacionalidad.....	10
2.8.1. Índices de cosecha.....	11
2.9. Vida útil.....	11
2.10. Índices de madurez.....	11
2.11. Índices de calidad.....	12
2.12. Condiciones óptimas de almacenamiento	12
2.13. Proceso de maduración	12
2.13.1. Tasa de respiración y producción de etileno.....	13
2.13.2. Firmeza	15
2.13.3. Azúcares	17
2.13.4. Pérdidas fisiológicas de peso.....	18
2.13.5. Producción de etanol y acetaldehído	18
2.13.6. Compuestos fenólicos	18
2.13.7. Obscurecimiento enzimático	19





2.14.	Pérdidas postcosecha	19
2.14.1.	Daños mecánicos	19
2.14.2.	Enfermedades y plagas	20
2.14.2.1.	Mosca de la fruta	24
2.15.	Métodos de conservación postcosecha	28
2.15.1.	Refrigeración	28
2.15.1.1.	Daños por frío	28
2.15.2.	Atmósferas modificadas	31
2.15.3.	Irradiación	31
2.15.3.1.	Radiaciones ionizantes en alimentos.....	32
2.15.3.2.	Dosis de irradiación para tratamientos cuarentenarios	36
2.15.3.3.	Cambios químicos en los alimentos irradiados	40
2.15.3.4.	Ventajas y desventajas de la irradiación	41
2.15.3.5.	Normatividad para productos irradiados.....	43
2.15.3.6.	Exportación de productos irradiados a Estados Unidos	45
2.15.4.	Métodos de conservación para chicozapote.....	47
3.	OBJETIVOS.....	50
3.1.	Objetivo general	50
3.2.	Objetivos particulares	50
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	52
4.1.	Cuadro metodológico	52
4.2.	Material biológico.....	53
4.3.	Selección de la materia prima.....	53
4.4.	Selección de la temperatura óptima de almacenamiento.....	53
4.5.	Determinación del efecto del lugar de procedencia del chicozapote.....	54
4.6.	Tratamiento por irradiación gamma	54
4.7.	Métodos analíticos	55
4.7.1.	Composición Química.....	55
4.7.1.1.	Humedad	55





4.7.1.2.	Carbohidratos.....	55
4.7.1.3.	Proteínas.....	56
4.7.1.4.	Cenizas.....	56
4.7.1.5.	Fibra cruda.....	56
4.7.1.6.	Grasa.....	56
4.7.1.7.	Pectina.....	56
4.7.2.	Índice de daño por frío (IDF) e Índice de daño por radiación (IDR)	57
4.8.	Parámetros de calidad	57
4.8.1.	Pérdida de peso.....	57
4.8.2.	Intensidad respiratoria	58
4.8.3.	Firmeza.....	58
4.8.4.	Sólidos solubles.....	59
4.8.5.	Acidez titulable y pH	59
4.8.6.	Color.....	60
4.9.	Parámetro nutrimental.....	61
4.9.1.	Vitamina C.....	61
4.10.	Parámetro bioquímico.....	61
4.10.1.	Actividad Pectinmetilesterasa (PME).....	61
4.11.	Evaluación sensorial	62
4.12.	Análisis estadístico.....	63
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
5.1.	Selección de frutos.....	65
5.2.	Caracterización química del chicozapote	66
5.3.	Almacenamiento a temperatura ambiente	67
5.3.1.	Parámetro fisiológico	67
5.3.1.1.	Intensidad respiratoria	67
5.3.2.	Parámetros de calidad	68
5.3.2.1.	Pérdida de peso.....	68





5.3.2.2.	Firmeza	69
5.3.2.3.	Sólidos solubles.....	70
5.3.2.4.	pH	72
5.3.2.5.	Acidez titulable	73
5.3.2.6.	Color	74
5.3.3.	Parámetro nutrimental.....	77
5.3.3.1.	Vitamina C	77
5.3.4.	Parámetro bioquímico.....	78
5.3.4.1.	Actividad pectinmetilesterasa	78
5.4.	Almacenamiento a bajas temperaturas.....	80
5.4.1.	Parámetro fisiológico	80
5.4.1.1.	Intensidad respiratoria	80
5.4.2.	Parámetros de calidad	82
5.4.2.1.	Pérdida de peso	82
5.4.2.2.	Firmeza	84
5.4.2.3.	Sólidos solubles.....	85
5.4.2.4.	pH	86
5.4.2.5.	Acidez titulable	87
5.4.2.6.	Color	89
5.4.3.	Parámetro nutrimental.....	93
5.4.3.1.	Vitamina C	93
5.4.4.	Parámetro bioquímico.....	94
5.4.4.1.	Actividad pectinmetilesterasa	94
5.4.5.	Daños por frío	96
5.5.	Tratamiento de irradiación gamma (γ).....	101
5.5.1.	Parámetro fisiológico	101
5.5.1.1.	Intensidad respiratoria	101
5.5.2.	Parámetros de calidad	103
5.5.2.1.	Pérdida de peso	103





5.5.2.2.	Firmeza y actividad enzimática (PME)	104
5.5.2.3.	Sólidos solubles.....	106
5.5.2.4.	pH	108
5.5.2.5.	Acidez titulable	109
5.5.2.6.	Color	110
5.5.3.	Parámetro nutrimental.....	114
5.5.3.1.	Vitamina C	114
5.5.4.	Daños por radiación	116
5.5.5.	Evaluación sensorial	120
5.5.5.1.	Prueba hedónica	120
5.5.5.2.	Prueba dúo-trío.....	124
CONCLUSIONES		126
RECOMENDACIONES		128
ABREVIATURAS.....		130
ANEXO 1. Determinación de la actividad Pectinmetilesterasa (PME).....		132
ANEXO 2. Requisitos para importar productos irradiados a Estados Unidos		134
REFERENCIAS		139





ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de chicozapote por estado en 2009..... 6

Cuadro 2. Composición Química de chicozapote..... 9

Cuadro 3. Contenido nutricional del chicozapote. 9

Cuadro 4. Clasificación a la cual pertenecen la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa..... 17

Cuadro 5. Principales Enfermedades del chicozapote..... 21

Cuadro 6. Plagas del chicozapote..... 22

Cuadro 7. Descripción de las variantes de tiempo del ciclo biológico de la mosca. 27

Cuadro 8. Tratamiento de irradiación gamma en distintos productos hortofrutícolas.
..... 34

Cuadro 9. Rangos de dosis mínimas para algunos tratamientos cuarentenarios. 38

Cuadro 10. Ventajas y desventajas de la irradiación gamma. 42

Cuadro 11. Estudios realizados en frutos de chicozapote. 47

Cuadro 12. Escala de los parámetros evaluados del chicozapote irradiado a 150, 400 y 1000 Gy. 62

Cuadro 13. Daños presentados en frutos de chicozapote..... 65

Cuadro 14. Composición química experimental de frutos de chicozapote..... 66

Cuadro 15. Color de los chicozapotes de diferentes procedencias almacenados a 20°C..... 76

Cuadro 16. Color de chicozapotes de diferentes procedencias almacenados a 12 y 16°C..... 92

Cuadro 17. Daños por frío en frutos procedentes del estado de Yucatán almacenados a 16°C durante 15 días. 97

Cuadro 18. Síntomas de daños por frío en frutos procedentes de estado de Yucatán almacenados a 12°C durante 15 días..... 98

Cuadro 19. Síntomas de daños por frío de frutos procedentes del estado de Chiapas almacenados a 12°C durante 15 días..... 99

Cuadro 20. Síntomas de daños por frío en frutos de chicozapotes procedentes del estado de Chiapas almacenados a 16°C durante 15 días..... 100

Cuadro 21. Color de frutos de chicozapotes irradiados a 150, 400 y 1000 Gy y frutos sin irradiar..... 113





Cuadro 22. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 150 Gy en frutos de chicozapote almacenados durante 18 días. 118

Cuadro 23. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 400 Gy en frutos de chicozapote durante 18 días. 118

Cuadro 24. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 1000 Gy en frutos de chicozapote almacenados durante 18 días. 118





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje del total de la producción de chicozapote por estado hasta 2009..... 7

Figura 2. (A) Árbol de chicozapote (*Manilkara zapota*) que se distribuye en territorio maya. (B) Trozos de chicozapote, en donde se puede observar la pulpa color naranja-café y semilla negra, características de este fruto. 8

Figura 3. Estacionalidad del chicozapote en México..... 10

Figura 4. Intensidad respiratoria (●) (ml CO₂/kg h) y producción de etileno (○) (μl C₂H₄/kg h) durante el proceso de maduración de frutos de chicozapote a 21±2°C y 60-65% H.R..... 14

Figura 5. Acción de la pectinmetilesterasa..... 16

Figura 6. Acción de la poligalacturonasa. 16

Figura 7. Incidencia de hongos en chicozapote debido a daño mecánico. 20

Figura 8. Ciclo de vida de *Anastrepha* spp. 1) Ovoposición. 2) Periodo larval. 3) Periodo pupal. 4) Mosca adulta. 5) Apareamiento. 26

Figura 9. *Anastrepha serpentina* (mosca del zapote). 27

Figura 10. Respuesta de las plantas sensibles al daño por frío. 29

Figura 11. A) Radura. B) Leyenda de la etiqueta de un producto irradiado. 44

Figura 12. Frutas exportadas a estados Unidos sometidas a un proceso de irradiación..... 46

Figura 13. Chicozapote variedad 'Betawi'. 53

Figura 14. Chicozapotes procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B)..... 54

Figura 15. (A) Cámara de irradiación en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. (B) Dosis de irradiación a las que fueron sometidos los chicozapotes. 55

Figura 16. Balanza granataria utilizada para la determinación de la pérdida de peso..... 57

Figura 17. Analizador de gases utilizado para la determinación de la intensidad respiratoria..... 58

Figura 18. Penetrómetro manual utilizado para la determinación de firmeza. 58

Figura 19. Refractómetro manual utilizado para la determinación de sólidos solubles..... 59

Figura 20. Titulación ácido-base para determinación de acidez titulable (A) y potenciómetro manual para determinar pH (B)..... 59





Figura 21. Colorímetro Minolta con sistema Hunter Lab.	60
Figura 22. Espacio de color Hunter L, a, b.	60
Figura 23. Titulación con indofenol para determinar vitamina C.	61
Figura 24. Equipo utilizado para la determinación espectrofotométrica de la actividad PME.	62
Figura 25. Cambios en la respiración en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	68
Figura 26. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	69
Figura 27. Cambios en la firmeza en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	70
Figura 28. Contenido de sólidos solubles expresados en °Bx en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	71
Figura 29. Cambios en el pH de frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	72
Figura 30. Cambios en el contenido de acidez titulable en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	73
Figura 31. Cambios en la luminosidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	74
Figura 32. Cambios en el ángulo Hue en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	75
Figura 33. Cromaticidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	76
Figura 34. Contenido de vitamina C en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	78
Figura 35. Actividad Pectinmetilesterasa en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.	79
Figura 36. Cambios en la respiración en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C.	81
Figura 37. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C.	83
Figura 38. Firmeza en frutos de chicozapote procedentes de los Estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C.	84





Figura 39. Contenido de sólidos solubles en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. 86

Figura 40. Cambios en el pH en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) a temperaturas de almacenamiento de 12 y 16°C..... 87

Figura 41. Contenido de acidez titulable en frutos procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B), almacenados a 12 y 16°C..... 88

Figura 42. Luminosidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C..... 90

Figura 43. Tono en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. 91

Figura 44. Cromaticidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. 91

Figura 45. Contenido de vitamina C en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. 93

Figura 46. Actividad Específica en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. 95

Figura 47. Daños por frío en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C..... 97

Figura 48. Cambios en la respiración en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 102

Figura 49. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 104

Figura 50. Cambios en la Firmeza (A) Actividad Residual (B) en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C.... 106

Figura 51. Cambios en el contenido de sólidos solubles en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. 107

Figura 52. Cambios en el pH en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. 108





Figura 53. Acidez titulable de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 110

Figura 54. Luminosidad de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 111

Figura 55. Tono (°Hue) de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 112

Figura 56. Cromaticidad (C) de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. 112

Figura 57. Contenido de Vitamina C de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C..... 115

Figura 58. Índice de Daño por Radiación en frutos de chicozapote irradiados a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C, posteriormente transferidos a 20°C.. 116

Figura 59. Características sensoriales evaluadas en frutos de chicozapote sometidos a dosis de irradiación de 150, 400 y 1000 Gy, posteriormente almacenados a 16°C y transferidos a 20°C. 123





RESUMEN





RESUMEN

El chicozapote es un fruto tropical, típico de México, con un gran potencial económico. Este fruto es altamente perecedero y es hospedero de la mosca de la fruta, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar las características sensoriales, parámetros de calidad y vida útil de chicozapote sometido a un proceso de irradiación gamma que permita cumplir con los requisitos fitosanitarios para su comercialización a Estados Unidos.

Los chicozapotes utilizados fueron procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas. Los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (20°C) por un periodo de 9 días y a temperaturas de refrigeración de 12 y 16°C por un periodo de 15 días y posteriormente transferidos a 20°C para alcanzar su madurez comercial. Una vez establecida la temperatura óptima de almacenamiento, los frutos fueron sometidos a dosis de irradiación gamma de 150, 400 y 1000 Gy, siendo almacenados a 16°C durante 14 días y posteriormente transferidos a 20°C para complementar la maduración. El porcentaje de pérdida de peso, respiración, textura, color interno, sólidos solubles, contenido de vitamina C, pH, acidez, actividad de pectin metilesterasa (PME), índice de daños por radiación (IDR) y pruebas sensoriales fueron evaluados.

En los frutos almacenados a 20°C la intensidad respiratoria y el porcentaje de pérdida de peso aumentaron, siendo mayores en los frutos de Chiapas. La firmeza, los sólidos solubles, el pH, la acidez, las características del color y el contenido de vitamina C disminuyeron conforme transcurría el tiempo de almacenamiento, obteniendo valores muy similares entre ambas procedencias, a excepción de los sólidos solubles, los cuales fueron más elevados en frutos de Yucatán; mientras que la vitamina C fue ligeramente superior en frutos de Chiapas. La actividad PME aumentó y fue considerablemente mayor en frutos del estado de Yucatán.

En los frutos expuestos a 12 y 16°C se observó el mismo comportamiento en los parámetros evaluados que en los chicozapotes almacenados a 20°C sin encontrar diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la temperatura de exposición en la pérdida de peso, la respiración, la firmeza, los sólidos solubles, el pH, la acidez, las características del color y el contenido de vitamina C. Sin embargo, la procedencia





de los frutos afectó la firmeza de manera significativa ($p \leq 0.05$), siendo los frutos de Chiapas ligeramente más firmes que los de Yucatán. El contenido de vitamina C fue ligeramente superior en frutos de Chiapas, al igual que el porcentaje de acidez, en contraste, la actividad PME fue superior en los frutos de Yucatán. Los chichzapotes almacenados a 12°C presentaron el mayor IDF con un valor final de 1.75 y 1.80 en frutos de Yucatán y Chiapas, respectivamente. Sin embargo, el lugar de procedencia tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$), haciendo más evidente y severo el nivel de daño en los frutos provenientes del estado de Chiapas.

Los chichzapotes provenientes del estado de Yucatán presentaron mejores características de calidad que los frutos del estado de Chiapas, por lo que para los tratamientos de radiación fueron utilizados chichzapotes de Yucatán. Los frutos expuestos a 1000 Gy presentaron el mayor IDR, con un valor de 3.62 al término del almacenamiento. El tratamiento por irradiación afectó significativamente ($p \leq 0.05$) el contenido de vitamina C, firmeza, acidez titulable e intensidad respiratoria del chichzapote. Los chichzapotes irradiados a 400 Gy fueron aceptados sensorialmente por los panelistas, no encontrando diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a los frutos sin irradiar.

Los tratamientos a dosis de 400 Gy podrían ser una alternativa de aplicación comercial para este fruto y cumplir con los requisitos fitosanitarios para su exportación o movilidad nacional.





INTRODUCCIÓN





1. INTRODUCCIÓN

El chicozapote (*Manilkara sapota*) es una de las especies frutícolas que actualmente tiene un gran potencial, tanto comercial como económico. Su principal uso es para consumo en fresco y últimamente se ha incrementado el interés en este fruto en países como Australia, Israel, Filipinas, Vietnam, España y Estados Unidos (Alía *et al.*, 2002). Sin embargo, su exportación es restringida debido a que es hospedero de moscas de la fruta, *Anastrepha serpentina* Wied (Aluja, 1993).

El chicozapote es un fruto que se deteriora rápidamente después de la cosecha produciéndose diversas reacciones bioquímicas que llevan al ablandamiento, oscurecimiento y otros aspectos no deseables, con la consecuente pérdida de la calidad, disminuyendo así su aceptabilidad, y reduciendo su vida útil (Vargas *et al.*, 2008), por lo que es necesaria la generación de información acerca de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos involucrados en el proceso de maduración, así como el desarrollo de técnicas postcosecha que permitan alargar su vida útil, siendo fundamentales para ofrecer un producto de calidad en el mercado (Bautista *et al.*, 2005).

En la mayoría de los frutos tropicales es muy común que para evitar algunas plagas, tales como la mosca de la fruta, se haga uso de tratamientos que dañan las características sensoriales del fruto, como por ejemplo los tratamientos térmicos. Para evitar este tipo de daños, se ha hecho uso de *Tecnologías Emergentes* como la irradiación gamma, que llega a tener los mismos efectos de los tratamientos térmicos como pasteurización y esterilización, pero manteniendo por más tiempo la calidad de los alimentos y de algunos productos frescos como frutas y vegetales. Mediante la aplicación de esta tecnología se pretende aportar beneficios en la conservación del chicozapote en su estado fresco e impulsar su comercialización en un futuro a nivel nacional e internacional.

La radiación es un proceso físico no térmico que ocasiona pérdida de los electrones más externos de los átomos y moléculas, convirtiendo a los mismos en iones (Roca y Almela, 2004), por lo que resulta una alternativa viable como tratamiento cuarentenario de productos sensibles a altas temperaturas, ofreciendo ventajas sobre los métodos tradicionales. Esta tecnología se ha aplicado por más de 40 años y sus





beneficios se han demostrado en gran diversidad de usos alimentarios. Además tiene la característica de ser fuente de energía limpia que se ha utilizado para fines de salud humana, agricultura y alimentación.

Debido a que la radiación impide el desarrollo de organismos hospederos en las frutas, causando menor daño en las características físicas y organolépticas del fruto, se aplicó este tratamiento para evaluar su efecto sobre los parámetros de calidad, sensoriales, bioquímicos y vida útil del chicozapote, el cual es considerado una fruta tropical.





ANTECEDENTES





2. ANTECEDENTES

2.1. Origen

El chicozapote (*Manilkara sapota*) es un fruto originario de Mesoamérica, se distribuye en México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua (Alía *et al.*, 2002). Es un cultivo de clima tropical, de condiciones ambientales cálidas, húmedas, pero relativamente secas (Irigoyen, 2005). Es una de las especies más nobles, fuertes y apreciadas en México tanto por su sencilla reproducción como por los productos que ofrece (Bautista *et al.*, 2005).

Este fruto es conocido comúnmente como: Chicle, Zapotillo, Chico, Chico zapote, Níspero, Sapotilla y Sapota (Irigoyen, 2005). Su sinonimia botánica es *Achras zapota* L.; *Manilkara zapotilla* (Jacq.) Gilly; *Manilkara sapota* L.; *Pouteria mammosa* (L.) Cronq.; *Manilkara achras* (Miller) Fosberg (Zolla y Mata, 2011).

El chicozapote tiene diferentes usos, tales como: consumo como fruta fresca, usos medicinales e industriales, entre otros (Irigoyen, 2005). Como uso medicinal, el chicozapote se utiliza en problemas digestivos, en particular contra la disentería y las diarreas (por su contenido de taninos); existen diversos padecimientos en los que se hace uso de esta especie como: presión alta, insomnio y dolores en general (Zolla y Mata, 2011).

2.2. Clasificación taxonómica

Se ha reportado la siguiente clasificación del chicozapote (Irigoyen, 2005):

Reino: *Plantae*

Filo: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Ebenales*

Familia: *Sapotaceae*

Género: *Manilkara*

Especies: *Chicle* (Pittier) Gilly, *staminodella* Gilly, *zapota* (L.) Royen.





2.3. Producción

2.3.1. Producción en México

El chicozapote es una de las 34 especies frutícolas principales que se producen en el país, y para finales de los años ochentas solo representaba el 0.2% de la producción total (García Leños, 1982).

Las entidades productoras son; Campeche, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Colima, Oaxaca, Morelos, Veracruz, Yucatán y Tabasco, siendo los estados con mayor producción Campeche, Yucatán y Veracruz. En México la producción de Chicozapote para 2009 se estimó en 19,566.75 toneladas, obtenidas en una superficie de 2,129.95 hectáreas (SAGARPA, 2009).

Hasta el año 2009, la producción de chicozapote por estado es la que se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción de chicozapote por estado en 2009.

PRODUCCIÓN (TON)	
Campeche	10,846.10
Yucatán	2,878.80
Veracruz	2,000.50
Oaxaca	1,107.30
Colima	716.65
Chiapas	650.2
Morelos	560
Michoacán	421.2
Tabasco	156
México	150
Guerrero	80

Fuente: SAGARPA (2009).





En la Figura 1 se muestra el porcentaje del total de la producción por estado:

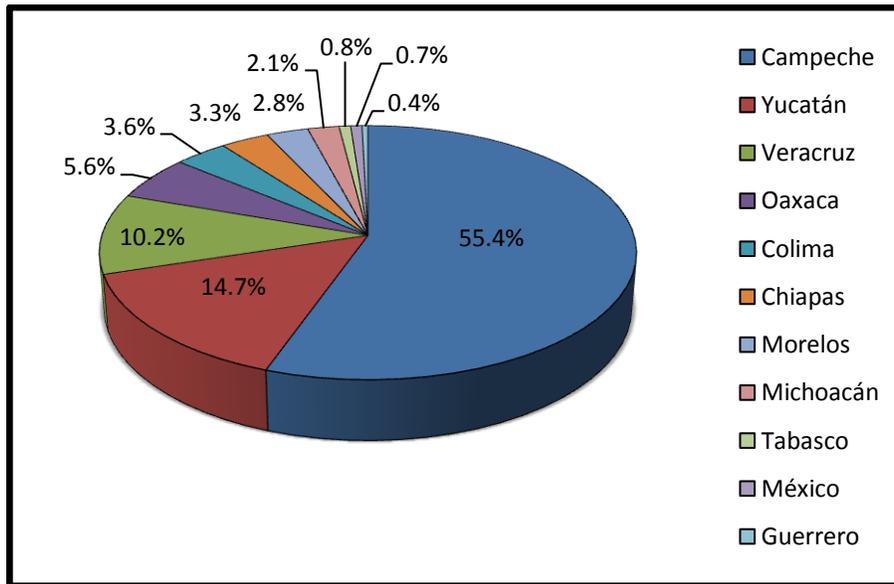


Figura 1. Porcentaje del total de la producción de chicozapote por estado hasta 2009.

Fuente: SAGARPA (2009).

Rendimientos (Fruticultura, 1975):

- En su época y con mala floración: 400 chicozapotes / árbol.
- En época de lluvias y/o con riegos en los meses restantes:
 - Mínimo: 700 chicozapotes/ árbol.
 - Normal: 900 chicozapotes/ árbol.
 - Máximo: 1200 chicozapotes/ árbol.

2.4. Variedades

En México se han desarrollado algunas variedades como 'Betawi', 'Hasyá', 'Molix' y 'Oxkutzcab', que han resultado aptas debido a sus características hortícolas como rendimiento, tamaño, forma, dulzor, calidad y menor tasa de infestación por mosca de la fruta (Bautista, 2004).

Existen también variedades criollas de este fruto, entre las que encontramos: Zapote colorado, chicozapote de la corona, chicozapote toro, chicozapote morado, zapote de hoja menuda y zapote de hoja ancha (Caballero, 1974).





2.5. Morfología

Los principales derivados de esta especie son:

- a) Fruto. Considerado climatérico, es una baya colgante ligeramente redondeado, globosa, ovoide o elipsoide carnosos y dulce, de color café de 3 a 8 cm de largo y de 3 a 6 cm de diámetro, generalmente contiene de 3 a 6 semillas aplastadas de color negro brillante con hilos blancos en el borde; su cáscara suele ser muy fina, de color marrón oscuro, cubierta por un polvo que le da una textura áspera; el color de la pulpa varía según el cultivar y puede ser de color marrón, amarillento o rojizo (Vargas *et al.*, 2008). La pulpa representa el 79%, la cáscara el 15% y la semilla el 5% en relación al peso total del fruto (Irigoyen, 2005). El peso del fruto puede variar entre 75 y 200 gramos (Popenoe, 1974), aunque también el peso puede variar entre 125 y 333 gramos, llegándose a obtener hasta chicozapotes con un peso de 860 gramos (Fruticultura, 1975). En la Figura 2 se muestra el fruto de chicozapote.

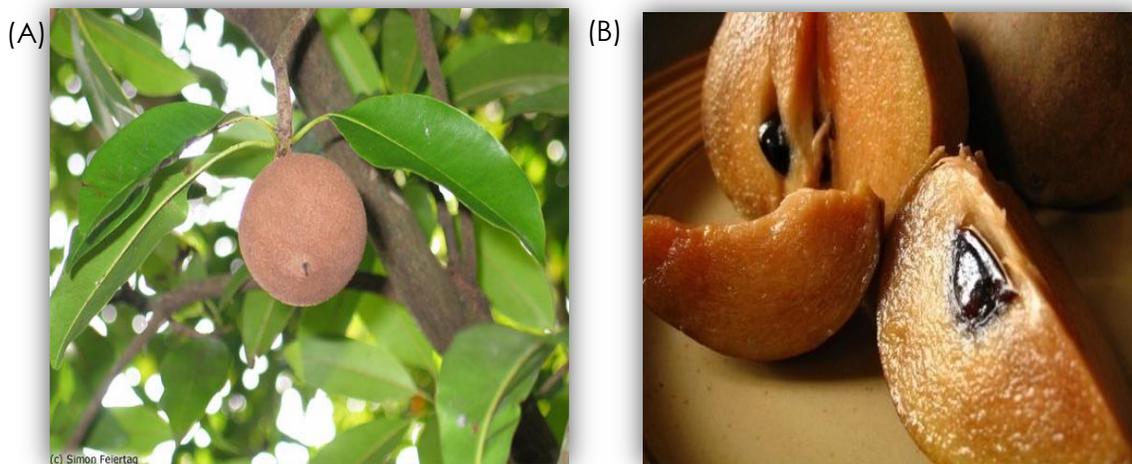


Figura 2. (A) Árbol de chicozapote (*Manilkara sapota*) que se distribuye en territorio maya. (B) Trozos de chicozapote, en donde se puede observar la pulpa color naranja-café y semilla negra, características de este fruto.

- b) Látex. Se extrae de la corteza del árbol y es la materia prima para la fabricación del chicle o goma de mascar.





2.6. Composición química

En general el chicozapote posee un alto contenido de azúcar y baja acidez. La composición de un fruto entero se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición Química de chicozapote.

COMPONENTE	%
Agua	75
Proteína	0.5
Grasa	1.1
Carbohidratos totales	23
Fibra cruda	1.6
Ceniza	0.4

Fuente: Irigoyen (2005).

Si se refiere solo a la pulpa, el contenido de humedad es del 80%, mientras que el contenido de azúcares es del 14%, dependiendo del cultivar y grado de madurez (Irigoyen, 2005). Este fruto contiene del 0.02 al 0.09% de ácido málico y 57 mg/100g de taninos (García Leños, 1982). El contenido energético por cada 100 g de fruta, es de 94 kcal y los nutrientes que componen al fruto se muestran a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido nutricional del chicozapote.

NUTRIENTE	CONTENIDO
Calcio	24 mg
Fósforo	10 mg
Hierro	1 mg
Actividad de vitamina A	10 ug
Tiamina (B1)	0.01 mg
Riboflavina (B2)	0.01 mg
Niacina (B3)	0.20 mg
Ácido ascórbico	15 mg

Fuente: Irigoyen (2005).





2.7. Compuestos fenólicos

En el chicozapote se han identificado compuestos fenólicos como: anisol, benzaldehído, benceno, alcohol bencílico, ácido clorogénico, éter-metílico de eugenol, ácido gálico, 3-fenil-propanol, propofenona, ester-metílico del ácido salicílico tolueno; los monoterpenos car-3-ene y óxido de linalol; el sesquiterpeno cariofileno; los triterpenoides taraxerol y su acetato; los flavonoides leucodefinidín; y el componente azufrado sulfóxido de dimetilo. La pulpa del fruto contiene los triterpenos ácido-básico, hederagenín y ácido oleanólico (Zolla y Mata, 2011).

Las sustancias polifenólicas son causantes de la astringencia de la fruta (Fruticultura, 1975).

2.8. Estacionalidad

La cosecha de los frutos de chicozapote en México se realiza en dos estaciones: La primera entre enero y marzo y la segunda entre octubre y diciembre (Estrada, 2002), como se muestra en la Figura 3.

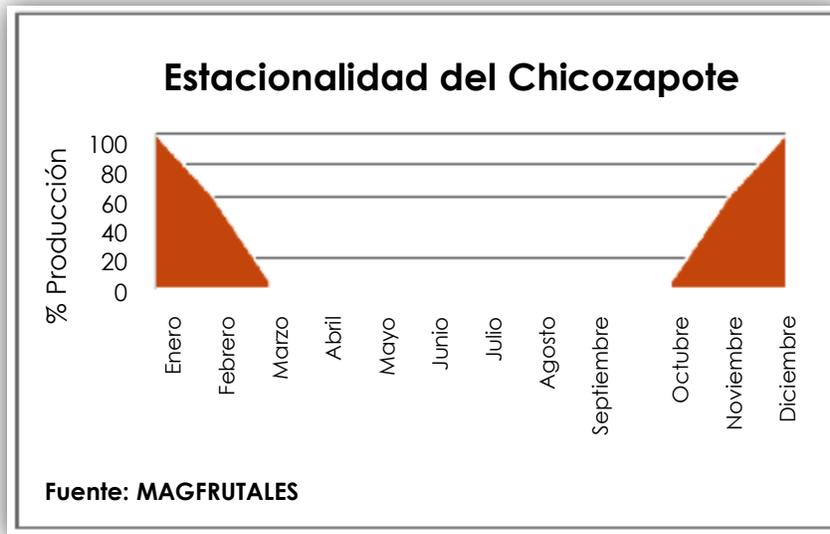


Figura 3. Estacionalidad del chicozapote en México.

Fuente: Gutiérrez (2009).





2.8.1. Índices de cosecha

El índice de cosecha es de vital importancia para la calidad final de los frutos. La cosecha temprana conduce a retardo en el ablandamiento de los frutos, alta astringencia, bajo dulzor y fallas en la maduración. Por otro lado, la cosecha tardía aumenta la susceptibilidad a pudriciones, conduce a una maduración rápida (2-3 días), lo cual dificulta su manejo, transporte y comercialización (Kariyama, 1990).

El fruto ya está listo para la cosecha cuando la piel es castaña, el fruto es firme y se separa fácilmente del tallo, sin gotear látex, aunque todavía el fruto este duro (Irigoyen, 2005).

2.9. Vida útil

El chicozapote entero se comercializa a temperatura ambiente con una vida de anaquel alrededor de 5 días, es una fruta con una estructura muy sensible al daño mecánico, ocasionando cambios bioquímicos como ablandamiento, oscurecimiento y aspectos no deseables en sabor y olor, por lo que ocasiona una rápida pérdida de la calidad, disminuyendo la aceptabilidad y la vida de anaquel (Vargas *et al.*, 2008).

La vida útil del chicozapote a temperatura ambiente ($25^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$) es muy corta, comparada con los frutos de clima templado, ya que alcanza su madurez comercial entre los 3 y 8 días después de la cosecha en función de su grado de madurez y cosechado éste en un estado de madurez avanzada, se ablandan en 1 ó 2 días reduciendo su calidad y vida útil, lo cual contribuye a una rápida descomposición, volviéndose extremadamente difícil para su manejo y transporte (Salunkhe, 1984), aunque puede almacenarse en refrigeración, es susceptible a daños por frío; la vida de almacenamiento a 15°C es menor de dos semanas (Broughton, 1979).

2.10. Índices de madurez

Cambio en el color de la piel de pardo claro con tonalidad verde a pardo claro y luego a pardo oscuro. Cambio en el color de la pulpa de verde a pardo-rosa y luego a pardo-rojizo (puede verse a través de un pequeño rasguño en la superficie) (Kader, 2005). Cuando el fruto alcanza su madurez comestible, la pulpa es café-amarillenta, suave, de textura granulosa, jugosa y muy dulce (Arévalo *et al.*, 2005).





2.11. Índices de calidad

Los principales índices de calidad del fruto son (Kader, 2005):

- Apariencia: Tamaño, forma, color, ausencia de defectos y ausencia de pudriciones.
- Firmeza (los zapotes se prefieren firmes cuando alcanzan la madurez de consumo).
- El sabor está relacionado con el contenido de sólidos solubles (13–26%) y la acidez (0.2-0.3%).

2.12. Condiciones óptimas de almacenamiento

Según Kader (2005) las condiciones óptimas de almacenamiento del chicozapote son:

- Humedad Relativa Óptima de 90-95%. Empacar en bolsas plásticas perforadas reduce la pérdida de agua en humedades relativas más bajas.
- Temperatura. La temperatura óptima de almacenamiento es de $14^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$; el tiempo potencial de almacenamiento es de 2-4 semanas (dependiendo del cultivar y el grado de madurez).

2.13. Proceso de maduración

Los frutos son clasificados de acuerdo con su patrón de maduración en climatéricos y no climatéricos. Los frutos climatéricos tienen la característica de presentar una repentina elevación de su velocidad de respiración y producción de etileno, en los no climatéricos ambos fenómenos experimentan una lenta disminución en función del tiempo.

La principal diferencia entre frutos climatéricos y no climatéricos está en su habilidad para producir etileno autocatalíticamente en respuesta a su acumulación hasta niveles estimulatorios en los tejidos (Gómez, 2003).





El climaterio respiratorio está relacionado con diversos cambios entre los que se incluyen incrementos en el nivel de etileno, ATP y energía intercambiable, aumentos en la concentración de fructuosa y estimulación de biosíntesis de proteínas.

La senescencia es considerada un fenómeno programado genéticamente, activado por el etileno y que involucra la biosíntesis de enzimas específicas relacionadas con procesos deteriorativos como marchitamiento, reacciones de fermentación y desintegración de membranas celulares (Gómez, 2003).

Los factores que se ven modificados durante el proceso de maduración son:

- Tasa de Respiración y producción de etileno.
- Firmeza.
- Contenido de azúcares.
- Pérdidas fisiológicas de peso.
- Producción de etanol y acetaldehído.
- Compuestos fenólicos.
- Obscurecimiento enzimático.

2.13.1. Tasa de respiración y producción de etileno

El proceso metabólico más importante en las frutas cosechadas es la respiración, en donde se degradan sustratos orgánicos y se consumen los azúcares acumulados. La velocidad de respiración está relacionada con la descomposición de la fruta y los frutos tropicales son más susceptibles (Gómez, 2003).

La respiración se describe como la oxidación de compuestos complejos tales como almidón, azúcares y ácidos orgánicos, dando como resultado moléculas más simples como CO_2 y H_2O , producción de energía y otras células.

La tasa de respiración es un excelente indicador de la actividad metabólica de los tejidos y por tanto un indicador del potencial de almacenamiento de los frutos. El chicozapote es un fruto climatérico, el cual presenta incremento respiratorio y síntesis de etileno durante el proceso de maduración (Figura 4). La tasa respiratoria y la producción de etileno están directamente relacionadas con la temperatura de exposición (almacenamiento) del chicozapote (Broughton, 1979).





El punto climatérico máximo de este fruto fluctúa entre 25 y 35 ml CO₂/kg h, mientras que la producción de etileno fluctúa entre 2-4 μl/kg h en el punto climatérico máximo a 20°C (Kader, 2005).

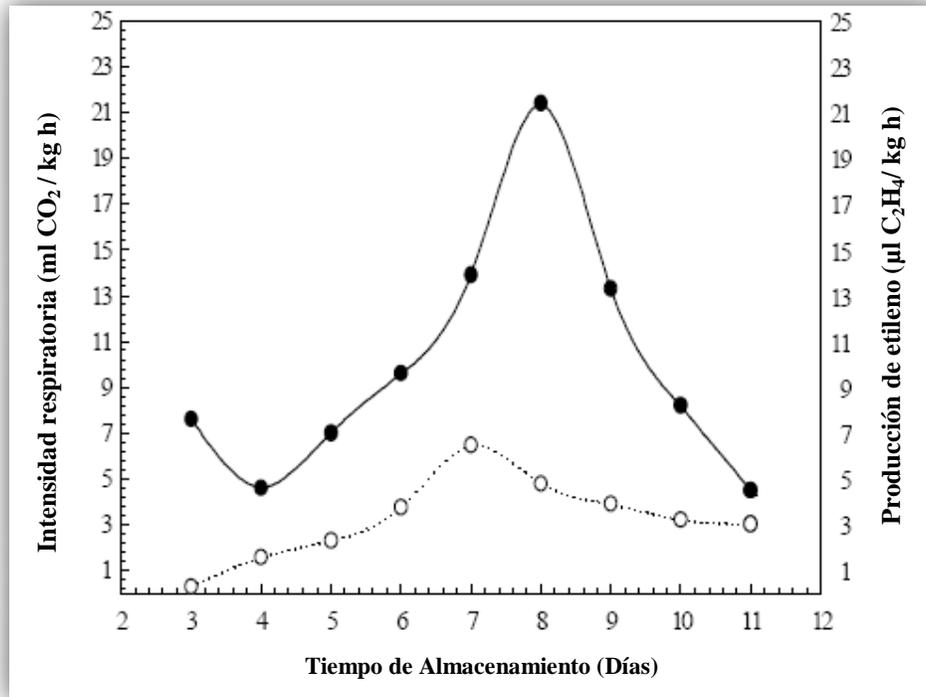


Figura 4. Intensidad respiratoria (●) (ml CO₂/kg h) y producción de etileno (○) (μl C₂H₄/kg h) durante el proceso de maduración de frutos de chicozapote a 21±2°C y 60-65% H.R.

Fuente: Arévalo *et al.* (2005).

La reducción de la vida útil de productos vegetales se debe principalmente al ablandamiento de los tejidos, proceso que está regulado por el etileno. El etileno es un regulador de crecimiento, su fórmula química es C₂H₄, es sintetizado por frutas y hortalizas (Alía *et al.*, 2002), por lo que tiene efecto sobre su metabolismo, lo que se traduce en el aceleramiento de procesos de maduración y senescencia, incidiendo en la vida útil de estos productos (frutos climatéricos). Las lesiones que se producen en los tejidos como consecuencia de las etapas de procesado (pelado, deshuesado, cortado) provocan que la producción de este gas sea más intensa y que pueda acumularse en los envases y origine cambios en su calidad durante el periodo de comercialización (Rinaldi *et al.*, 2010).





El etileno tiene las siguientes propiedades Físico-Químicas (Rinaldi *et al.*, 2010):

- Punto de ebullición: -103.8 ° C.
- Solubilidad en agua: Desconocida.
- Potencial de ionización: 10.52 eV.
- Estado físico a 20° C: Gaseoso.
- Peso molecular: 28g/mol.

2.13.2. Firmeza

Durante el proceso de maduración del chicozapote los frutos presentan cambios en el ablandamiento de la pulpa. Este ablandamiento tiene gran importancia debido a que aumenta la susceptibilidad al daño físico durante el manejo. Los cambios que conducen al ablandamiento del fruto incluyen el aumento en la actividad enzimática a nivel pared celular provocando cambios en la estructura de las sustancias pécticas, degradación de almidón o rompimiento de la pared celular (Bautista, 2004).

Aquellas enzimas que degradan las sustancias pécticas se llaman *pectinasas*. Las *pectinasas* de mayor importancia y que se encuentran de forma natural en frutas son (Badui, 2006):

a) Pectinmetilesterasas.

También llamadas pectinesterasas, pectasa, pectindemetoxilasa y pectolipasa (Fennema, 2000) hidrolizan los enlaces éster metílico, liberan metanol y producen pectinas de bajo metoxilo e incluso ácido poligalacturónico (Figura 5). La hidrólisis de la pectina hasta ácido péctico (mayor número de grupos carboxilo libres en presencia de iones divalentes, como el calcio), conduce a crear estructuras tridimensionales más rígidas que aumentan la dureza de los frutos (Fennema, 2000).



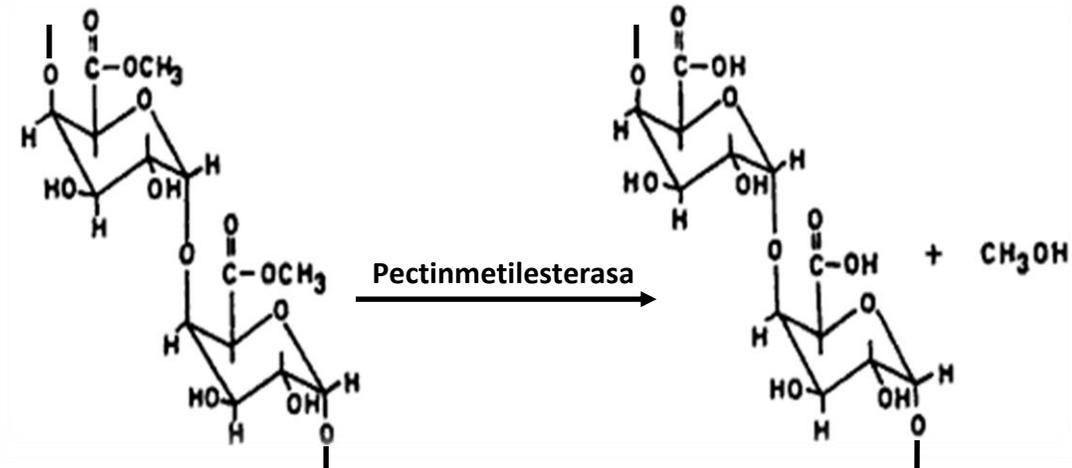


Figura 5. Acción de la pectinmetilesterasa.

Fuente: Badui (2006).

b) Poligalacturonasas.

Rompen el enlace glucosídico α -(1,4) del ácido galacturónico de las pectinas por una acción que se puede llevar a cabo en el interior del polímero (endo) como a partir de los extremos (exo); cuando actúan en los extremos, se producen moléculas libres de ácido poligalacturónico. Junto con la pectinmetilesterasa integran el sistema de las pectinasas de las frutas.

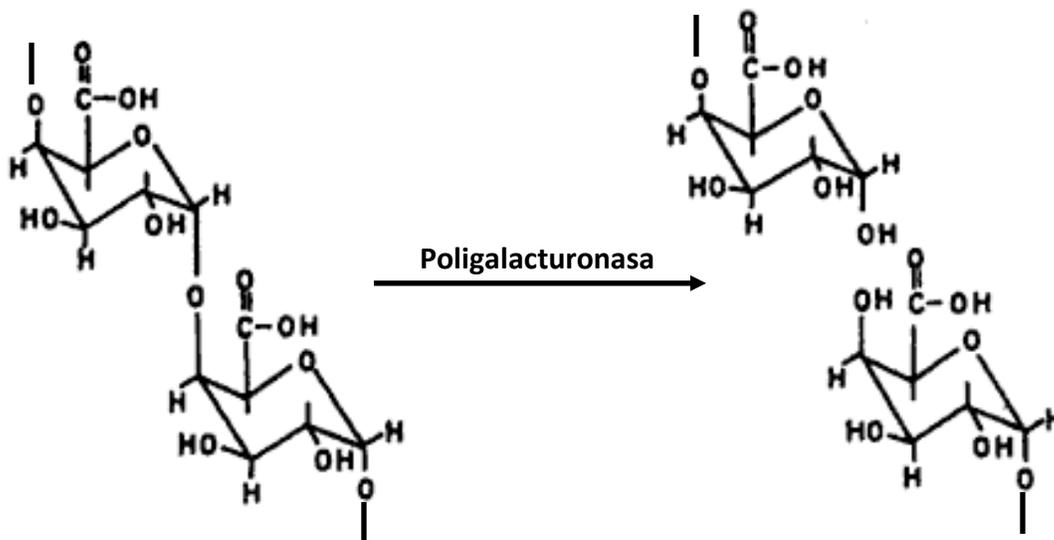


Figura 6. Acción de la poligalacturonasa.

Fuente: Badui (2006).





En el Cuadro 4 se muestra la clasificación de enzimas a la que pertenecen la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa:

Cuadro 4. Clasificación a la cual pertenecen la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa.

NOMBRE Y TIPO	SUSTRATO PREFERIDO	SITIO DE CORTE
<u>Hidrolasas</u>		
<i>Endo-poligalacturonasa</i>	Pectato	Al azar en el interior de la cadena
<i>Exo-poligalacturonasa</i>	Pectato	Terminal
<u>Esterasa</u>		
<i>Pectinmetilesterasa</i>	Pectina	Desesterificación

Fuente: Badui (2006).

Durante el proceso de maduración de frutos de chicozapote la firmeza disminuye de 64.6 N en madurez fisiológica a 1.9 N en madurez de consumo (Heredía, 1997).

En frutos de chicozapote existe un incremento en la actividad enzimática de pectinmetilesterasa durante el avance en la maduración con una mayor actividad después de alcanzar la máxima intensidad respiratoria (Bautista *et al.*, 2005).

2.13.3. Azúcares

Durante el proceso de maduración de frutas se presenta la hidrólisis de almidón, provocando la acumulación de glucosa, fructosa y en menor cantidad sacarosa; estos cambios afectan el sabor y la textura del fruto (Bautista, 2004). Varios autores reportan que en frutos de chicozapote el contenido de azúcares totales incrementa durante la maduración, azúcares como glucosa y fructosa alcanzan concentraciones de 8.3 y 6.3% respectivamente, en la madurez de consumo. Los sólidos solubles totales aumentan durante la maduración a niveles aproximados de 25°Bx y la acidez titulable disminuye a 0.21% (Heredía, 1997; Laksminarayana, 1980).





2.13.4. Pérdidas fisiológicas de peso

Las pérdidas fisiológicas de peso son debido al paso de vapor de agua desde el fruto hasta el ambiente. Este fenómeno ocurre por transpiración y depende fundamentalmente de la temperatura y humedad relativa exteriores. De igual forma, la relación superficie-volumen del fruto, las características de la epidermis, la presencia y la composición de ceras naturales influyen directamente en este proceso. Las pérdidas fisiológicas de peso en frutos de chicozapote se han reportado que alcanzan un 12% ($27 \pm 2^\circ\text{C}$ y $\text{HR} = 65\text{-}75\%$) y 8% ($9 \pm 1^\circ\text{C}$ y $\text{HR} = 40\text{-}60\%$) a los 14 días de almacenamiento y de 5% (20°C y $\text{HR} = 85\%$) al sexto día de almacenamiento (Bautista, 2004).

2.13.5. Producción de etanol y acetaldehído

La fermentación en frutos se presenta cuando el flujo de oxígeno de las células alcanza un valor crítico, lo que puede conducir a un aumento drástico en las concentraciones de etanol y acetaldehído, principalmente durante la senescencia. La naturaleza tóxica del acetaldehído en altas concentraciones está implicada en el desarrollo de numerosos desórdenes fisiológicos, que involucran desorganización celular, asociados generalmente con estados avanzados de madurez y senescencia. La acumulación de productos de fermentación se debe a un desequilibrio causado por una reducción en el ciclo de Krebs, transporte de electrones, y un incremento en la glucólisis provocando acumulación de piruvato, el cual se desvía a la ruta fermentativa (Lyons, 1990).

En frutos de chicozapote, conforme aumenta la maduración, aumentan las concentraciones de etanol y acetaldehído (Bautista, 2004).

2.13.6. Compuestos fenólicos

El chicozapote es un fruto rico en compuestos fenólicos. Las funciones de los compuestos fenólicos son múltiples, entre las que destacan la estructural, formando parte de la pared celular (ligninas y suberinas), el color (flavonoides, antocianinas), la protección contra microorganismos, la resistencia a enfermedades (resinas, ácidos fenólicos y fitoalexinas), resaltan las características sensoriales de los frutos frescos, entre otras. Los cambios característicos en compuestos fenólicos durante el proceso





de maduración de frutos están relacionados con la pérdida de astringencia. En frutos como chicozapote, mango y guayaba existe oxidación de fenoles (Bautista, 2004).

2.13.7. Oscurecimiento enzimático

La principal enzima involucrada con el oscurecimiento de chicozapote es la "polifenoloxidasas", pero existen además factores como la naturaleza, contenido de sustratos, pH, disponibilidad de oxígeno, temperatura, entre otros, que influyen en la intensidad del oscurecimiento (Bautista, 2004).

2.14. Pérdidas postcosecha

2.14.1. Daños mecánicos

Se denomina daño mecánico a los impactos o presiones que sin romper la epidermis deterioran la pulpa del fruto, dándole un aspecto corchoso y un cambio de coloración progresivo.

El daño mecánico por golpe no solo representa un problema de apariencia externa y pérdida de calidad de los frutos, sino que también origina alteraciones internas que influyen en el comportamiento postcosecha. Por ejemplo, provoca un importante incremento en la intensidad respiratoria y la producción de etileno (entre 3 y 20 veces después de 24 horas de producido el golpe), que condiciona la conservación y la vida en estante (Segaroti *et al.*, 2010).

El chicozapote es una fruta con una estructura muy sensible al daño mecánico, ocasionando cambios bioquímicos como ablandamiento, oscurecimiento y aspectos no deseables en el sabor, por lo que ocasiona una rápida pérdida de la calidad, disminuyendo la aceptabilidad y la vida de anaquel (Aldana *et al.*, 2002). En ciertos casos, se presentan anomalías que pueden dar la apariencia o signos de ser daños o ataque de plagas, entre los daños más comunes en este fruto se encuentran: Quemaduras de sol, quemaduras por fertilizantes, deficiencias nutricionales, toxicidad por agroquímicos, entre otras (Irigoyen, 2005).

El daño mecánico también está asociado con la incidencia de infecciones fúngicas (Figura 7), debido a rupturas microscópicas de la estructura de la epidermis, que permiten la entrada del patógeno (Segaroti *et al.*, 2010).





Figura 7. Incidencia de hongos en chichzapote debido a daño mecánico.

Por lo anterior, la calidad del chichzapote es substancialmente reducida por daños mecánicos que ocurren en la cadena cosecha-consumidor (López y Villaseñor, 2009).

2.14.2. Enfermedades y plagas

Unos de los mayores problemas de los frutales son las plagas y enfermedades que ocasionalmente pueden acarrear verdaderos problemas pudiendo ocasionar hasta la muerte de éstos. Por estos motivos se necesitan unos buenos métodos de prevención y otros de cura para su total erradicación.

Las enfermedades que afectan a los frutales son causadas por microorganismos como son los hongos, bacterias, virus, nematodos y fitoplasma, mientras que una plaga es todo organismo capaz de causar daños a los cultivos.

El chichzapote es resistente a muchas plagas (insectos y enfermedades), debido a la cantidad de polifenoles que contiene (Irigoyen, 2005).

Las enfermedades que atacan al chichzapote principalmente invaden las hojas del árbol donde crece. Entre las principales enfermedades que aparecen se encuentra la antracnosis, que además de atacar las hojas, también causa efectos dañinos en el fruto (Irigoyen, 2005).

Algunas características de estas enfermedades, así como diferentes plagas que afectan la calidad del chichzapote se muestran a continuación en el Cuadro 5 y Cuadro 6, respectivamente.





Cuadro 5. Principales Enfermedades del chicozapote.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	DAÑO	COMBATE
<p>Manchas foliares</p> 	<p><i>Pestalotiasp.</i> y <i>Pestalotia</i> <i>Scirrofaciens</i></p>	<p>Manchas en las hojas que provoca que éstas se sequen de afuera hacia dentro.</p>	<p>Mantener una adecuada fertilización y aplicaciones de Mancozeb 80%.</p>
<p>Manchas cercospora</p> 	<p><i>Cercospora sp.</i></p>	<p>Se presenta en las hojas, con manchas irregulares con centro blanquecino y borde café rojizo.</p>	<p>Se evita con podas constantes para favorecer la ventilación.</p>
<p>Roya del chicozapote</p> 	<p><i>Uredosapotae</i></p>	<p>Hongo que ataca las hojas principales en época húmeda.</p>	<p>Aplicar Oxiclورو de Cobre a razón de 25 a 30 gramos por galón de agua.</p>
<p>Antracnosis</p> 	<p><i>Colletotrichum gloesporoides</i></p>	<p>Mancha las hojas de color café encendido, causa exfoliación. También ataca al fruto, ablandando los tejidos.</p>	<p>Aplicar fungicidas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Amistar ◆ Benlate ◆ Daconil ◆ Oxiclورو de Cobre.

Fuente: Irigoyen (2005).





En el Cuadro 6 se muestran las plagas más importantes del chicozapote:

Cuadro 6. Plagas del chicozapote.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	DAÑO	COMBATE
<p>Mosca de las sapotáceas</p> 	<p><i>Anastrepha serpentina</i></p>	<p>Las larvas se alimentan del fruto, favorecen entrada de patógenos que causan pudrición del fruto.</p>	<p>Control preventivo, prácticas del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Por ejemplo: recoger y enterrar fruta dañada, uso de trampas, podas, uso de parasitoides, aplicación de pesticidas.</p>
<p>Mosca del mediterráneo</p> 	<p><i>Ceratitis capitata</i></p>		
<p>Gusano Cogollero del chicozapote</p> 	<p><i>Zamagirialaidion</i></p>	<p>Las larvas se alimentan de los brotes o cogollos de las ramas.</p>	<p>Cortar los brotes dañados, recoger el material y quemarlo, aplicación de Piretroides como la Delrametrina.</p>





Cuadro 6. Plagas del chicozapote (Continuación).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	DAÑO	COMBATE
<p>Termitas</p> 	<p><i>Nasutitermes guayanae</i></p>	<p>Ataca tallos y ramas de plantas viejas y lacradas, acelerando su muerte, se pueden hospedar en plantas jóvenes, causándoles la muerte.</p>	<p>Podar ramas y tallos dañados, quemarlos y aplicar Endosulfan a razón de 8 a 10 cc.por galón de agua, esta solución se aplica a las partes dañadas.</p>
<p>Barrenadores de la fruta</p> 	<p><i>Arbela tetraonis</i> y <i>Pulvinaria Psidii</i></p>	<p>Perforan el fruto, causando pudrición del mismo.</p>	<p>Recoger frutos dañados y enterrarlos. El tratamiento se realiza con bisulfito de carbón.</p>
<p>Mosca del Caribe</p> 	<p><i>Anastrepha suspensa</i></p>	<p>Las larvas se alimentan del fruto, favorecen entrada de patógenos que causan pudrición del fruto.</p>	<p>Control preventivo, prácticas del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Por ejemplo: recoger y enterrar fruta dañada, uso de trampas, podas, uso de parasitoides, aplicación de pesticidas.</p>

Fuente: Irigoyen (2005).





2.14.2.1. Mosca de la fruta

Entre más de cien familias del orden Díptera, la familia *Tephritidae*, a la cual pertenece la mosca de la fruta, es la de mayor importancia económica, comprende aproximadamente 4000 especies distribuidas en áreas tropicales y subtropicales. Las conocidas como moscas de la fruta pertenecen a diversos géneros, entre los cuales *Dacus*, *Rhagoletis*, *Ceratitis*, *Bactrocera*, *Anastrepha* y *Toxotrypana*, son los principales (ICA, 2006).

En México existen aproximadamente 29 especies de moscas de la fruta del género *Anastrepha*, de las cuales, cuatro son de importancia económica debido a su amplia distribución, incidencia y árboles frutales que infestan, éstas son: *Anastrepha ludens* (mosca mexicana de la fruta), *A. obliqua* (mosca del mango), *A. serpentina* (mosca de los zapotes) y *A. striata* (mosca de la guayaba) (Productor, 1992).

Las moscas de la fruta en el género *Anastrepha spp.* (mosca de las sapotáceas) son nativas del Neotrópico con más de 200 especies descritas, que incluyen plagas de importancia económica de diversos cultivos frutícolas de América Latina, y son consideradas plagas cuarentenarias para muchos países del hemisferio norte (Caraballo, 2001). En México la normatividad que existe en cuanto a la mosca de la fruta, es la Norma Oficial Mexicana NOM-075-FITO-1997, por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta. Según esta norma el chicozapote se encuentra de entre los frutos hospederos en los frutos de cuarentena parcial (SAGARPA, 2006).

La mosca causa daños físicos directos en la pulpa de las frutas, producidos por las larvas y daños secundarios causados por la entrada de microorganismos patógenos, además de implicaciones indirectas tales como las medidas cuarentenarias y los tratamientos de pos cosecha (Korytkowsky, 1993).

El ciclo de vida es similar entre todas las especies de *Anastrepha* de las cuales se conoce su biología (Aluja, 1993). El ciclo de vida de la mosca frutera se desarrolla en tres ambientes: vegetación, fruto y suelo (Marín, 2002). La hembra de *Anastrepha* coloca los huevos debajo de la piel de la fruta hospedera (CAB International, 2010).





Dependiendo de la especie, los huevos son depositados individualmente o agrupados (Aluja, 1993).

Las larvas se alimentan de la pulpa mientras pasan por tres instares o etapas y luego abandonan la fruta y se entierran en el suelo donde empupan. Los adultos emergen del pupario después de algunos días reiniciando el ciclo (CAB International, 2010).

Las larvas de *Anastrepha spp.* son de tipo vermiforme, generalmente de color crema claro y su color varía dependiendo del tipo de fruto del cual se alimentan. La morfología y medida de los ganchos bucales indican que posee tres etapas o instares (Marín, 2002):

Etapa 1: Las larvas miden 1.3 ± 0.004 mm de longitud y 0.34 ± 0.01 mm de diámetro en la porción más larga (posterior). Los ganchos bucales miden 39.20 ± 0.257 micras.

Etapa 2: Las larvas miden 3.0 ± 0.3 mm de longitud y 0.9 ± 0.3 mm de diámetro en la parte más posterior. Los ganchos bucales están completamente esclerotizados, son tan fuertes como los del tercer estadio y miden 141 ± 0.547 micras. Poseen entre 10 y 11 órganos espiraculares protorácicos.

Etapa 3: Las larvas están completamente formadas miden 4.3 ± 0.5 mm de largo y 1.5 ± 0.2 mm de ancho. Los ganchos bucales miden 217.75 ± 1.147 micras y están fuertemente esclerotizados. El número de órganos espiraculares varía de 8 a 12.

La duración del estado larval varía de entre 13 y 28 días, mientras que el de la pupa dura unos 14 a 23 días (Marín, 2002). El daño directo de las moscas fruteras es causado por las larvas que al alimentarse de la parte comestible de la fruta hacen que ésta sea inaceptable para consumo (Núñez *et al.*, 2004).

En el ciclo típico de las moscas de la fruta (Figura 8), las hembras adultas insertan los huevecillos por debajo de la cáscara de los frutos próximos a madurar o ya maduros. Entre 2 y 4 días más tarde, las larvas recién eclosionadas empiezan a alimentarse de la pulpa del fruto y conforme van creciendo producen una serie de túneles que a su vez contribuyen a la proliferación de microorganismos que descomponen la fruta, creándose zonas necróticas, fibrosas y endurecidas, de color café oscuro (Productor, 1992).





La duración del periodo larval es de 15 a 18 días y está determinado por la interacción del clima, del tipo de fruta y del tiempo disponible para alimentarse.

Para que la larva se convierta en pupa, ésta sale del fruto y la mayoría de las veces se entierra en el suelo, lo que coincide con la caída del fruto. Cuando el adulto emerge de la pupa, tiene que movilizarse entre la tierra para protegerse. Una vez que está listo para salir, para romper el pupario, utiliza un órgano llamado ptilinum, que se localiza enfrente de su cabeza, con el cual pica la pupa hasta romperla y así continuar con el ciclo de reproducción.

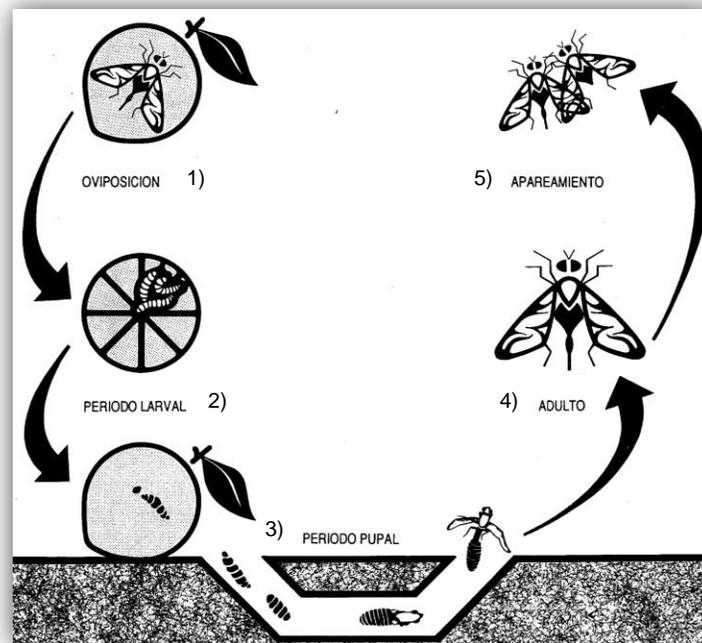


Figura 8. Ciclo de vida de *Anastrepha* spp. 1) Ovoposición. 2) Periodo larval. 3) Periodo pupal. 4) Mosca adulta. 5) Apareamiento.

Fuente: Productor (1992).

Una sola hembra puede ovipositar hasta 400 huevecillos durante toda su vida.

En el Cuadro 7 se observa el ciclo biológico de la mosca de las sapotaceae y mosca mexicana de la fruta. La longevidad de los adultos es de 2 a 4 meses (Productor, 1992).





Cuadro 7. Descripción de las variantes de tiempo del ciclo biológico de la mosca.

Nombre común	Especie	Huevecillo	Larva	Pupa	Fecundidad
Mosca mexicana de la fruta	<i>Anastrepha ludens</i> (Loew)	1-4 días	20-25 días	20-25 días en verano	100-800 huevecillos
Mosca de las sopotáceas	<i>Anastrepha serpentina</i> (Wied)	1-4 días	10-15 días	10-15 días	100-800 huevecillos

Fuente: Aluja et al. (2003).

El género *Anastrepha* se caracteriza por el color del cuerpo amarillo a marrón y coloración de las alas con un patrón distintivo de bandas C, S y V invertida (Steck et al., 1990).

Una vez que la mosca encuentra su hospedero, pueden detectar las frutas basándose en el color, forma y tamaño como también por la presencia de compuestos volátiles de la fruta (Steck, 1998).



La producción de chicozapote se ha extendido en México en los Estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo principalmente, y este fruto se ha visto afectado por la presencia de la mosca de la Fruta del género *Anastrepha serpentina* que ocasiona una reducción de calidad de los frutos del 80% de la producción (Control de *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) y calidad de los frutos zapote mamey).

Figura 9. *Anastrepha serpentina* (mosca del zapote).

La *Anastrepha serpentina* es una de las especies del grupo de las *Anastrephas* que se diferencia de otras en tener el abdomen en su mayoría de color marrón, con un área en forma de T en medio de color amarillo, el tórax es marrón oscuro, de igual forma las bandas de las alas, la punta de su aguijón mide de 0.37-0.46mm y de 0.14-0,17mm (Figura 9) (Steck, 1998).





2.15. Métodos de conservación postcosecha

El concepto de la preservación de alimentos es evitar el desarrollo de microorganismos, para que el alimento no se deteriore durante el almacenaje. Al mismo tiempo, se deben controlar los cambios químicos y bioquímicos que provocan deterioro, logrando de ésta manera, obtener un alimento sin alteraciones en sus características organolépticas típicas: color, sabor y aroma y que pueda ser consumido sin riesgo durante un cierto período (Cheftel, 1992).

La tecnología del mínimo proceso da la posibilidad de llegar a un mercado consumidor que demanda productos libres de defectos y que posean una elevada calidad organoléptica y nutricional, inocua y libre de compuestos tóxicos (Watada, 1999).

2.15.1. Refrigeración

La refrigeración es uno de los métodos comúnmente usados para extender la vida útil de frutas frescas y vegetales ya que retarda los procesos metabólicos controlando los cambios postcosecha en la respiración y maduración, sin embargo uno de los problemas es la aparición de daños por frío (Cheftel, 1992).

2.15.1.1. Daños por frío

Los daños por frío constituyen una serie de alteraciones fisiológicas que pueden ocurrir en cualquier punto de la cadena postcosecha en la que los productos hortofrutícolas se expongan a temperaturas de refrigeración (Morris, 1982). Estos daños afectan principalmente a los frutos de origen tropical y subtropical, tales como el mango, la papaya, el aguacate, la piña, los plátanos, los cítricos, la sandía, chicozapote, chirimoya, tomate entre otros (Paull, 1990).

Entre algunos parámetros usados para evaluar el daño por frío están las propiedades organolépticas, azúcares reductores y totales, sabor y olor, maduración, pérdida de peso, pH, acidez y color (Wang, 1989). Estos cambios en tejidos vegetales se presentan en respuesta a la baja temperatura con un cambio irreversible en las propiedades físicas de la membrana, cambio que sucede con una temperatura particular para cada especie o tejido vegetal.





Como consecuencia de alteraciones se presenta una disfunción fisiológica, metabólica y bioquímica (Figura 10). Además estos cambios incluyen variaciones en la actividad enzimática asociada a la permeabilidad de membranas, y como consecuencia, reducción de ATP, salida de iones, pérdida de compartimentación y pérdida del balance metabólico (Estrada, 2002).

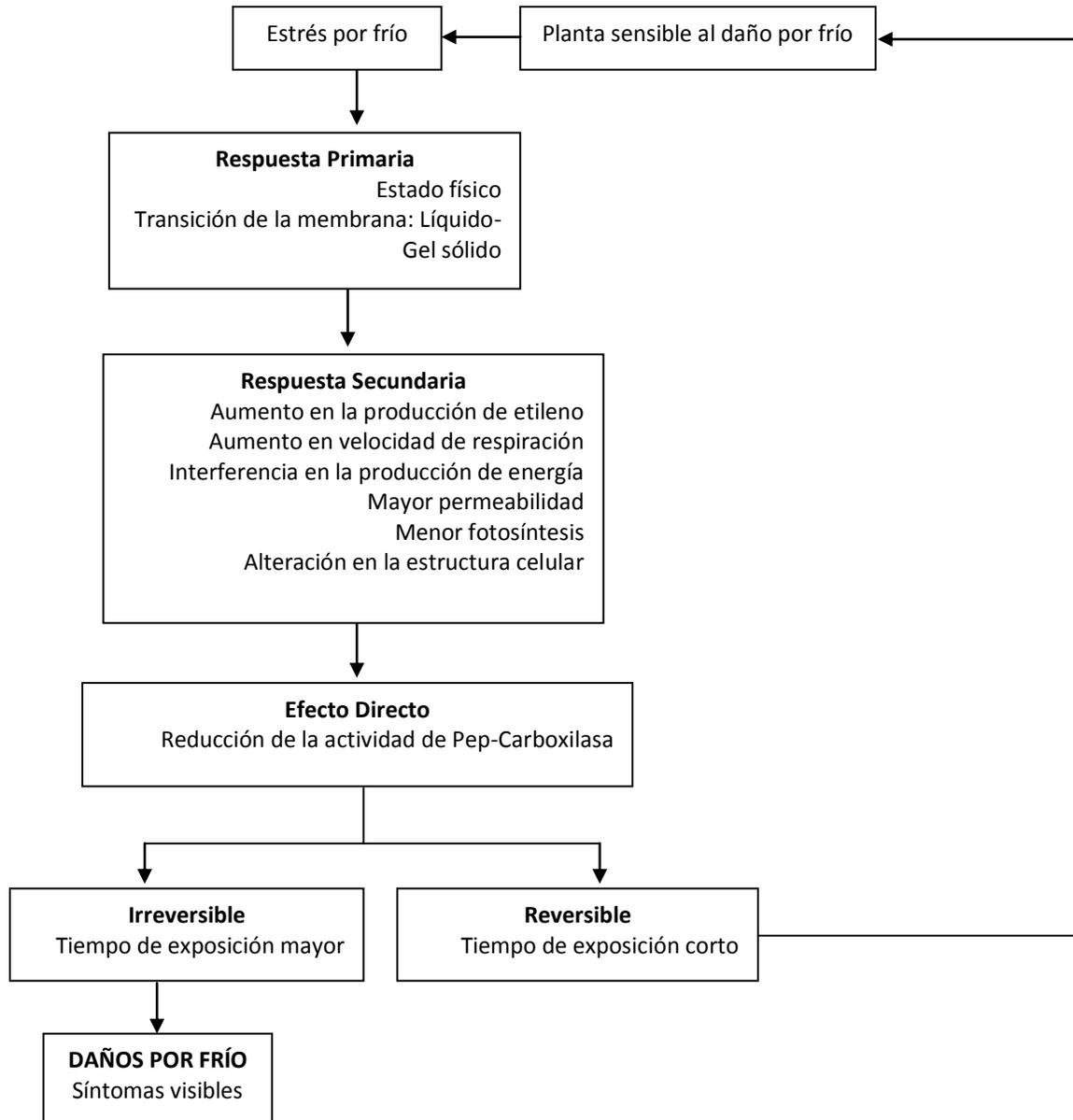


Figura 10. Respuesta de las plantas sensibles al daño por frío.

Fuente: Wang (1989).





Los síntomas del daño por frío varían de acuerdo al fruto y a la severidad del daño, y por lo general estos se desarrollan más rápidamente si el fruto es transferido a temperaturas superiores a la de enfriamiento (Vargas *et al.* , 2005).

Los síntomas del daño por frío más comunes son las lesiones superficiales como el picado, escaldado, áreas quemadas, la exudación del tejido, la decoloración interna y disfunciones de algunos procesos fisiológicos tales como inhibición del desarrollo, falta de maduración aceleración de la senescencia, pérdida de aroma, y muerte del fruto.

El chicozapote debido a su origen tropical puede presentar problemas de “daño por frío”, este fenómeno involucra disfunciones metabólicas que afectan la calidad del fruto después de someterse a temperaturas entre 0 a 15 °C (Lyons, 1990).

Dentro de los factores que influyen en las respuestas al daño por frío están: la composición de ácidos grasos de los lípidos de la membrana celular; niveles de azúcares, prolina; etapa de maduración, variedad, etc. (Wang, 1989).

Almacenar chicozapotes a temperaturas inferiores a 5°C por más de 10 días causa daño por frío y se expresa por manchas pardo oscuras en la piel, incapacidad de los frutos para madurar, cambios en el sabor (producción de malos sabores), y aumenta la incidencia de pudriciones después de ser transferidos a altas temperaturas (Kader, 2005).

El almacenamiento a bajas temperaturas puede ocasionar modificaciones fisicoquímicas de membranas causando descompartimentación, permitiendo el contacto enzima-sustrato y promoviendo el obscurecimiento de tejidos.

La actividad de la ACC-oxidasa o Enzima Formadora de Etileno (EFE) puede indicar la intensidad del daño, ya que parece ser dañada seriamente por el frío. Esto se debe probablemente a que la estructura de la membrana es severamente dañada y la ACC-oxidasa requiere de gradientes transmembranales para funcionar (Estrada, 2002). El proceso que conduce a la restauración de la actividad ACC-oxidasa está directamente correlacionado con la duración del almacenamiento en frío.





2.15.2. Atmósferas modificadas

Las atmósferas modificadas consisten en modificar la concentración de gases circundantes al producto, principalmente incrementando la concentración de CO₂ y reduciendo la de O₂, sin embargo, existen diferentes combinaciones.

Uno de los principales efectos de la atmósfera modificada sobre el metabolismo de frutos y hortalizas es el descenso de la tasa respiratoria, con una disminución en el consumo de sustratos, se controla la biosíntesis y acción del etileno, hay producción de CO₂, consumo de O₂ y desprendimiento de calor, además se reducen la pérdida de vitaminas y la incidencia de patógenos o insectos; dando como resultado un frenado del metabolismo y por tanto una vida de conservación potencialmente más larga (Bautista, 2004).

En una atmósfera modificada no existe un control estricto de la concentración de gases, sin embargo se forma una barrera que impide el intercambio de gases, lo que provoca una reducción en la concentración de O₂ y un aumento en la concentración de CO₂, alterando los procesos metabólicos (Bautista, 2004).

2.15.3. Irradiación

Definición: Es una forma de energía que se transmite a través de un material o del espacio, en forma de ondas o partículas (Roca y Almela, 2004).

La tecnología de la irradiación se ha aplicado por más de 40 años. Sus beneficios se han demostrado en gran diversidad de usos alimentarios. Además tiene la característica de ser fuente de energía limpia que se ha utilizado para fines de salud humana, agricultura y alimentación. La evolución de la tecnología y la actualización de normas y reglamentos a nivel internacional y nacional, permiten ahora su aplicación como medida fitosanitaria ofreciendo ventajas sobre los métodos tradicionales (Roca y Almela, 2004).

En 1980, un comité mixto de expertos sobre la comestibilidad de alimentos irradiados, convocado por la Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), llegaron a la conclusión de que “la irradiación de





cualquier tipo de alimento no presenta riesgos toxicológicos y no plantea problemas microbiológicos o nutricionales especiales". Se trata pues de un tratamiento no térmico particularmente interesante en productos sólidos (Raventós, 2003).

2.15.3.1. Radiaciones ionizantes en alimentos

Definición: La irradiación de alimentos es un método físico de conservación, comparable a otros que utilizan el calor y el frío. Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto lapso, que es proporcional a la cantidad de energía que deseemos que el alimento absorba (Sánchez, 2003).

Se llaman radiaciones ionizantes a un conjunto muy variado de emisiones que incluyen partículas subatómicas y radiación electromagnética de origen nuclear o atómico y que se caracterizan porque al interactuar con la materia producen principalmente ionizaciones, es decir la pérdida de electrones de los átomos neutros, que se convierten en iones. Estas ionizaciones producen cambios fisicoquímicos en la materia en general y en el material biológico en particular. Las alteraciones fisicoquímicas pueden perturbar el funcionamiento de las estructuras más complejas de los seres vivos e incluso, pueden llegar a provocar su muerte. Por otro lado, aunque produce algunos productos tóxicos en su interacción con la materia, genera una cantidad prácticamente indetectable y, en cualquier caso mucho menor que la que producen los tratamientos químicos convencionales (Raventós, 2003).

Hoy en día, a nivel mundial, se estima que existen más de 200 irradiadores gamma en operación en 55 países (IAEA, Trends in radiation sterilization of health care products., 2008), entre los cuales se incluye México. Sus campos de aplicación son diversos: esterilización de organismos para control de población como es el caso de la mosca del mediterráneo, procesamiento de productos para el consumo humano (fresco y deshidratado) para control bacteriológico o para la eliminación de agentes patógenos.

Este proceso se lleva a cabo en irradiadores que están diseñados para que la irradiación se efectúe a la dosis y uniformidad deseada, sin que sean expuestas a la radiación las personas que los operan y sin afectar al ambiente.





Los irradiadores industriales o comerciales se componen de una fuente de radiación, un sistema transportador de producto al área de irradiación, blindajes que evitan que el personal esté expuesto a la radiación y sistemas de seguridad.

La fuente de radiación de rayos gamma que más se utiliza en el mundo a escala industrial es la del radioisótopo cobalto-60 que se produce en los reactores nucleares de potencia al exponer el elemento isótopo cobalto-59 (que se encuentra en la naturaleza) a un bombardeo de neutrones (Rangel y Alcérreca, 2008).

La irradiación es el único método artificial para conservar los alimentos que se ha perfeccionado hasta estos tiempos. Actúa velozmente sobre las sustancias alimenticias, ioniza algunos átomos y altera la estructura de vitales moléculas grandes, provocando la muerte de microorganismos. Sin embargo, los alimentos no sufren efectos nocivos a la salud, ni se toman como radioactivos, ya que las dosis de irradiación son reducidas y evitan en menor proporción la pérdida de vitaminas dada en algunos procesos térmicos, de conserva, congelación o deshidratación (Roca y Almela, 2004).

Actualmente se utilizan algunas fuentes de energía ionizante como:

- Rayos gamma con fuente de Cobalto radioactivo ^{60}Co
- Rayos gamma con fuente de Cesio radioactivo ^{137}Cs
- Rayos X de energía mayor de 5 mega electrón-Volt
- Electrones acelerados, de energía no mayor de 10 MeV

Los rayos gamma provenientes de ^{60}Co y ^{137}Cs poseen una longitud de onda muy corta, similares a las de la luz ultravioleta y las microondas; y debido a que no pueden quitar neutrones, los productos y envases irradiados no se vuelven radioactivos. La fuente más usada para irradiar alimentos es con $^{60}\text{Cobalto}$ debido a que es menos tóxica que la de Cesio. 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 que van de 1 a 2°C que se disipan rápidamente (Sánchez, 2003).

En el Cuadro 8 se muestran algunos trabajos realizados en productos hortofrutícolas:





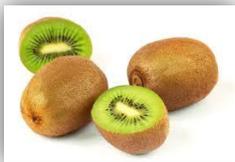
Cuadro 8. Tratamiento de irradiación gamma en distintos productos hortofrutícolas.

FRUTO	DOSIS	EFEECTO	REFERENCIA
<p>Lechuga</p> 	<p>0.5, 1.0 y 1.5 kGy</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Reduce la poluración de microorganismos y retarda su metabolismo. ◆ El contenido de Vitamina C disminuye de manera significativa y aumenta su vida útil a dosis de 1 kGy. 	<p>Zhang <i>et al.</i> (2006)</p>
<p>Durazno</p> 	<p>1 a 2 kGy</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A 1.2 a 1.4 kGy se mantiene el contenido de sólidos solubles alto y se reduce la pérdida de peso. ◆ Retrasa el índice de decaimiento de los frutos y se extiende su vida de anaquel. 	<p>Hussain <i>et al.</i> (2008)</p>
<p>Guayaba</p> 	<p>0.25, 0.5 y 1 kGy</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Disminuye el patrón de respiración y la producción de etileno al aumentar la dosis de irradiación. ◆ A 0.25 y 0.5 kGy la firmeza es mayor que en frutos no irradiados. ◆ Se retrasan cambios en el contenido de sólidos solubles y acidez conforme se maduran los frutos. ◆ El contenido de Vitamina C se retiene por más tiempo a dosis de 0.25 kGy, a dosis de 0.5 y 1 kGy existe una disminución en el contenido de esta vitamina. 	<p>Singh y Pal (2009)</p>





Cuadro 8. Irradiación gamma en distintos productos hortofrutícolas (Continuación).

FRUTO	DOSIS	EFEECTO	REFERENCIA
<p>Pera</p> 	0.8 a 2 kGy	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Extiende la vida de almacén de la pera a dosis entre 1.5 y 1.7 kGy. ◆ Se observa disminución de la acidez a temperatura ambiente y de refrigeración. ◆ La pérdida de peso aumenta en frutos irradiados y no irradiados conforme aumenta el tiempo de almacenamiento. ◆ Existe aceptación sensorial de sabor, color y textura en frutos irradiados entre 0.8 y 1.4 kGy. 	Wanni <i>et al.</i> (2008)
<p>Kiwi</p> 	1, 2 y 3 kGy	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Disminuye la luminosidad. ◆ La textura en frutos irradiados es menor que en frutos no irradiados. ◆ Existe poco efecto en el contenido de ácidos orgánicos. ◆ Disminuye el contenido de Vitamina C en frutos irradiados. ◆ Sensorialmente se muestra mayor preferencia en frutos irradiados a dosis de 3 kGy. ◆ La irradiación disminuye la actividad antioxidante a 2 kGy. 	Kyoung <i>et al.</i> (2009)
<p>Hongos (<i>Pleurotusnebrodensis</i>)</p> 	0.8, 1.2, 1.6 y 2.0 kGy	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La irradiación retrasa el deterioro en los frutos y menor pérdida de peso. ◆ La actividad de poifenoloxidasas aumenta, mientras que la catalasa disminuye. 	Qiao-ling <i>et al.</i> (2009)





Cuadro 8. Irradiación gamma en distintos productos hortofrutícolas (Continuación).

FRUTO	DOSIS	EFEECTO	REFERENCIA
<p>Manzana Roja</p> 	<p>0.2, 0.4 y 0.8 kGy</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Frutos irradiados a 0.4 y 0.6 kGy, sometidos a irradiación después de ser cosechados obtuvieron menores pérdidas de firmeza con respecto a los irradiados entre 0.6 y 0.8 kGy. ◆ En manzanas rojas se observa aumento en el contenido de sólidos solubles y acidez, conforme aumenta la dosis de irradiación. ◆ El tono en manzanas rojas no se ve afectado por el tratamiento de irradiación sino por el tratamiento de conservación a bajas temperaturas, volviendo su color de rojo a amarillo. ◆ El índice de decaimiento incrementa conforme aumenta la dosis de irradiación. 	<p>Pérez <i>et al.</i> (2009)</p>

2.15.3.2. Dosis de irradiación para tratamientos cuarentenarios

Definición de dosis: La dosis de irradiación se define como la cantidad de energía por unidad de masa de producto, y su unidad es el Gray (Gy), que es la absorción de un Joule de energía por Kilo de masa irradiada (1000Grays=1 kGy) (Herrero y Romero, 2006). Existen tres tipos de aplicaciones generales de dosis para alimentos tratados con radiaciones ionizantes (Sánchez, 2003):

- Dosis bajas “Radurización”: Que se consigue administrando dosis bajas que son menores a 1kGy, se aplica para la inhibición de la germinación, retraso de maduración y desinfección de insectos.





- Dosis media "Radacidación": Va de 1 a 10kGy, se utiliza para la reducción de los microorganismos alterantes, reducción de los patógenos no esporulados y retraso de la maduración.
- Dosis altas "Radarpertización": Van de 10 a 50kGy, se utilizan solo para la reducción de microorganismos a niveles de esterilidad donde se pueden irradiar productos con rayos gamma, rayo UV o rayos X.

Las dosis son de vital importancia para la irradiación, como una manera de ocasionar la muerte, casi nunca falla su eficacia, con algunos otros tratamientos postcosecha, la muerte completa de organismos es muchas veces aceptada como evidencia de la eficacia de actuación frente a algunas plagas, por lo que puede hacer a estos tratamientos no tan necesarios. La irradiación sirve entonces no para solucionar problemas de campo, sino para asegurar que no habrá existencia de alguna plaga cuarentenaria en algún tipo de alimento (Guy, 2008). Sin embargo, aún contando con tecnologías nuevas como estas, siempre es conveniente practicar de manera eficaz las buenas prácticas agrícolas (BPA) para obtener una mejor calidad.

La irradiación de granos, futas y vegetales es aprobada por la FDA para el control de insectos. Las frutas y vegetales también pueden ser irradiados para inhibir el crecimiento de bacterias o para alterar los rangos de maduración y así obtener un tiempo más prolongado de la vida de anaquel (Sánchez, 2003).

En México el único documento que regulaba el uso de irradiación era la NOM-033-SSA1-1993, actualmente derogada, la cual establecía una dosis de 0.05 kGy a 2.5 kGy para productos frescos y retraso de vida de anaquel, y una dosis para tratamiento cuarentenario de 0.15 a 1.0 kGy. Las dosis para combatir a la mosca de la fruta están entre 0.15 y 0.4kGy (Hallman, 2008).La dosis máxima que admite Estados unidos en productos irradiados es de 1kGy (Fernández, 1992).

En 2007, la APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) aprobó dos dosis genéricas para los insectos: 150 Gy para moscas de la fruta de la familia *Tephritidae* 400 Gy para todos los insectos, excepto las pupas y adultos de lepidópteros. La dosis de 150 Gy para tefrítidos se basa en una investigación considerable con ese grupo y la discusión pone en duda los informes de que las dosis de 150 Gy podrían ser





necesarias para algunas especies (Hallman, 2008; Guy , 2008). En el Cuadro 9 se muestran las dosis como tratamiento cuarentenario para algunas plagas:

Cuadro 9. Rangos de dosis mínimas para algunos tratamientos cuarentenarios.

TIPO DE PLAGA	MEDIDA DE EFICACIA	DOSIS (Gy)
<i>Áfidos y moscas blancas</i>	Previene la reproducción y la actividad reproductiva del adulto.	50-100
<i>Gorgojos</i>	Previene la reproducción y la actividad reproductiva del adulto.	70-100
<i>Mosca de la Fruta (Tephritidae)</i>	Previene la aparición de adultos en su último estadio.	50-150
<i>Larvas de barrenador (Lepidoptera)</i>	Previene la aparición de adultos en su último estadio.	150-250
<i>Pupas de barrenador</i>	Impide la reproducción de las pupas.	150-350
<i>Ácaros</i>	Previene la reproducción y la actividad reproductiva del adulto.	200-350
<i>Nemátodos</i>	Previene la reproducción y la actividad reproductiva del adulto.	4000

Fuente: Guy (2008).

Existen estudios que mostraron que a un valor de 150 Gy, el cual es el recomendado para el control de la mosca de la fruta en la mayoría de las frutas tropicales y subtropicales, no produce efectos fitotóxicos adversos. Se ha reportado que la mayor parte de las frutas toleran valores de dosis superiores a 150Gy, como la papaya, el kiwi, entre otros frutos tropicales, admiten dosis de irradiación de 1 kGy o mayores. Aunque este rango de dosis varía de acuerdo al lugar de origen, del cultivo, práctica de manejo y condiciones locales.





La irradiación de frutas puede ser enfocada a varios propósitos, normalmente la radurización nos sirve para detener la maduración e inhibir senescencia; la radacidación y radapertización para la eliminación de insectos. A excepción de la radacidación, todos estos conceptos se han estudiado. La radacidación tiene el objetivo de que aplicando una dosis ionizante suficiente se reduzca el nivel de microorganismos no esporulados, incluyendo parásitos, hasta un nivel indetectable (Herrero y Romero, 2006).

La radurización es el tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación ionizante para incrementar su vida media, reduciendo sustancialmente el número de microorganismos alterantes. Este concepto ha sido aplicado a fresas con dosis de 2 a 3kGy en donde se ocasionan cambios de color y olor, incremento de dulzura que resulta de una reducción de acidez normal (Sánchez, 2003). En cítricos la radurización sirve para el control de la pudrición a dosis menores de 1.5kGy, a estas dosis ocurren algunos daños inaceptables en la fruta, principalmente en la piel (Herrero y Romero, 2006).

Para detener la maduración, la irradiación en algunos frutos a dosis desde 0.25kGy llega a inhibir la desaparición de la clorofila, también la formación de pigmentos carotenoides. Causa un deterioro en la madurez, sin embargo a dosis más altas de 0.75 se llega a producir escalde en la piel (Sánchez, 2004).

La radapertización es el tratamiento de los alimentos con una dosis de radiación suficiente para reducir el nivel de microorganismos a nivel de esterilidad. Este tratamiento se ha aplicado a diferentes frutas, entre las cuales destacan los mangos y los duraznos. Los zapotes no exhiben sensibilidad y pueden tolerar una dosis de 12kGy, los cambios producidos por esta irradiación son comparables con los obtenidos por esterilización térmica (Sánchez, 2004).

La eliminación de insectos se da en general para dos propósitos, una es para prevenir el daño causado por insectos en fruta, y la segunda para el control cuarentenario. La dosis mínima para prevenir el desarrollo de huevos y larvas de mosca de la fruta es cercana a 0.21kGy, la FDA considera una dosis mínima de 1kGy.





2.15.3.3. Cambios químicos en los alimentos irradiados

En general, el proceso de irradiación produce algunos cambios químicos en los alimentos, en los que cualquier sustancia puede ser oxidada, sin embargo, estos cambios no han sido nocivos ni peligrosos para la mayoría de éstos. Los efectos biológicos de la irradiación son resultado de estos cambios que se reflejan en las estructuras atómica y molecular del material irradiado, aunque probablemente menos del 0.01% de las ligaduras químicas son afectadas (Fernández, 1992).

Efectos sobre las proteínas

Los alimentos de altos contenidos proteicos pueden exhibir grandes cambios en el sabor cuando son esterilizados con radiaciones ionizantes. Puede existir desnaturalización de proteínas con radiaciones ionizantes como un resultado de su acción indirecta. Las dosis demasiado altas provocan los siguientes fenómenos (Estrada, 2002):

- Apertura de la cadena de péptidos.
- Polimerización.
- Coagulación.
- Precipitación.

Efectos sobre los lípidos

Las radiaciones ionizantes causan la destrucción de los antioxidantes de ocurrencia natural, por lo que se forman peróxidos y aparecen los compuestos carbonílicos (Almazán, 1998).

La irradiación de ácidos grasos saturados en ausencia de oxígeno, da como resultado la formación de hidrógeno (H^+), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), vapor de agua y gases hidrocarburos volátiles. El producto principal no es volátil, es un simple hidrocarburo parafínico que ocurre de una descarboxilación.

Efectos en las vitaminas, minerales y enzimas biológicas

La destrucción de este tipo de nutrientes es proporcional a la ocasionada por la de un proceso térmico. A dosis de esterilización, la tiamina y el ácido ascórbico son





destruidos casi al mismo grado que en la esterilización por calor. Si se irradia el alimento en estado congelado se reduce la destrucción de estas vitaminas. Hasta el momento no se ha detectado ningún cambio notable, aún en la dosis de esterilización de los minerales.

Las enzimas pueden ser inactivadas por efecto directo o indirecto de las radiaciones ionizantes, las enzimas son más resistentes a los efectos de la radiación en los sustratos naturales que en soluciones puras. Si una enzima no tratada reacciona con un sustrato irradiado, la velocidad de reacción aumenta comparada con la de un sustrato no irradiado, lo que se debe a una activación de sustrato, pues existe un desdoblamiento de la molécula volviendo el punto de ataque más accesible para la enzima (Estrada, 2002).

2.15.3.4. Ventajas y desventajas de la irradiación

El interés por esta opción está en constante crecimiento. Es una alternativa a los métodos tradicionales que tiene la capacidad sanitaria y fitosanitaria: destruye microorganismos patógenos y destruye o inactiva plagas a través de la infertilidad. Las ventajas principales que se pueden mencionar son (IAIA, 2002):

- Satisface requerimientos sanitarios, fitosanitarios y de preservación.- Efectos mínimos en las características sensoriales en un amplio rango de productos alimenticios, líquidos y sólidos.
- Sus efectos cubren un amplio espectro.- Tanto en contaminantes microbianos como en plagas de insectos.
- Es un proceso reconocido como seguro por diferentes organismos internacionales.
- La irradiación de alimentos es aceptada por la World Health Organization (WHO), CODEX y entidades de gobierno de diversos países.

En el Cuadro 10 se muestran algunas de las ventajas y desventajas acerca de la irradiación gamma.





Cuadro 10. Ventajas y desventajas de la irradiación gamma.

TIPO DE FUENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Gamma</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Hasta el 95% de su energía está disponible. ◆ Buena penetración. ◆ No existen pérdidas de nutrientes. ◆ Tecnología probada. ◆ Buena uniformidad de dosis. ◆ No produce residuos tóxicos. ◆ Controla agentes biológicos contaminantes. ◆ Inhibe la brotación en algunos alimentos. ◆ Retrasa la maduración. ◆ Se han obtenido resultados favorables en vegetales. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Baja energía e intensidad. ◆ Emisión continua. ◆ Requiere recarga. ◆ Licenciamiento estrictamente regulado. ◆ En cuanto a alimentos es lenta. ◆ Pocos proveedores. ◆ Mala aceptación por parte del consumidor. ◆ Relativamente cara comparada con tratamientos térmicos. ◆ Su uso debe contar con estrictos lineamientos de seguridad al operador.

Fuente: Sánchez (2004).





2.15.3.5. Normatividad para productos irradiados

El tratamiento de irradiación está ocupando un lugar cada vez más destacado en lograr una mejor y mayor conservación de los alimentos. La demostración científica de que su aplicación no representa riesgo alguno para los consumidores sino que, además, garantiza mejor inocuidad, calidad nutricional y organoléptica que otros métodos, hacen que esta tecnología esté adquiriendo perfiles relevantes (NORMEX,2011).

La Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés) es responsable de regular las fuentes de radiación que se utilizan para alimentos. La FDA aprueba una fuente de radiación para utilizarse en alimentos, sólo después de que se haya determinado que es seguro irradiar ese alimento, manteniendo sus características de calidad (FDA, 2011). Esta organización ha evaluado la seguridad de los alimentos irradiados durante más de treinta años y descubrió que es un proceso seguro, siendo respaldado también por organizaciones como la Organización Mundial de Salud (OMS), los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés), el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), la Organización de Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), el comité Científico de la Alimentación de la Comisión Europea (SCF, por sus siglas en inglés) y el CODEX Alimentarius (SERNAC, 2004).

La normativa internacional en relación a los productos irradiados es La Norma General del Codex para alimentos Irradiados (Norma mundial) Codex Stan 106-1983(SERNAC, 2004), que establece en su párrafo 2.2 los Requisitos Generales del Proceso:

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

En su párrafo 4.1, relativo a Requisitos Tecnológicos, la norma Codex 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 Preenvasados.”

En México el único documento que regulaba el uso de irradiación era la NOM-033-SSA1-1993, actualmente derogada, la cual establecía una dosis de 0.05 kGy a 2.5 kGy para productos frescos y retraso de vida de anaquel, y una dosis para tratamiento cuarentenario de 0.15 a 1.0 kGy.

La FDA exige que los alimentos irradiados contengan el símbolo internacional de irradiación. Debe fijarse en el símbolo de Radura (Figura 11A) junto con la declaración “Manipulado con radiación” o “Manipulado con irradiación” en la etiqueta del producto (Figura 11B). Los alimentos a granel, como las frutas y las verduras, deben estar etiquetados de forma individual o tener una etiqueta al lado del envase de venta (FDA, 2011).

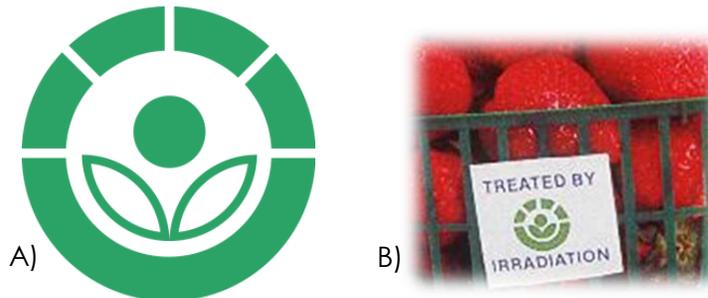


Figura 11. A) Radura. B) Leyenda de la etiqueta de un producto irradiado.

Es importante recordar que la irradiación no reemplaza las prácticas adecuadas de manipulación de alimentos por parte de los productores, procesadores y los consumidores. Los alimentos irradiados deben ser almacenados, manipulados y cocinados de la misma forma que los alimentos que no han sido irradiados, debido a que aún podrían contaminarse con organismos que provocan enfermedades después de la irradiación si no se siguen las normas básicas de seguridad alimentaria (FDA, 2001).





2.15.3.6. Exportación de productos irradiados a Estados Unidos

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 y condimentos, y en *frutas frescas*. La irradiación de alimentos es aprobada por la reglamentación de muchos países, siendo especialmente aceptada en Estados Unidos y en países latinoamericanos (SERNAC, 2004).

En los últimos años, con el fin de garantizar la producción y comercialización de productos mexicanos hospederos de moscas de la fruta de las siguientes especies *Anastrepha ludens*, *A. obliqua*, *A. striata* y *A. serpentina* (que atacan frutos como mango, naranja, guayaba, chicozapote, café, pera, durazno, manzana, olivo, mandarina, toronja, entre otros), se ha aplicado como tratamiento fitosanitario la irradiación gamma a productos hortofrutícolas, con el fin de exportarlos a Estados Unidos, principal mercado de México (SAGARPA, 2009).

Una de las condiciones para la importación de productos agrícolas a Estados Unidos es que se sometan a un tratamiento fitosanitario de *irradiación*, que garantiza que los alimentos están libres de plagas o enfermedades, condición que certifica el SENASICA, órgano desconcentrado de la SAGARPA (SAGARPA, 2010).

En Octubre del 2007, se realizó un plan de trabajo operativo de irradiación entre México y Estados Unidos de América, el cual fue desarrollado conjuntamente por el USDA, el Servicio de Inspección de Sanidad de Plantas y Animales (APHIS, por sus siglas en inglés) y la Dirección General de Sanidad Vegetal en México (DGSV). Este plan de trabajo es utilizado como una guía para el tratamiento, certificación y exportación de productos mexicanos irradiados a los Estados Unidos. Los productos aprobados se encuentran especificados en "adendums", las cuales son revisadas según sean aprobados productos para el ingreso a Estados Unidos (NORMEX, 2011).

En el 2010, el APHIS, dependencia del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), emitió la autorización para que se importen de México chile manzano y lima dulce irradiados, como resultado de las gestiones del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Bajo la aplicación de este tratamiento se han exportado otros productos a Estados Unidos, el primero de ellos





fue la guayaba, que por sus características no tenía otra alternativa de tratamiento (SAGARPA, 2010). Actualmente, están autorizados para tratamiento de irradiación y exportación a Estados Unidos de América los siguientes productos frescos (NORMEX, 2011):

- Mango.
- Naranja, Lima dulce, Toronja y Tangerina.
- Guayaba.
- Chile Manzano.

Debido a que en el presente estudio se pretende cumplir con requisitos fitosanitarios para exportar chicozapote a los Estados Unidos, según la Encuesta sobre la Comunidad Estadounidense (American Community Survey) de la Oficina del Censo, en el 2008 un total de 30.7 millones de hispanos de origen mexicano residen en los Estados Unidos, siendo la población más grande de origen hispano en este país, conformando cerca de dos tercios de la población hispana (CONAPO, 2008). Estos mexicanos son considerados consumidores potenciales del chicozapote. El chicozapote se encuentra dentro de los productos próximos a exportar a los Estados Unidos con plan de trabajo operativo de irradiación (SAGARPA, 2010), por lo que en el Anexo 2 se muestra el procedimiento del plan de trabajo para la exportación de productos hortofrutícolas.



Figura 12. Frutas exportadas a estados Unidos sometidas a un proceso de irradiación.





2.15.4. Métodos de conservación para chichzapote

Recientemente se han realizado diversos estudios con chichzapote para prolongar su vida útil e incrementar su consumo, por lo que en el Cuadro 11 se muestran algunos trabajos:

Cuadro 11. Estudios realizados en frutos de chichzapote.

TRATAMIENTO	CONDICIONES	EFEECTO	REFERENCIA
Aplicación de compuestos químicos	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 50g de chichzapote se secaron y almacenaron a 4, 8 y 22°C. ◆ Tratamientos de CaCl₂ al 1 y 2%, solución de ácido ascórbico 1% y ácido cítrico 1 y 0.5% ◆ Todas con cloro (200 ppm). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ No hubo cambios significativos en pH, actividad de agua, °Bx y color. ◆ La acidez fue mayor en frutos con ácido ascórbico 1% y ácido cítrico 0.5%. ◆ Fueron más firmes los frutos tratados con CaCl₂. ◆ Los frutos tratados con ácido ascórbico 1% y ácido cítrico 0.5% fueron preferidos sensorialmente. 	Vargas <i>et al.</i> (2008)
Almacenamiento a temperatura ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Almacenamiento a 20, 21 y 22°C. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Comportamiento climatérico y máxima producción de etileno al séptimo día. ◆ Los sólidos solubles, firmeza, pH y contenido de fenoles disminuyeron, mientras que la actividad PME y las pérdidas de peso aumentaron. ◆ No hubo cambios en los azúcares totales. 	Alía <i>et al.</i> (2002) Arévalo <i>et al.</i> (2005) Bautista <i>et al.</i> (2005)





Cuadro 11. Estudios realizados en frutos de chicozapote (Continuación).

TRATAMIENTO	CONDICIONES	EFEECTO	REFERENCIA
Almacenamiento refrigerado	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Almacenamiento a 4, 5, 8, 10, 12 y 15°C. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A menor temperatura, la producción de etileno fue menor. ◆ Existieron daños por frío a 4, 5 y 8°C. ◆ La actividad ACC-oxidasa aumentó después de la transferencia al igual que las actividades de PPO, PDO y catalasa. ◆ No hubo cambios en el contenido de azúcares totales. ◆ La firmeza, sólidos solubles, pH y fenoles totales disminuyeron. 	<p>Alfa <i>et al.</i>, 2002</p> <p>Arévalo <i>et al.</i> (2005)</p> <p>Cervera y Sauri (2002)</p>
Atmósferas modificadas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Trozos de chicozapote en bandejas de polipropileno almacenados a 4, 8 y 22°C. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La firmeza, los sólidos solubles y el pH disminuyeron. ◆ La concentración de CO₂ aumentó con el tiempo. A 4°C se mantuvo en niveles bajos. 	<p>Aldana <i>et al.</i> (2002)</p>





OBJETIVOS





3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar las características sensoriales, parámetros de calidad y vida útil de chicozapote sometido a un proceso de irradiación gamma que permita cumplir con los requisitos fitosanitarios para su comercialización a Estados Unidos.

3.2. Objetivos particulares

Objetivo Particular 1

Determinar el efecto del lugar de procedencia del chicozapote en los cambios en sus propiedades físicas, fisiológicas y fisicoquímicas para establecer su comportamiento postcosecha durante su almacenamiento a temperatura ambiente (20°C).

Objetivo Particular 2

Seleccionar la temperatura óptima de almacenamiento en refrigeración del chicozapote de diferentes procedencias que eviten los síntomas de daños por frío y preserven su calidad durante su comercialización.

Objetivo Particular 3

Evaluar el efecto de los tratamientos de irradiación gamma (150, 400 y 1000 Gy) en los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, acidez, pH), características sensoriales, nutricionales (vitamina C) y bioquímicas (actividad PME) en chicozapote, que permita seleccionar las mejores condiciones del tratamiento para su aplicación comercial.





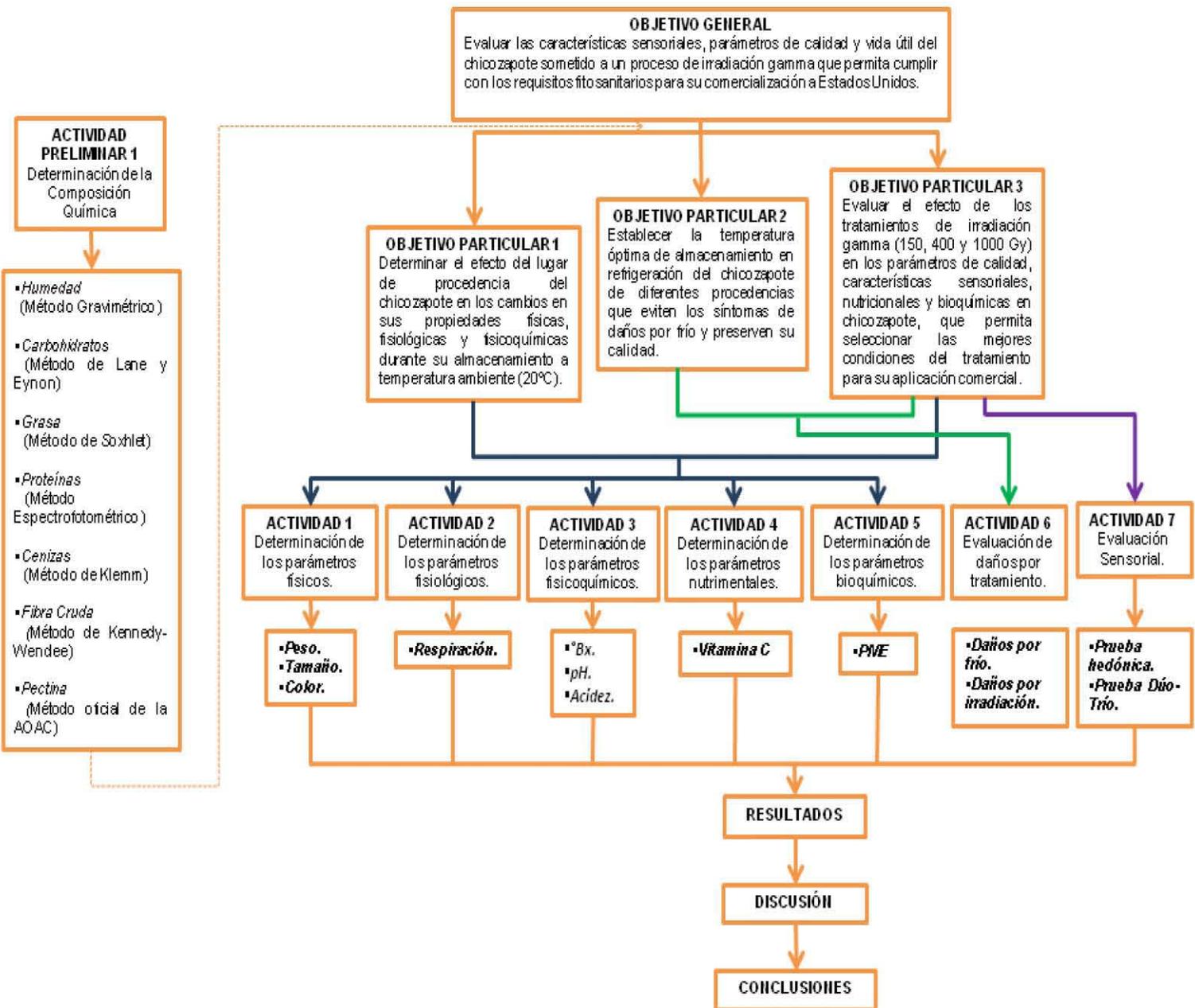
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL





4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. Cuadro metodológico





4.2. Material biológico

Los chichzapotes utilizados contaban con 3 días de haber sido cosechados, fueron de la variedad 'Betawi' (Figura 13), procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas, adquiridos en la Central de Abastos de la Ciudad de México y llevados al Laboratorio de Postcosecha del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Los frutos elegidos se limpiaron para eliminar cualquier impureza de embalaje o tierra del ambiente.



Figura 13. Chichzapote variedad 'Betawi'.

4.3. Selección de la materia prima

Los frutos se seleccionaron de acuerdo al peso y tamaño para contar con lotes homogéneos, desechando aquellos con daños como: golpes, quemaduras, picado, entre otros.

4.4. Selección de la temperatura óptima de almacenamiento

Para determinar la temperatura óptima de refrigeración que no causara daños por frío, los frutos de chichzapote se almacenaron a 12 y 16°C con una H.R. de 85-90%. Para cada condición de temperatura se estableció 1 lote de 31 frutos distribuidos de la siguiente manera: 5 frutos para medir respiración; 8 frutos para evaluar pérdida de peso y daños por frío y 18 frutos para los muestreos de cada condición. Los chichzapotes permanecieron almacenados durante 15 días en las condiciones de refrigeración, posteriormente se realizó una transferencia a 20°C manteniendo los frutos dentro de una incubadora a temperatura controlada para evaluar los daños por frío que se ocasionaron durante el almacenamiento a 12 y 16°C.





4.5. Determinación del efecto del lugar de procedencia del chicozapote.

Para determinar el efecto de la procedencia de los frutos de chicozapote (Figura 14), se evaluaron parámetros de calidad, parámetro nutricional, parámetro bioquímico y respuesta a daños por frío. Los frutos que presentaron las mejores características de calidad y el menor índice de daño por frío, fueron elegidos para el tratamiento de irradiación gamma.

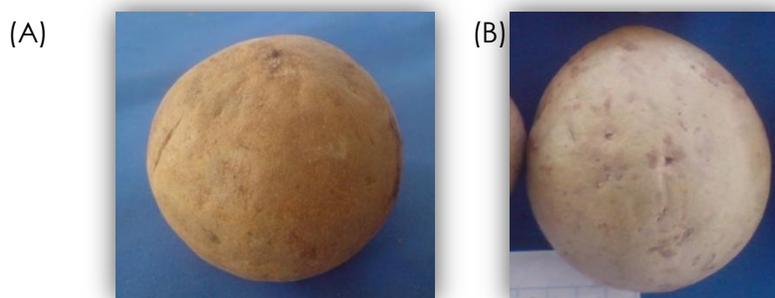


Figura 14. Chicozapotes procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B).

4.6. Tratamiento por irradiación gamma

Los chicozapotes fueron irradiados con una fuente de Co^{60} a dosis de 150, 400 y 1000 Gy en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM (Figura 15). Los tratamientos se realizaron en cajas de cartón con dimensiones de 11 x 31 x 28 cm, las cuales fueron cubiertas con una red de seguridad para tener mayor control sobre el proceso y poder observar si existía presencia de la mosca de la fruta. Para cada dosis de irradiación y el control (frutos no irradiados) se estableció 1 lote distribuido de la misma manera que se distribuyeron los frutos para selección de la temperatura óptima (Ver apartado 4.4). Los chicozapotes permanecieron almacenados en refrigeración durante 15 días a una temperatura de 12 y 16°C, posteriormente se realizó una transferencia a 20°C y se evaluaron parámetros de calidad, parámetro nutricional, parámetro bioquímico y daños por tratamiento. La dosis seleccionada fue la que preservó las características de calidad y provocó el menor índice de daño (400 Gy).

Se realizaron un total de 6 muestreos por cada condición de temperatura (12 y 16°C) y dosis de irradiación (150, 400 y 1000 Gy), efectuando un muestreo cada 5 días mientras los frutos permanecían en almacenamiento a bajas temperaturas,





posteriormente se realizó una transferencia a 20°C y los muestreos se llevaron a cabo cada 3 días. Se tomaron 3 frutos por cada muestreo y se determinaron los parámetros de calidad (pH, acidez, sólidos solubles, firmeza, color) vitamina C, y actividad PME de acuerdo a las técnicas descritas en los apartados 4.7, 4.8 y 4.9.



Figura 15. (A) Cámara de irradiación en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. (B) Dosis de irradiación a las que fueron sometidos los chicozapotes.

4.7. Métodos analíticos

4.7.1. Composición Química

4.7.1.1. Humedad

Se determinó mediante secado en estufa. Este método se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua hasta llegar a una masa constante dentro de una estufa de aire (Pearson, 1998). El resultado se expresó en g de agua/100g de muestra.

4.7.1.2. Carbohidratos

Se determinó por el método de Lane y Eynon, el cual se fundamenta en que los compuestos reductores, previamente formados a partir del carbohidrato en medio alcalino, tienen la propiedad de reducir los iones cúpricos (Cu^{+2}) a cuproso (Cu^{+1}), los que a su vez reaccionan con los iones que por efecto del calor se transforman en óxido cuproso, formando un precipitado de color rojo ladrillo (Pearson, 1998). Los resultados se expresaron en g/100g de muestra.





4.7.1.3. **Proteínas**

Se determinaron por el método de Lowry (Lowry *et al.*, 1951). Es un método colorimétrico de valoración cuantitativa de las proteínas. A la muestra se añade un reactivo (Folin-Ciocateau) que forma un complejo coloreado con las proteínas, siendo la intensidad de color proporcional a la concentración de proteínas, según la ley de Lambert-Beer. Los valores de concentración de proteínas se determinaron por interpolación gráfica en una curva patrón obtenida a 720 nm, utilizando albúmina sérica bovina, para realizar una curva patrón, en donde la proteína pura forma complejos Cu^{+2} -proteína. Los resultados se expresaron en g/100g de muestra.

4.7.1.4. **Cenizas**

Se determinaron por el método de Klemm (A.O.A.C., 1990), el cual se fundamenta en que toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550-600°C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza.

4.7.1.5. **Fibra cruda**

La fibra cruda se determinó con el método de Kennedy-Wendee, el cual se basa en la hidrólisis en medio ácido y alcalino de una muestra desengrasada (Pearson, 1998). El resultado se expresó en g/100g de muestra.

4.7.1.6. **Grasa**

Para la realización de grasa se utilizó la técnica de Soxhlet (A.O.A.C., 1990). Esta técnica se fundamenta en una extracción semicontinua con un disolvente orgánico (éter de petróleo). La cuantificación se realiza por diferencia de peso y el resultado se expresa en g/100g de muestra.

4.7.1.7. **Pectina**

Para la determinación de pectina, la muestra se saponifica en una solución de hidróxido de sodio, seguido por la acidificación y adición de Ca^{2+} para precipitar la pectina, formando un complejo llamado *pectato de calcio*. El pectato de calcio se recoge, se lava y seca y se mide gravimétricamente (Nielsen, 2009). El resultado se expresa en g/100 g de muestra.





4.7.2. Índice de daño por frío (IDF) e Índice de daño por radiación (IDR)

Los daños ocasionados por frío, así como por el tratamiento de irradiación gamma se evaluaron durante todos los días de almacenamiento utilizando una escala hedónica, evaluando daños como el manchado de la piel con la siguiente escala (Corrales-García y Tlapa-Rangel, 1999):

- 0= Si daño en piel (0%)
- 1= Daño ligero (1-20%)
- 2= Daño moderado (21-40%)
- 3= Daño severo (41-60%)
- 4= Daño muy severo (60-100%)

Las condiciones de almacenamiento en refrigeración se eligieron una vez determinados los daños por frío, mientras que la dosis fue elegida según el índice de daño ocasionado por el tratamiento, tomando en cuenta el cambio existente en los frutos en cuanto a parámetros de calidad, nutrimentales y bioquímicos.

4.8. Parámetros de calidad

4.8.1. Pérdida de peso

Se evaluó mediante diferencia de pesos (Figura 16), tomando como base el peso inicial del fruto menos su peso final, expresando el resultado en porcentaje de pérdida de peso durante el almacenamiento.



Figura 16. Balanza granataria utilizada para la determinación de la pérdida de peso.





4.8.2. Intensidad respiratoria

La respiración fue determinada diariamente por el método estático (Figura 17), en donde el fruto se colocó dentro de un frasco de vidrio de volumen conocido durante una hora. Transcurrido el tiempo, se tomó la lectura de CO_2 del aire durante un minuto, e inmediatamente después se tomó la lectura de CO_2 de la muestra con un analizador de gases por infrarrojo (ANALYZER Nitec, LLC) durante otro minuto. Los resultados se expresaron en $\text{mg CO}_2/\text{kg h}$.



Figura 17. Analizador de gases utilizado para la determinación de la intensidad respiratoria.

4.8.3. Firmeza

Se midió con ayuda de un penetrómetro manual tipo chatillón (Figura 18) de acuerdo a la NMX-FF-058-SCFI- 2006. El fruto se colocó sobre una superficie sólida y se introdujo el penetrómetro hasta perforar el fruto. El instrumento nos indica la fuerza que se necesitó para penetrar el fruto en kg/cm^2 .



Figura 18. Penetrómetro manual utilizado para la determinación de firmeza.





4.8.4. Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles fue medido directamente con un refractómetro manual Atago con escala de 0-33°Brix. La medición se realizó colocando con ayuda de una pipeta Pasteur una gota del líquido liberado por el fruto después de la penetración sobre la cara del refractómetro y dirigiéndolo hacia la luz (Figura 19). El contenido de sólidos solubles fue expresado en °Brix.



Figura 19. Refractómetro manual utilizado para la determinación de sólidos solubles.

4.8.5. Acidez titulable y pH

Se pesaron 5g de chicozapote, los cuales se molieron en una licuadora con 45ml de agua destilada y posteriormente se filtraron. Una vez que se obtiene el filtrado se toman 20 ml y se determinó la acidez por titulación con hidróxido de sodio 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador, como se observa en la Figura 20 (A). Los resultados se expresaron en % de ácido cítrico. El pH se determinó con un potenciómetro manual (Hanna Instruments) mediante la inmersión del electrodo en la muestra obteniendo lectura directa (Figura 20 B).

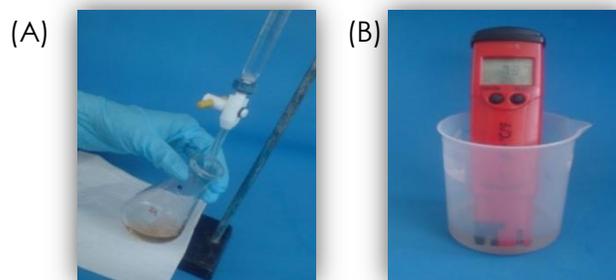


Figura 20. Titulación ácido-base para determinación de acidez titulable (A) y potenciómetro manual para determinar pH (B).





4.8.6. Color

Su determinación se llevó a cabo con la utilización de un colorímetro Minolta CR300 (Figura 21) por el sistema Hunter Lab que representa la cromaticidad en coordenadas rectangulares (Mc Guire, 1992).

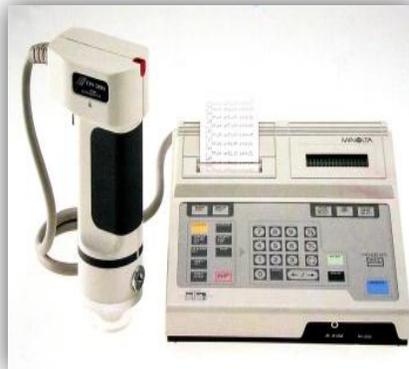


Figura 21. Colorímetro Minolta con sistema Hunter Lab.

Los valores de a en abscisas muestran desde los valores negativos para el verde a valores positivos para el rojo, los valores de b en ordenadas van desde el azul ($-b$) al amarillo ($+b$), y el parámetro L representa la luminosidad desde la reflexión nula (negro) a reflexión difusa perfecta (blanco), tal como se muestra en la Figura 22:

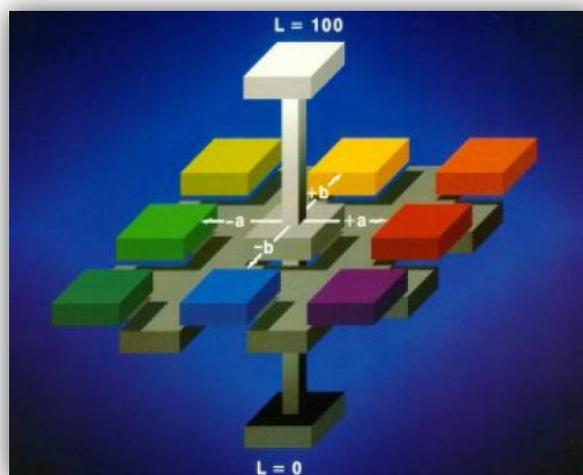


Figura 22. Espacio de color Hunter L, a, b.

Fuente: Briggs (2011).





El instrumento fue estandarizado con una placa de cerámica. La medición del color se realizó directamente en la pulpa del fruto. Los valores L, a y b se utilizaron para calcular el tono (ángulo Hue) donde Hue: 0=rojo-púrpura, 90=amarillo, 180=azul-verde y 270 azul. El croma indica la intensidad del color a saturación del color.

4.9. Parámetro nutrimental

4.9.1. Vitamina C

Se determinó con el método volumétrico de titulación con 2,6-dicloro-fenol-indofenol (AOAC, 1990) como se muestra en la Figura 23. Los resultados se expresaron en mg de ác. ascórbico/ g de muestra.



Figura 23. Titulación con indofenol para determinar vitamina C.

4.10. Parámetro bioquímico

4.10.1. Actividad Pectinmetilesterasa (PME)

La actividad PME, es medida con un ensayo espectrofotométrico (Figura 24) descrito por Hagerman y Austin (1986), mediante la reducción de la densidad óptica a 620 nm a 40°C. Los resultados se expresan como el cambio de densidad óptica (DDO) en un minuto bajo las condiciones de ensayo, por cantidad de proteína. Ver Anexo 1.





Figura 24. Equipo utilizado para la determinación espectrofotométrica de la actividad PME.

4.11. Evaluación sensorial

Para determinar el efecto sobre los parámetros sensoriales a causa de la radiación, se aplicaron pruebas de tipo hedónica (de preferencia) y dúo-trío, aplicadas a 20 panelistas no-entrenados siendo evaluados los atributos de sabor, apariencia, olor, color y textura.

◆ Prueba hedónica

Para la prueba hedónica se tomó una escala del 1 al 5 que se muestran a detalle en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Escala de los parámetros evaluados del chicozapote irradiado a 150, 400 y 1000 Gy.

No.	Característica	1	2	3	4	5
1	Color	Verde- Amarillo	Amarillo	Amarillo- Naranja	Naranja	Café
2	Olor	Me disgusta mucho	Me disgusta poco	Ni me disgusta ni me gusta	Me gusta poco	Me gusta mucho
3	Sabor	Me disgusta mucho	Me disgusta poco	Ni me disgusta ni me gusta	Me gusta poco	Me gusta mucho
4	Característica de sabor	Muy amargo	Amargo	Ni amargo ni dulce	Dulce	Muy dulce
5	Textura	Muy duro	Duro	Ni duro ni blando	Blando	Muy blando





◆ *Prueba dúo-trío*

La prueba dúo-trío consistió en colocar tres muestras a los panelistas, de las cuales la primer muestra era la referencia (R), la segunda era una muestra diferente (A) y la tercera era una muestra igual a la referencia (B). Se colocaron las tres muestras en donde los panelistas debían identificar la muestra igual a la referencia.

4.12. Análisis estadístico

Para determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento y la procedencia se utilizó un diseño factorial (12, 16°C/Yucatán, Chiapas) con un análisis multivariable, mientras que para establecer el efecto de la dosis de irradiación se utilizó un ANOVA simple. Ambos tratamientos se realizaron en el programa estadístico SPSS de IBM, aplicando pruebas de rango múltiple (Duncan), con un intervalo de confianza del 95%, determinando así si existe diferencia significativa o no entre los parámetros analizados.





RESULTADOS Y DISCUSIÓN





5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Selección de frutos

Para la selección de frutos, fueron desechados aquellos que presentaron daños, tales como: manchado, quemaduras, deformaciones, golpes e incluso picaduras, las cuales pueden deberse a la presencia de la mosca de la fruta. A continuación en el Cuadro 13 se muestran algunos de los daños encontrados en los frutos de chicozapote:

Cuadro 13. Daños presentados en frutos de chicozapote.

FRUTOS DE CHICOZAPOTE	TIPO DE DAÑO	FRUTOS DE CHICOZAPOTE	TIPO DE DAÑO
	Daño Mecánico		Deformaciones
	Grietas		Picado
	Manchas en la piel		Quemaduras





5.2. Caracterización química del chicozapote

La composición de los alimentos puede diferir considerablemente dependiendo de la variedad y algunos otros factores como: el clima o grado de madurez. En el Cuadro 14 se muestra la composición química de frutos de chicozapote en estado de madurez comercial utilizados para este estudio.

Cuadro 14. Composición química experimental de frutos de chicozapote.

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Agua	73.71±0.28
Azúcares Reductores	21.91±0.78
Fibra	2.85±0.06
Pectina	0.42±0.01
Grasa	0.84±0.04
Cenizas	0.16±0.005
Proteína	0.08±0.01

En frutos de chicozapote la humedad representa hasta el 78% de todo el fruto, la mayor parte se encuentra en la pulpa. El contenido de humedad puede variar dependiendo del estado de madurez que exista en el fruto, conforme el fruto madura la humedad disminuye (Ojeda, 2006).

Los carbohidratos conforman la segunda parte mayoritaria en el fruto. La maduración del chicozapote se complementa tras 9 días de almacenamiento a temperatura de 22°C, alcanzando una alta acumulación de azúcares, siendo el predominante la sacarosa con 14% de los azúcares totales (Irigoyen, 2005).

La fibra cruda es de origen vegetal, está formada por sustancias que no pueden ser desdobladas por las enzimas digestivas, por lo que no se pueden absorber, cuando el fruto va madurando, la pectina se separa, y comienzan a actuar determinadas enzimas que degradan la pared celular (Hutjens, 2003). Los frutos de chicozapote alcanzan valores de 1.6 hasta de 2.9% de fibra cruda, dependiendo de la procedencia y variedad, por lo que puede formar parte de una dieta balanceada para aquellos que lo consumen.





Experimentalmente se encontró que los lípidos representan el 0.84% de la pulpa de chicozapote. La mayoría de los lípidos se encuentran en las membranas celulares o como material de reserva de los vegetales (Rodríguez y Magro, 2008). Estos compuestos pueden dar estructura a los frutos o contribuir al desarrollo del sabor que los caracteriza.

5.3. Almacenamiento a temperatura ambiente

Es necesaria la generación de información acerca de los mecanismos involucrados en el proceso de maduración, por lo que frutos de chicozapote fueron almacenados a 20°C para determinar su comportamiento según su lugar de procedencia.

5.3.1. Parámetro fisiológico

5.3.1.1. Intensidad respiratoria

Es un importante proceso metabólico que ocurre en los frutos cosechados. La respiración es un indicador de la actividad metabólica y por lo tanto es una guía útil para evaluar la vida potencial de los frutos en condiciones de almacenamiento, a través de patrones respiratorios en sus diferentes etapas de desarrollo (Ojeda, 2006).

Los frutos de chicozapote procedentes de Yucatán y Chiapas no mostraron variaciones significativas en su tasa de respiración durante los primeros dos días de almacenamiento a 20°C. El patrón respiratorio presentó el típico comportamiento climatérico, coincidiendo con lo reportado por Nakasone y Paull (1998), citado por Bautista *et al.* (2005), ubicándolo en el grupo de frutos con tasa respiratoria moderada (40 a 80 ml·kg⁻¹·h⁻¹ CO₂), ya que a temperatura ambiente (20°C) los chicozapotes procedentes del estado de Yucatán presentaron una máxima producción de 39.03 mg CO₂/kg h al quinto día de almacenamiento, mientras que los frutos del estado de Chiapas tuvieron un valor de 53.51 mg CO₂/kg h al tercer día de almacenamiento, tal como se muestra en la Figura 25. De igual manera en la Figura 25 se observa que el cuarto día, los frutos de Chiapas no muestran respiración alguna, continuando su ciclo de respiración a partir del quinto día, sin embargo, esto no implica que los frutos no hayan respirado durante este tiempo, sino puede deberse a que la respiración fue imperceptible para poderse medir con el analizador de gases y debido a esto no hubo valor alguno.





Kader (2005) menciona que la tasa de respiración de frutos de chichzapote fluctúa entre 25 y 35 ml CO₂/kg h cuando se encuentran almacenados a 20°C, valores inferiores a los encontrados en este estudio. La diferencia se debe probablemente al método de medición, a las unidades en las que se encuentran reportados los resultados y al lugar de procedencia, recordando que la velocidad de maduración para cada fruta es variable, aún siendo de la misma especie (Vargas *et al.*, 2005).

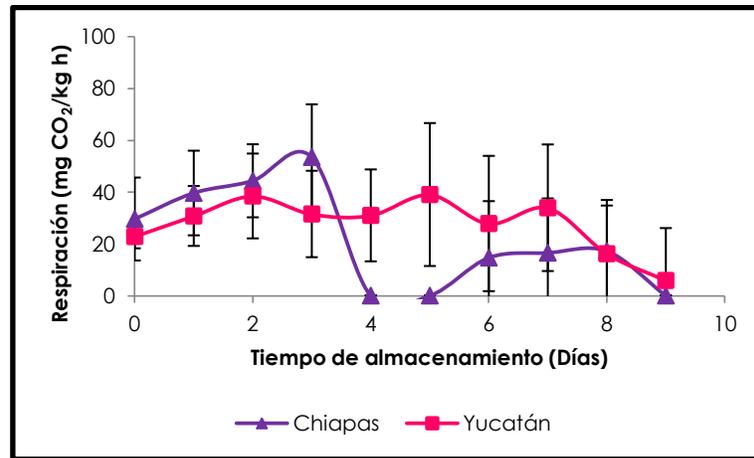


Figura 25. Cambios en la respiración en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

Estadísticamente existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la producción de CO₂ los días 3, 4 y 5, mientras que en los días 1, 2, 6, 7, 8 y 9 no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la procedencia.

5.3.2. Parámetros de calidad

5.3.2.1. Pérdida de peso

Los vegetales que se consumen en fresco, como las frutas y hortalizas, aun después de recolectadas, continúan realizando sus funciones vitales, entre ellas la transpiración y el intercambio de agua, en forma de vapor, con la atmósfera que los rodea (Pulla, 2010).

Al término del almacenamiento a 20°C la pérdida de peso en chichzapotes alcanzó un valor de 11.20% para frutos procedentes de Yucatán y un 12.53% para frutos originarios de Chiapas (Figura 26). De acuerdo a Sousa y Narain (2002), las pérdidas se presentan en mayor proporción a temperaturas de exposición altas debido a que se





presentan daños en el tejido y a la transpiración. Los resultados son similares a lo que reportan Sousa y Narain (2002), quienes muestran pérdidas fisiológicas de peso del 15% a los nueve días de almacenamiento (27°C y 65% de H.R.).

De acuerdo a Pulla (2010), las pérdidas de peso a temperatura ambiente (25±2°C) son muy elevadas, siendo éstas superiores al 10% en frutos de ambas procedencias debido a la baja humedad relativa (70-75%). Para prevenir las pérdidas de peso elevadas, es conveniente conservar los productos en cámaras a temperaturas bajas y humedad relativa alta (Pulla, 2010).

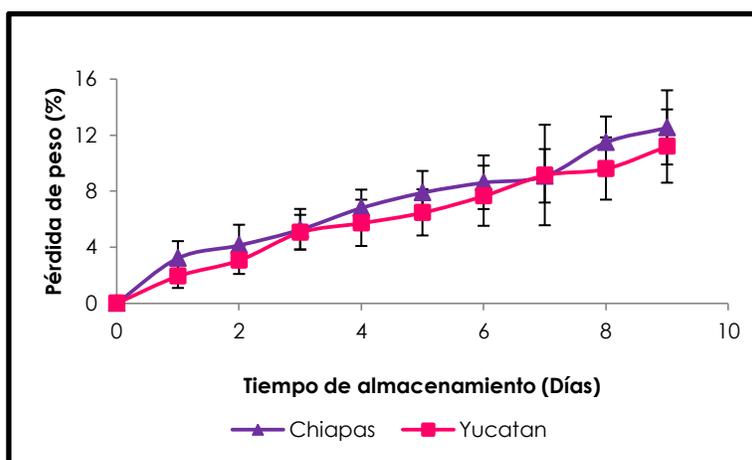


Figura 26. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

Los chicozapotes originarios del estado de Chiapas, sufren mayor pérdida de peso a temperatura ambiente (20°C) que los frutos provenientes del estado de Yucatán, sin embargo, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en este parámetro de calidad, excepto en los días 2, 5 y 8.

5.3.2.2. Firmeza

El factor más importante en la decisión del consumidor sobre la compra de frutas frescas es la firmeza que muestran al tacto, por lo que la pérdida de ésta contribuye a la disminución de la calidad de la fruta (Nuez, 1999).

A medida que los frutos de chicozapote van madurando, la firmeza disminuye de manera gradual (Arévalo *et al.*, 2005), lo que se observó durante el tiempo de almacenamiento a 20°C, ya que los frutos del estado de Yucatán perdieron el 82.43%





de su firmeza, mientras que los frutos del estado de Chiapas presentaron una disminución del 79.77%. Como se observa en la Figura 27, la reducción más rápida de la firmeza se presentó al tercer día de almacenamiento desde 14 hasta 5.56 kg/cm² en frutos provenientes de Yucatán, lo que coincide con uno de los puntos de máxima producción de CO₂. Para frutos provenientes de Chiapas la mayor pérdida se presentó del sexto al octavo día desde 13 hasta 2.63 kg/cm².

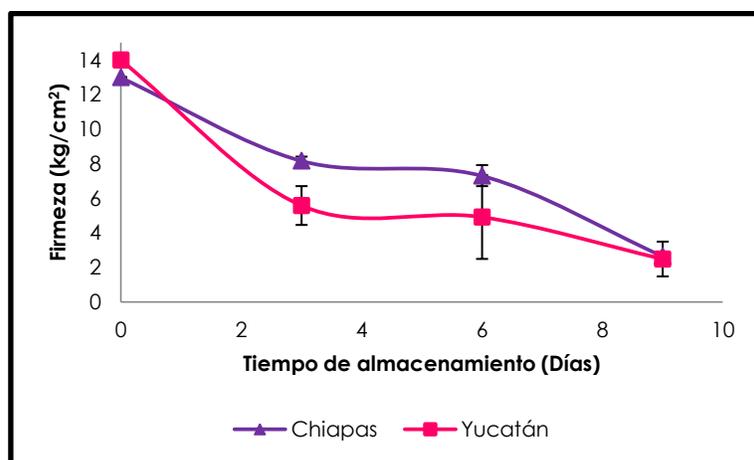


Figura 27. Cambios en la firmeza en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

Los frutos provenientes del estado de Chiapas mantienen por más tiempo su firmeza, aunque al término del almacenamiento, fue aproximadamente igual a la de los frutos de Yucatán, con valores de 2.63 y 2.46 kg/cm², respectivamente. La pérdida de la firmeza va acompañada de factores como la manipulación; la existencia de daños mecánicos; actividad de diversas enzimas; acción de la temperatura de almacenamiento, la cual acelera las reacciones a medida que aumenta, causando degradación de la pared celular, disminuyendo la vida de anaquel (Aldana *et al.*, 2002).

De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la procedencia en los cambios de firmeza de los chicozapotes.

5.3.2.3. Sólidos solubles

Los sólidos solubles (°Bx) del fruto son un parámetro muy utilizado como índice de madurez, ya que da una idea de los sólidos solubles que hay en el jugo del fruto,





aceptando que todos ellos fueran sacarosa. Hay que tener en cuenta que en esta medida de °Bx no se contemplan los constituyentes insolubles que se puedan encontrar en la pulpa del fruto (Bosquez, 2011).

Durante el almacenamiento a 20°C los sólidos solubles totales presentaron un aumento y después permanecieron constantes con un valor final de 16°Bx, en el caso de los chichzapotes de Yucatán. En los frutos procedentes del estado de Chiapas los sólidos solubles aumentaron hasta el sexto día, disminuyendo al noveno día con un valor al término del almacenamiento de 12.13°Bx. Este comportamiento fue probablemente debido a la variación inherente de los frutos (Figura 28).

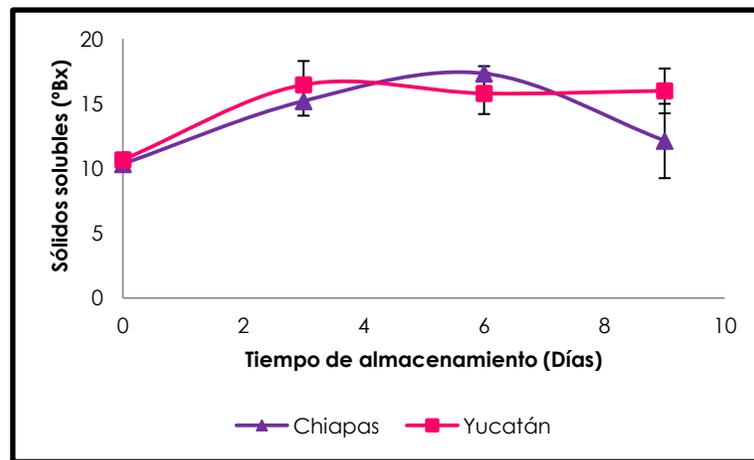


Figura 28. Contenido de sólidos solubles expresados en °Bx en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

Los valores de sólidos solubles obtenidos concuerdan con lo reportado por Kader (2005), quien dice que como índice de calidad en frutos de chichzapote, su contenido debe estar entre 12 y 26°Bx, en la madurez de consumo. La disminución de sólidos solubles totales puede estar relacionada con el contenido de látex, del cual no se ha reportado valor para frutos de chichzapote; ya que es una emulsión de varias sustancias con diferente índice de refracción (Sousa y Narain, 2002) o bien, esta disminución podría indicar el consumo de azúcares como sustratos durante la respiración y una probable fermentación (Vargas *et al.*, 2005).

Tras nueve días de almacenamiento, los frutos originarios del estado de Yucatán presentan un contenido mayor de sólidos solubles en comparación con los de





Chiapas, sin embargo, no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la procedencia en este parámetro.

5.3.2.4. pH

Los valores de pH indican la medida de acidez o basicidad de un producto a partir de la concentración de iones hidrógeno (Márquez *et al.*, 2007).

En la Figura 29 se puede apreciar que el pH de los chicozapotes almacenados a 20°C disminuyó de 5.34 a 4.24 al noveno día en frutos procedentes del estado de Chiapas; en los frutos del estado de Yucatán, disminuyeron de 5.36 a 4.50 al sexto día, aumentando ligeramente a 4.85 al termino del almacenamiento, indicando que estos frutos son ligeramente ácidos. Los valores obtenidos son similares a los reportados por Vargas *et al.* (2005), quienes indican que para chicozapotes en estado sazón el pH es de 5.13 y de 4.59 para frutos maduros.

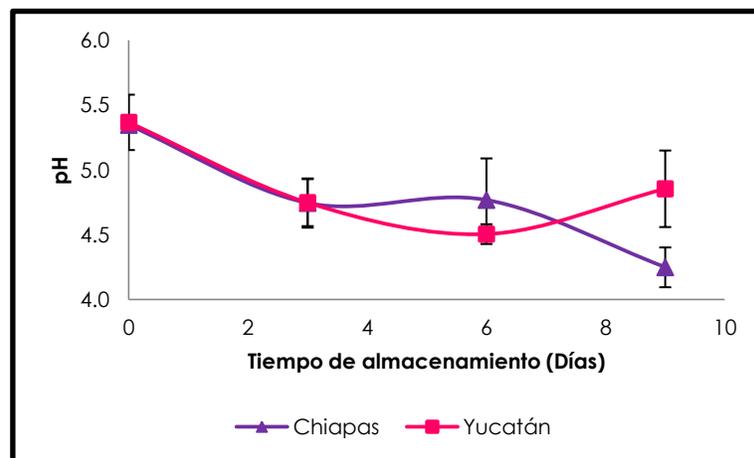


Figura 29. Cambios en el pH de frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

A medida que la concentración de ácidos presentes en el fruto disminuye, el pH presenta una ligera tendencia al aumento, tal como se muestra en la Figura 29. Este ligero aumento de pH podría relacionarse con la disminución de hidrogeniones libres presentes en la pulpa de la fruta, posiblemente debido a que muchos de los ácidos orgánicos participan durante el proceso de maduración en la formación de sustancias volátiles aromáticas (Márquez *et al.*, 2007).





Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el pH de los frutos a pesar de que los chicozapotes originarios del estado de Yucatán, presentan valores ligeramente superiores que los frutos provenientes del estado de Chiapas durante su almacenamiento a 20°C.

5.3.2.5. Acidez titulable

La mayoría de las frutas son particularmente ricas en ácidos orgánicos, los cuales son importantes por su efecto en el sabor. Estos ácidos se encuentran usualmente disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres, glucósidos, etc. La acidez titulable representa a los ácidos orgánicos presentes que se encuentran libres (Bosquez, 2011).

Como se observa en la Figura 30, la acidez del chicozapote tiende a disminuir a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, a pesar de tener algunas variaciones en su comportamiento. Los incrementos que se dan en su contenido pueden deberse a una concentración de ácidos orgánicos a causa de la pérdida de agua (Vargas *et al.*, 2005).

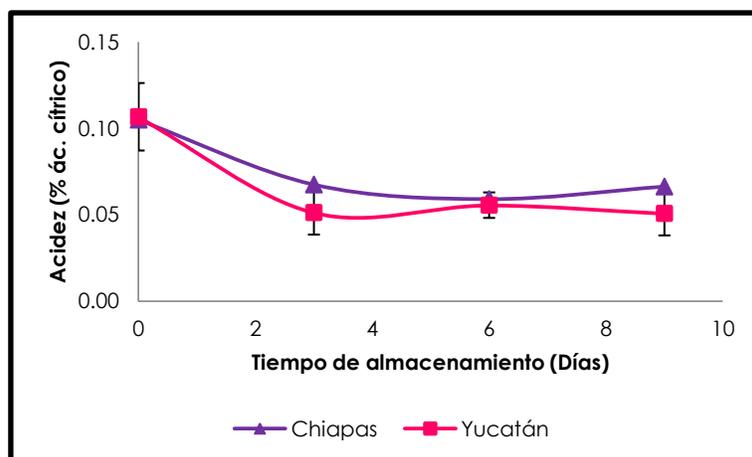


Figura 30. Cambios en el contenido de acidez titulable en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

El contenido de ácidos orgánicos disminuyó de 0.11 a 0.05% en frutos de Yucatán y de 0.10 a 0.06% en frutos de Chiapas (Figura 30). Esta reducción es debido a que los ácidos son utilizados en respiración o convertidos en azúcares (Alía *et al.*, 2002).





Los valores mostrados anteriormente, son inferiores a los obtenidos por Vargas *et al.* (2005), quienes reportan que en madurez fisiológica el porcentaje de acidez fue de 0.26%, mientras que en estado de madurez comercial fue de 0.09%. Esta diferencia puede ser debida a la variedad de chicozapote con la que se trabajó y a la procedencia, recordando que no existe un grado de madurez homogéneo en estos frutos (Laksminarayana, 1980). No existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las procedencias.

5.3.2.6. Color

Entre los cambios más importantes ligados con la maduración de los frutos se encuentran su apariencia, color, olor y sabor, siendo el cambio de color uno de los síntomas más evidentes de la maduración, ya que se presenta degradación y/o síntesis de pigmentos (Vargas *et al.*, 2005).

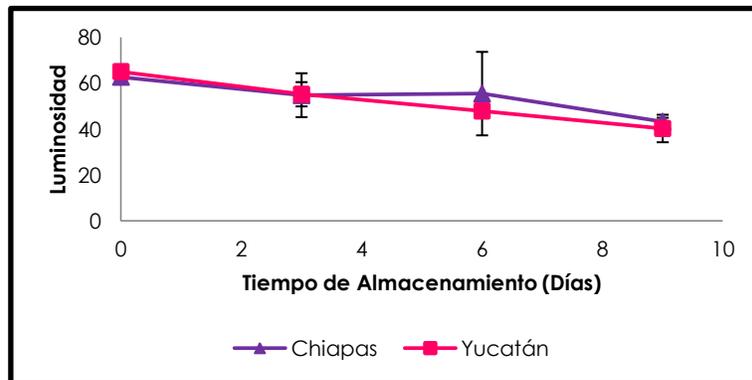


Figura 31. Cambios en la luminosidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

La luminosidad (L) es la capacidad para reflejar la luz. Como se observa en la Figura 31, la luminosidad disminuyó rápidamente de 62.83 y 65.13 a 43.33 y 40.30 tras nueve días de almacenamiento en frutos procedentes de Chiapas y Yucatán, respectivamente. Esta disminución se debe a un oscurecimiento gradual de la pulpa que se presenta de manera normal durante el proceso de maduración de este fruto (Alía *et al.*, 2002). Los resultados son similares a los obtenidos por Alía *et al.* (2002), quienes reportan que la luminosidad disminuye gradualmente de 60 a 40 por un tiempo de almacenamiento de 6 días a 20°C.





Briggs (2011), menciona que el $^{\circ}$ Hue o ángulo matiz indica el color de la pulpa (tono), donde valores cercanos a 90 indican un color amarillo y valores cercanos a 0 indican un color rojo. A medida que los frutos van madurando, los valores del $^{\circ}$ Hue tienden a disminuir (Figura 32). Durante el almacenamiento a temperatura ambiente (20°C) los valores del $^{\circ}$ Hue disminuyen de 71.16 a 56.27 en chicozapotes de Chiapas, mientras que en frutos de Yucatán, los valores de este parámetro disminuyen de 73.41 a 59.67, al noveno día. Alía *et al.* (2002) reportan una disminución de los valores para el $^{\circ}$ Hue de 57 a 43 a los seis días de almacenamiento, los cuales son inferiores en comparación con los encontrados en este estudio, atribuyendo esta diferencia a la variedad de chicozapote con la que se trabajó y a la procedencia de los mismos, ya que dependiendo del cultivar son las características particulares del fruto (Irigoyen, 2005).

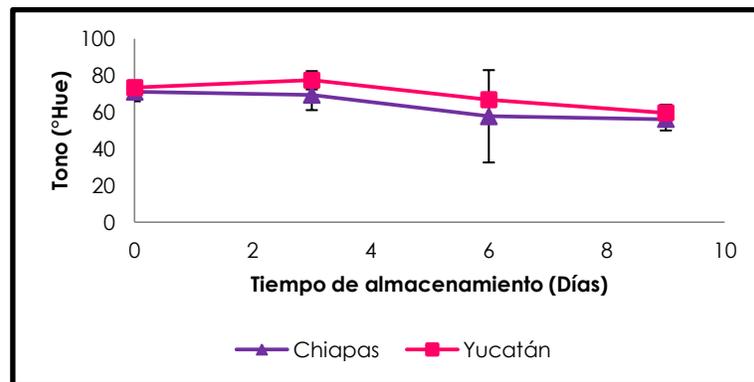


Figura 32. Cambios en el ángulo Hue en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C .

El croma indica la pureza del color (Alía *et al.*, 2002). A medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, el valor del croma tiende a disminuir, como se muestra en la Figura 33. La disminución de esta característica del color es muy notoria a 20°C , con un valor final de 26.06 para frutos procedentes de Yucatán y 23.32 para chicozapotes originarios de Chiapas, al término del almacenamiento. Los valores al término del almacenamiento son similares a los reportados por Alía *et al.* (2002), quienes muestran valores de croma entre 25 y 35.



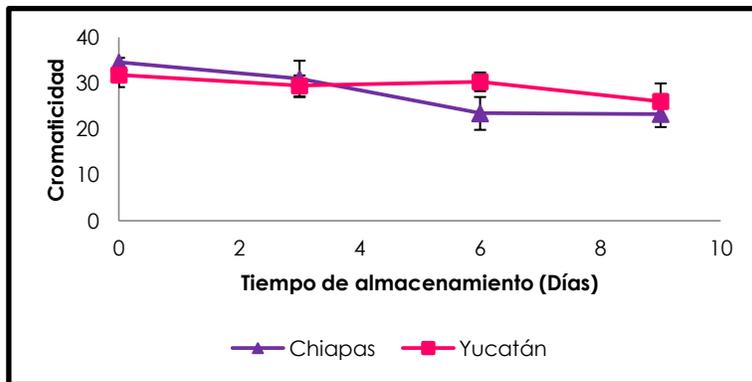


Figura 33. Cromaticidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

A continuación se puede observar en el Cuadro 15 los cambios ocasionados por el almacenamiento a bajas temperaturas, el primer día de almacenamiento los frutos mostraron una coloración amarillo-naranja, acercándose a tonos naranja-rojizo a medida que avanzaba el proceso de maduración.

Cuadro 15. Color de los chicozapotes de diferentes procedencias almacenados a 20°C.

LUGAR DE PROCEDENCIA	DÍA DE ALMACENAMIENTO	IMAGEN
Yucatán	Día 0	
	Día 10	





Cuadro 16. Color de los chicozapotes de diferentes procedencias almacenados a 20°C. (Continuación).

LUGAR DE PROCEDENCIA	DÍA DE ALMACENAMIENTO	IMAGEN
Chiapas	Día 0	
	Día 10	

Al término del almacenamiento a 20°C los valores finales de cada una de las características del color (luminosidad, °Hue y cromaticidad) para ambas procedencias son muy similares entre sí, por lo que estadísticamente no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en cada una de ellas.

5.3.3. Parámetro nutrimental

5.3.3.1. Vitamina C

Una de las vitaminas más importantes en frutas y hortalizas para la nutrición humana es la vitamina C. La vitamina C es el término común para todos los compuestos que muestran la actividad biológica del Ácido L-ascórbico. La madurez en la cosecha, el método de cosecha y el manejo postcosecha afectan significativamente el contenido de vitamina C en frutas y hortalizas (Lee y Kader, 2000).

El contenido inicial de vitamina C en chicozapotes de Yucatán fue de 10.42mg ác. ascórbico/100g de muestra y en frutos de Chiapas de 8.82mg ác. ascórbico/100g de muestra, valores que concuerdan con lo reportado por Arzudia (2006), quién indica que en frutos de chicozapote inmaduros el contenido de vitamina C varía entre 8.8 y 40 mg ác. ascórbico/100g de muestra.





Como se observa en la Figura 34, la disminución de vitamina C es evidente a 20°C, debido a que las pérdidas de esta vitamina son más aceleradas a altas temperaturas (Lee y Kader, 2000), ya que tras nueve días de almacenamiento, su contenido se redujo un 84.93 y 72.22% respecto al contenido inicial, con valores finales de 1.57 y 2.45mg ác. ascórbico/100g, en frutos de Yucatán y Chiapas, respectivamente. Esta significativa disminución puede deberse a una concentración elevada de CO₂ de la atmósfera (Arzudia, 2006) ocasionada por la respiración de los frutos.

Los chicozapotes provenientes del estado de Chiapas poseen un contenido de ácido ascórbico ligeramente superior que los originarios del estado de Yucatán, tomando en cuenta que su concentración varía entre especies y cultivares (Lee y Kader, 2000), sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la procedencia.

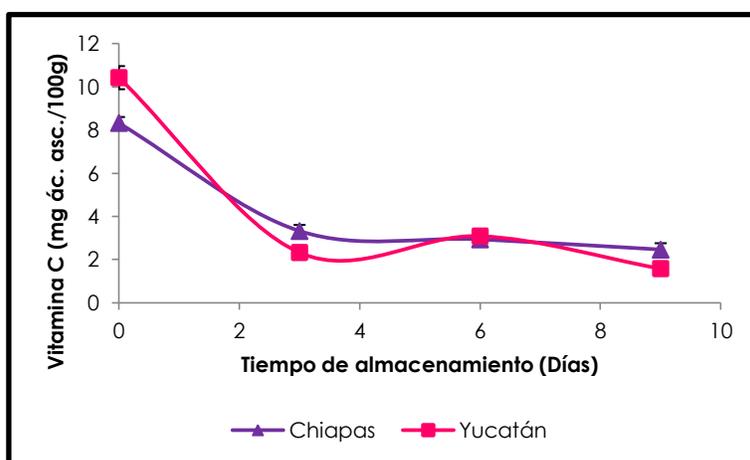


Figura 34. Contenido de vitamina C en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

5.3.4. Parámetro bioquímico

5.3.4.1. Actividad pectinmetilesterasa

Durante la maduración normal de los frutos, las pectinas son degradadas, lo cual contribuye a cambios de textura como el ablandamiento y la liberación de jugo (Candan, 2011). Brummel y Harpster (2001), señalan que la velocidad de ablandamiento de los frutos es el principal factor que determina su deterioro postcosecha e influye en su vida de anaquel, limitando su transporte y





almacenamiento. La degradación de pectinas ocurre por la acción de dos enzimas: la pectinmetilesterasa (PME) que cataliza la “desmetilación” de las pectinas y la poligalacturonasa (PG) que reduce a menor tamaño las pectinas demetiladas en una reacción de “depolimerización” (Candan, 2011).

En frutos de chicozapote, la actividad PME aumentó conforme el fruto fue madurando, observando ligeras variaciones en su comportamiento (Figura 35). En los frutos inmaduros la actividad PME fue de 0.0086 y 0.03 Δ abs/mg prot., misma que fue incrementando gradualmente hasta alcanzar valores máximos de 0.1404 y 0.0454 Δ abs/mg proteína al noveno y tercer día de almacenamiento en frutos procedentes de Yucatán y Chiapas, respectivamente.

La pectina se produce junto con la celulosa para formar protopectina en la etapa inmadura del fruto como una forma insoluble. De esta forma, la pectina es protegida de la degradación por agentes tales como las enzimas pectolíticas, álcalis y ácidos que pueden estar presentes en el tejido del fruto. Sin embargo, en la maduración de la fruta, la protopectina se rompe y la celulosa retira la protección a la pectina. Esta última se vuelve susceptible a la degradación (Candan, 2011).

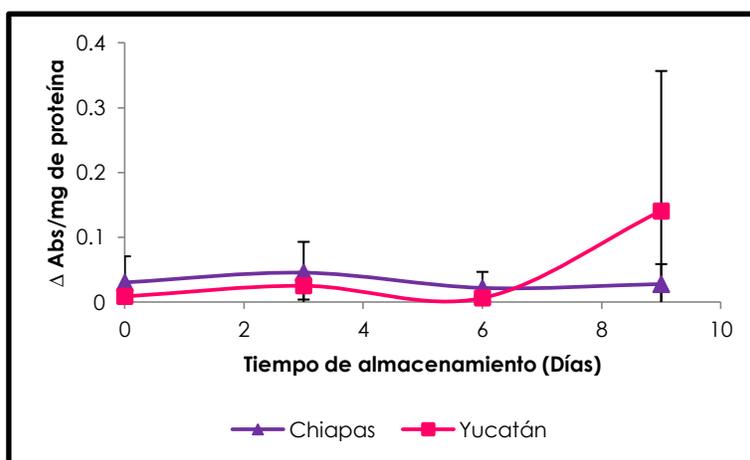


Figura 35. Actividad Pectinmetilesterasa en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán y Chiapas almacenados a 20°C.

No existe una relación directa de la actividad PME con la pérdida de firmeza (Figura 27) puesto que no hay correlación entre ambos parámetros, por lo que la disminución de la textura del fruto puede deberse a otros factores, entre ellos, la acción de enzimas como la poligalacturonasa (PG) (Arévalo *et al.*, 2005), cuya acción es





degradar sustancias pécticas estructurales celulares de los arilos y de la cáscara del fruto maduro (Menéndez *et al.*, 2006).

Como se observa en la Figura 35y de acuerdo al análisis estadístico, existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los valores de actividad de los frutos de Yucatán y Chiapas. Estas diferencias en el comportamiento de la actividad PME son atribuidas a que se emplearon frutos de diferentes cultivares, ya que se ha informado que en cada cultivar existen diferencias en el tipo y grado de la modificación de los polisacáridos de la pared celular y en la expresión y regulación de las enzimas que modifican la pared celular (Rodríguez *et al.*, 2011).

5.4. Almacenamiento a bajas temperaturas

La temperatura es el factor ambiental más efectivo para controlar la maduración de los productos hortofrutícolas (Corrales-García y Tlapa-Rangel, 1999). La refrigeración es uno de los métodos comúnmente usados para extender la vida útil de frutas frescas y vegetales ya que retarda los procesos metabólicos controlando los cambios postcosecha en la respiración y maduración (Vargas *et al.*, 2005). Sin embargo, para asegurar una conservación exitosa, este factor debe manejarse correctamente, lo cual se logra refrigerando a temperaturas bajas y específicas, pero nunca inferiores a 0°C (Corrales-García y Tlapa-Rangel, 1999).

Laksminarayana (1980) manifestó que extender la vida postcosecha del chicozapote es uno de los problemas más difíciles para el fisiólogo postcosecha, por lo que establecer la temperatura óptima de almacenamiento en refrigeración de chicozapote de diferentes procedencias es de importancia para evitar síntomas de daños por frío y preservar su calidad.

5.4.1. Parámetro fisiológico

5.4.1.1. Intensidad respiratoria

Durante el almacenamiento a 16°C no se ralentizó la maduración, ya que los frutos expuestos a esta temperatura presentaron su máxima producción de CO₂ en el tiempo en el que estos se encontraban en refrigeración, presentando valores de 40.50 mg CO₂/kg h al séptimo día de almacenamiento (Figura 36A) y de 59.57 mg CO₂/kg h





al noveno día (Figura 36B) en frutos de Yucatán y Chiapas, respectivamente. Por otro lado, los frutos almacenados a 12°C alcanzaron su madurez de consumo después de la transferencia a 20°C, en los días 21 y 22, alcanzando valores de 44.14 y 56.42 mg CO₂/kg h en frutos de Yucatán y Chiapas, respectivamente.

Los chicozapotes presentaron su máximo climaterio en diferentes días aún a la misma temperatura, ya que como manifiesta Laksminarayana (1980), no existe un grado de madurez homogéneo entre los frutos de chicozapote, por lo que es común encontrar frutos con diferentes grados de madurez, al igual se sabe que la velocidad de maduración para cada fruta es variable, inclusive en una misma variedad, manifestándose en el chicozapote mucho más que en otros frutos.

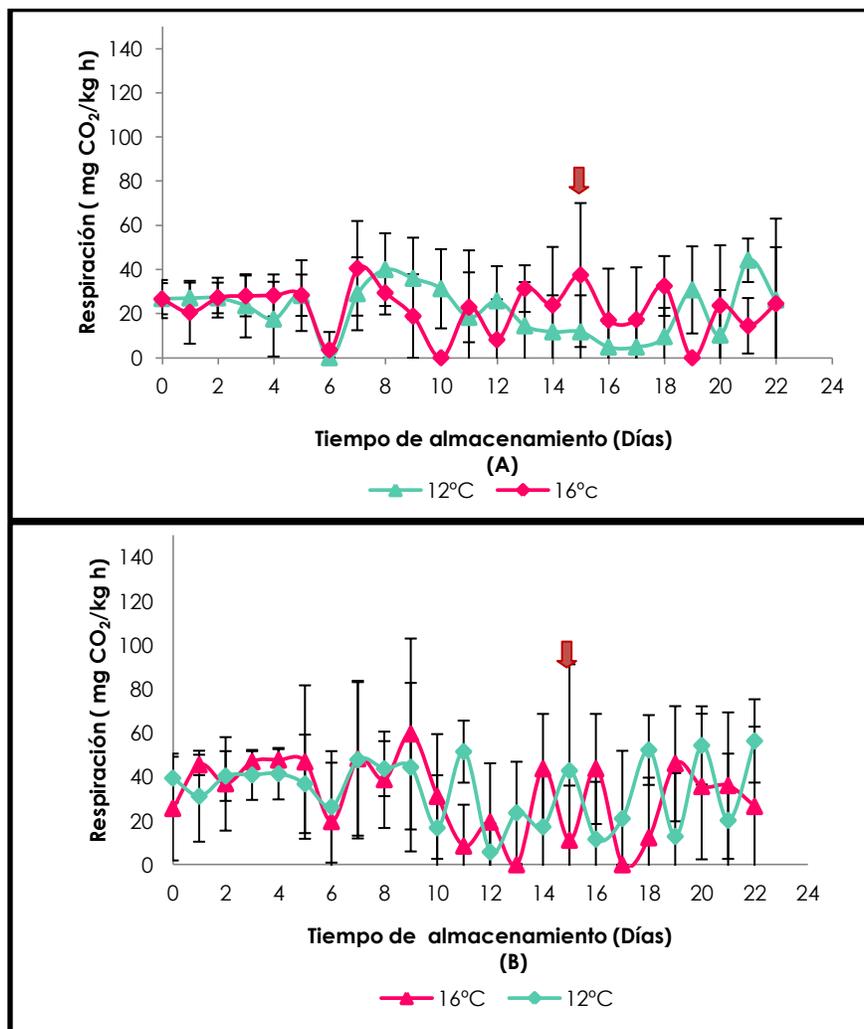


Figura 36. Cambios en la respiración en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C





El fenómeno de respiración está asociado al peso del fruto, ya que, el mayor porcentaje de pérdida de peso se consigue en el punto máximo de climaterio, de igual forma existe pérdida de agua cuando el fruto está en su máximo climaterio debido a cambios estructurales en la pared y membrana celular que sufre la epidermis como reportan Paull y Chen, 1989, citado por Arévalo *et al.* (2005).

El análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por efecto de la temperatura los días 10, 11, 13, 17 y 18; mientras que para la procedencia la diferencia se observa los días 1, 3, 4, 6, 20 y 22. De manera general, este parámetro no se ve afectado por los factores separados ($p \geq 0.05$), sin embargo con su interacción hay diferencia significativa durante todos los días del almacenamiento.

5.4.2. Parámetros de calidad

5.4.2.1. Pérdida de peso

Los frutos de chicozapote presentaron pérdidas fisiológicas de peso en función de la temperatura y el tiempo de exposición. Las pérdidas fisiológicas de peso a temperatura de 16°C fueron mayores en comparación con los frutos almacenados a 12°C, ya que de acuerdo con Arévalo *et al.* (2005), la pérdida de humedad de productos hortofrutícolas a diferentes temperaturas, con la misma humedad relativa, es mayor conforme aumenta la temperatura. Este comportamiento se debe en parte a la transpiración, atribuido a la diferencia de presión de vapor entre el fruto y el medio, provocando la pérdida de agua y por lo tanto disminución de peso según Díaz-Pérez *et al.* (2000). La mayor pérdida de peso se presentó en frutos procedentes de Chiapas con valores de 32.92 y 30.50% a 16 y 12°C, respectivamente (Figura 37 B), mientras que los frutos de Yucatán muestran un porcentaje de pérdida de 24.98 y 23.41% a 16 y 12°C, respectivamente (Figura 37 A).



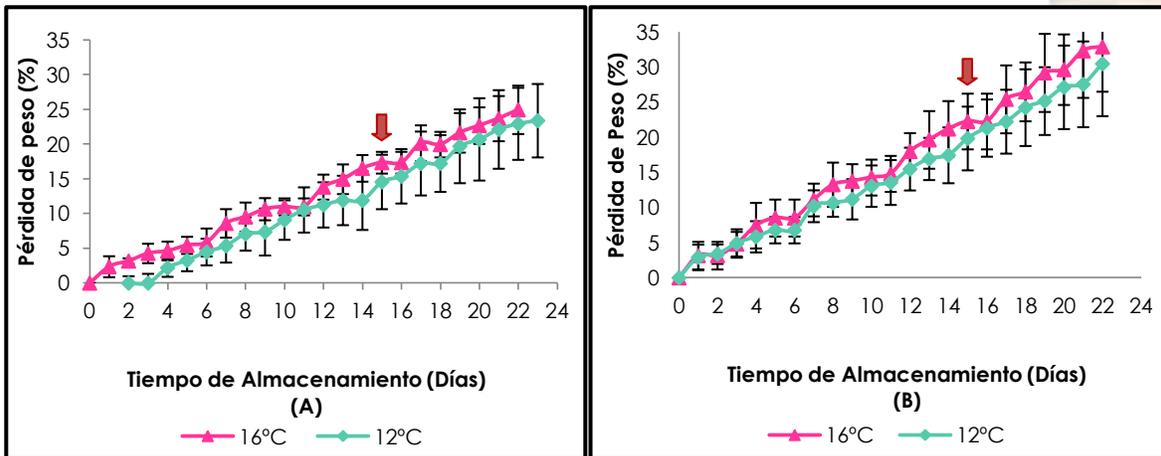


Figura 37. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C

Las pérdidas de peso del chichzapote alcanzaron valores superiores al 10%, lo que indicó que aún manteniendo un almacenamiento de los frutos a baja temperatura, se presentó un porcentaje de pérdida elevado, el cual pudo haber sido influenciado por un mal control de la humedad relativa de la cámara de refrigeración. Arévalo *et al.* (2005) encontraron que la mayor pérdida de peso de chichzapotes almacenados a 12°C fue de 18.5% a los 21 días, mientras que Vargas *et al.* (2005) mencionan que la máxima pérdida de peso para frutos almacenados a 16°C es de 13.9% a los 15 días, lo cual indica que los frutos evaluados de chichzapote se mantuvieron por debajo de lo reportado en otros estudios. Tucker (1993), citado por Alía *et al.* (2002) mencionan que pérdidas de peso entre 5 y 10 % pueden representar un producto comercialmente inaceptable. Las diferencias entre los valores de cada procedencia a las diferentes temperaturas de almacenamiento y lo que reportan Arévalo *et al.* (2005) y Vargas *et al.* (2005) se pueden atribuir a la variedad de chichzapote con la que se trabajó y a la procedencia de los mismos, ya que las características de los frutos en general, varían dependiendo de factores como la zona de cultivo (Arzudia, 2006).

Con lo anterior y de acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) ni por la temperatura de almacenamiento ni por el lugar de procedencia, sin embargo, la interacción de ambos factores tiene efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre este parámetro de calidad.





5.4.2.2. Firmeza

Al término del almacenamiento a 16°C, los chicozapotes perdieron el 73.36 y 50.54% de la firmeza, mientras que en el almacenamiento a 12°C la disminución de este parámetro fue de 73.36 y 31.31%, en frutos provenientes de Yucatán y Chiapas, respectivamente. La firmeza disminuyó de 14 hasta 3.73 kg/cm² en frutos provenientes de Yucatán, tanto a 12 como a 16°C (Figura 38A); en los frutos procedentes de Chiapas la firmeza disminuyó desde 13 hasta 8.93 kg/cm² a 12°C y de 13 hasta 6.43 kg/cm² a 16°C (Figura 38B).

De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre temperaturas, pero si hay significancia ($p \leq 0.05$) respecto a la procedencia, con los frutos de Chiapas, ya que como se observa en la Figura 38(B), a 16°C la pérdida de la firmeza es ligeramente superior que a 12°C, lo que coincide con lo reportado por Arévalo *et al.* (2005), quienes indican que en frutos de chicozapote, la firmeza disminuye en mayor medida cuanto mayor es la temperatura de exposición durante el almacenamiento debido a que se acelera la degradación de la pared celular por incremento en la actividad de algunas enzimas, provocando daños en el tejido. Sin embargo, la interacción de la temperatura y la procedencia de los frutos afectaron de manera significativa ($p \leq 0.05$) este parámetro.

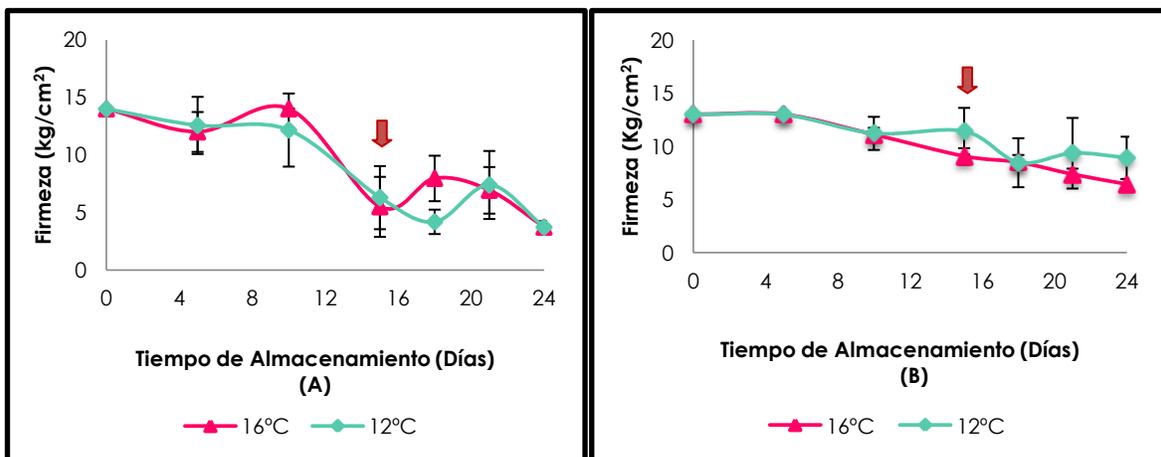


Figura 38. Firmeza en frutos de chicozapote procedentes de los Estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.





Los frutos provenientes del estado de Chiapas mantienen por más tiempo su firmeza, al término del almacenamiento, probablemente porque los fenómenos degradativos de la pared celular en frutos de este origen son más lentos.

El análisis estadístico indicó que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la temperatura, pero si por efecto de la procedencia y la interacción de ambos factores ($p \leq 0.05$).

5.4.2.3. Sólidos solubles

Como comportamiento normal en la maduración del chicozapote, existe un aumento en los azúcares debido a la hidrólisis de almidón (Alía *et al.*, 2002) como se observa en la Figura 39, durante los primeros cinco días de almacenamiento a 12 y 16°C. Sin embargo, conforme transcurren los días, el contenido de sólidos solubles totales disminuyó de 24.6 a 11°Bx y de 23.8 a 8.9°Bx en los frutos almacenados a 16°C, mientras que en los chicozapotes almacenados a 12°C los °Bx disminuyeron de 23.13 a 13.4 °Bx y de 20.3 a 10.7 °Bx, en frutos de Yucatán (Figura 39A) y Chiapas (Figura 39B), respectivamente. Caso similar mostraron Vargas *et al.* (2005), quienes reportaron una disminución en el contenido de sólidos solubles totales de 23 a 17°Bx.

La disminución de los sólidos solubles totales puede estar relacionada con el contenido de látex presente en el fruto y a la forma de toma de muestra. Siendo el látex una emulsión de diversas sustancias (ceras, resinas, proteínas, aceites, ácidos orgánicos, alcaloides, esteroides, grasas, taninos, mucílagos, sales, gránulos de almidón, azúcares y enzimas) con diferentes índices de refracción, éstas pueden causar interferencia en las mediciones refractométricas (Arévalo *et al.*, 2005).

Como se observa en la Figura 39, la temperatura de almacenamiento refrigerado influye en el contenido de sólidos solubles totales, ya que mientras más baja es la temperatura, mayor es el contenido de sólidos solubles al término del almacenamiento, coincidiendo con lo reportado por Vargas *et al.* (2005).



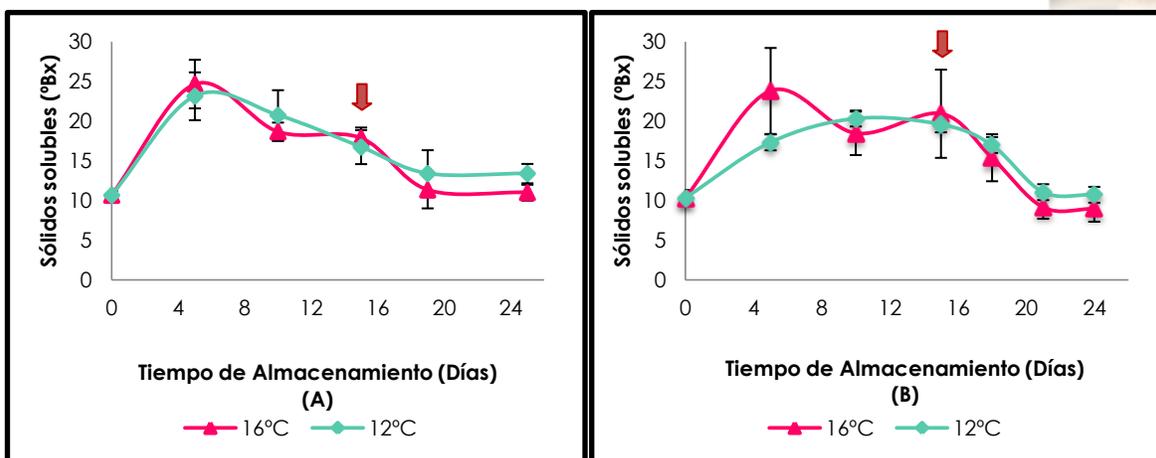


Figura 39. Contenido de sólidos solubles en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la procedencia ni por la temperatura, sin embargo, la interacción de ambos factores tiene un efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre el contenido de sólidos solubles.

5.4.2.4. pH

En la Figura 37 se muestran los cambios en el pH de frutos almacenados a temperaturas de refrigeración. El pH obtenido al final del almacenamiento tanto a 12 como a 16°C en ambas procedencias fue muy similar, obteniendo valores de 6.41 a 12°C y 6.55 a 16°C para chicozapotes originarios de Yucatán, mientras que para los del estado de Chiapas tanto a 12 como a 16°C el valor de este parámetro fue de 6.54, indicando estadísticamente que ni la temperatura de almacenamiento ni la procedencia influyeron de manera significativa ($p \geq 0.05$) durante el proceso de maduración. En los frutos de ambas procedencias, se observó el mismo comportamiento, una disminución hasta el décimo día, un aumento hasta el día de la transferencia (día quince), manteniéndose constante hasta el último día de almacenamiento. Como se observa en la Figura 40A y B, a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento, mayor fue el pH, lo que concuerda con lo reportado por Florio *et al.* (2011) citado por Aular (2011).



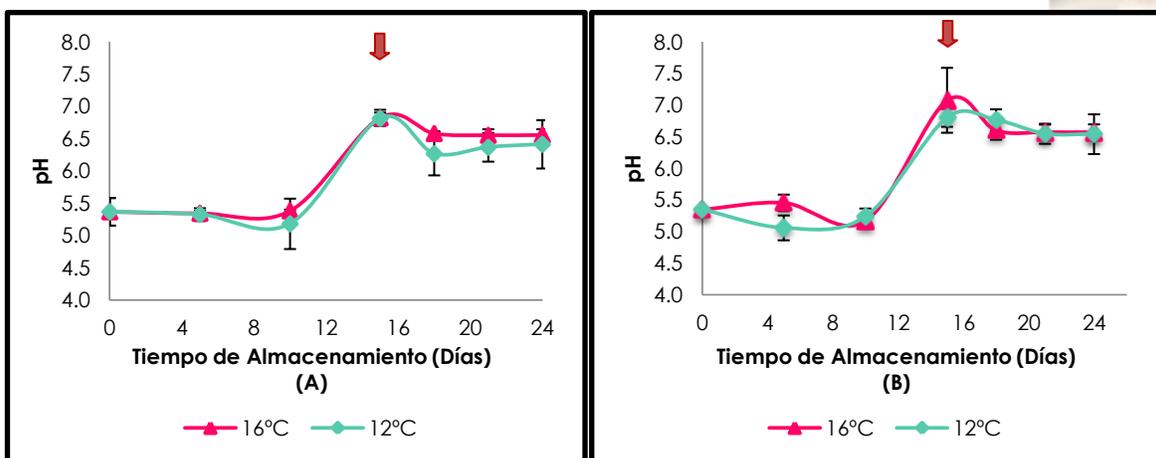


Figura 40. Cambios en el pH en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) a temperaturas de almacenamiento de 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Los valores obtenidos en este estudio concuerdan con valores reportados por Vargas *et al.* (2005), en donde mencionan que el pH de frutos almacenados a 16°C es similar que el de frutos almacenados a 20°C, con valores de 5.13 a 4.64.

La disminución del pH durante los primeros 10 días de almacenamiento podría ser explicado por el efecto de la baja temperatura, la cual retardó las reacciones metabólicas del fruto. Los incrementos en los valores de pH pueden deberse a que existen cambios químicos en los carbohidratos debido al daño por frío, rompiendo los carbohidratos en monosacáridos, aumentando los valores de pH acercándolos a valores básicos (Aldana *et al.*, 2002).

Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por la temperatura de almacenamiento, el lugar de procedencia de los frutos y la interacción de ambos factores en este parámetro.

5.4.2.5. Acidez titulable

En este estudio los ácidos orgánicos del chicozapote disminuyeron conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, a pesar de tener algunas variaciones en su comportamiento (Figura 41).

Tucker (1993), citado por Alía *et al.* (2002) menciona que la reducción en el contenido de ácidos orgánicos se debe principalmente a que éstos son utilizados en la





respiración, mientras que los incrementos que se observan pueden deberse a la pérdida de agua, ocasionando un incremento en la concentración de ácidos orgánicos (Vargas *et al.*, 2005).

A la temperatura de 16°C se encontraron los máximos valores de acidez con 0.15 y 0.13% de ácido cítrico en frutos de Chiapas y Yucatán respectivamente, al quinto día de almacenamiento. El día de la transferencia a 20°C se encontró una importante disminución en la concentración de ácidos orgánicos, ya que esta reducción del día diez al día quince va de 0.108 a 0.033% y de 0.083 a 0.025% a 16 y 12°C respectivamente, en frutos de Yucatán (Figura 41A); en los frutos de Chiapas almacenados a 16°C va de 0.075 a 0.045%, mientras que en los almacenados a 12°C la reducción es de 0.075 a 0.029% (Figura 41B). Tanto a 12 como a 16°C no se retardó el proceso de maduración de los frutos, ya que el mismo comportamiento se observó en los frutos almacenados a temperatura ambiente (20°C).

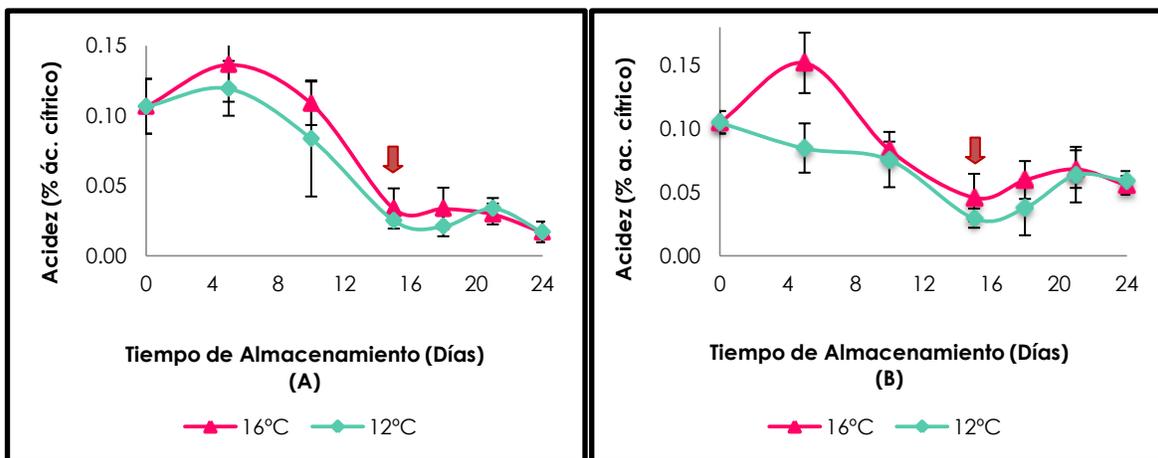


Figura 41. Contenido de acidez titulable en frutos procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B), almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

El análisis multivariado y las pruebas de rango múltiple determinaron que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) ni por el lugar de procedencia ni por la temperatura de exposición, puesto que para frutos de Yucatán, a ambas temperaturas de refrigeración (12 y 16°C), el porcentaje de acidez fue de 0.017% al término del almacenamiento, mientras que para los frutos de Chiapas, en ambas temperaturas, los valores fueron muy similares entre sí, de aproximadamente 0.055% a 16°C y de 0.058% a 12°C. Sin embargo, existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la interacción de la temperatura de almacenamiento y el lugar de origen de los frutos, ya que





como se observó, la diferencia en la acidez al final del almacenamiento para ambas procedencias es considerable, siendo mucho menor en frutos de Yucatán.

Por lo tanto, estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por la temperatura de almacenamiento y el lugar de procedencia de los frutos; existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la interacción de ambos factores.

5.4.2.6. Color

Durante el tiempo en que los chicozapotes permanecieron en refrigeración, los valores de luminosidad disminuyeron gradualmente de 65.13 a 45.79 a 16°C y de 65.13 a 45.0 a 12°C en frutos de Yucatán; en frutos de Chiapas los valores de L disminuyen de 62.83 a 48.55 a 12°C y de 62.83 a 48.19 a 16°C (Figura 42A y B). A partir de la transferencia a 20°C, los valores permanecieron constantes en frutos de Chiapas almacenados a 16°C con un valor final de 48.25, mientras que en los frutos almacenados a 12°C el valor final fue de 49.98. En frutos procedentes de Yucatán, el valor de L al final del almacenamiento fue de 43.84, para ambas temperaturas de refrigeración (12° y 16°C). Los valores de L obtenidos son similares a los reportados por Vargas *et al.* (2005), quienes reportan una disminución que va de 68.8 al comienzo del almacenamiento a 49 tras quince días de exposición a 16°C.

Si consideramos que la luminosidad indica el grado o nivel de blancura, variando de L0= negro, L50= gris y L100= blanco (Briggs, 2011), conforme transcurre el proceso de maduración, los chicozapotes van sufriendo de un oscurecimiento de la pulpa.

En comparación con los frutos expuestos a 20°C, los valores finales de L alcanzados al término del almacenamiento a temperaturas de refrigeración (12 y 16°C) son muy similares, por lo que no existe mucha diferencia entre la maduración a temperatura ambiente (20°C) y refrigerar a 12 y 16°C. Estadísticamente, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) ni por la temperatura de almacenamiento ni por el lugar de procedencia de los chicozapotes.



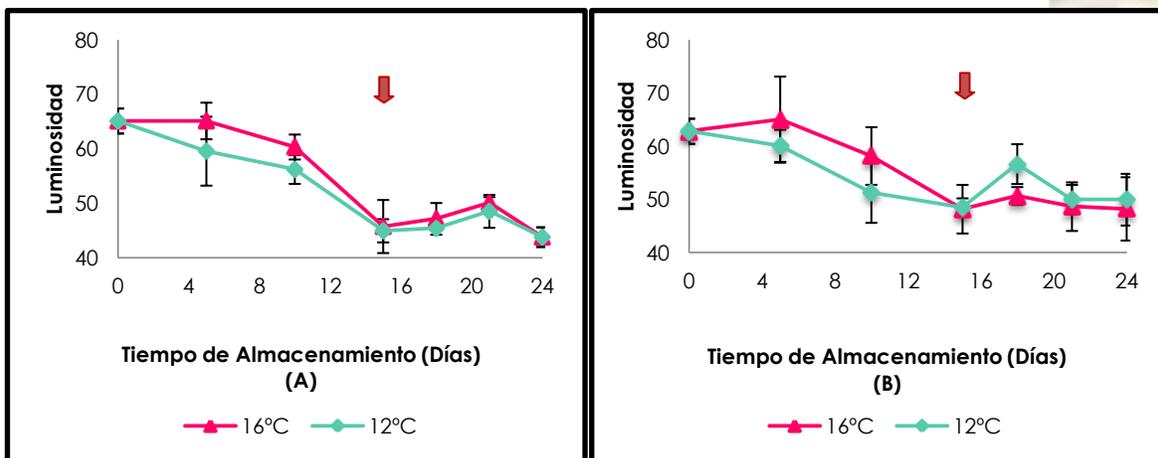


Figura 42. Luminosidad en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Como se observa en la Figura 43A y B, en las diferentes temperaturas de almacenamiento, a medida que los frutos van madurando, los valores del °Hue tienden a disminuir. Al término del almacenamiento a 12°C, los frutos alcanzaron valores de °Hue de 59.72 y 60.72, en frutos de Chiapas y Yucatán, respectivamente. El °Hue alcanzado al día veinticuatro en chichzapotes almacenados a 16°C fue de 60.72 en frutos de Chiapas y de 59.72 en frutos de Yucatán. El análisis estadístico indicó que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) ni por la temperatura de almacenamiento ni por el lugar de procedencia de los frutos, tal como lo muestran los valores antes mencionados, ya que son muy cercanos entre sí. Además, como se observa en el Cuadro 17, el °Hue en la pulpa de los frutos de chichzapote almacenados a 12 y 16°C, el primer día, los frutos mostraron una coloración amarillo-naranja, acercándose a tonos naranja-rojizo a medida que avanzaba el proceso de maduración, como ocurre con los chichzapotes almacenados a 20°C (Cuadro 15). En los frutos procedentes del estado de Chiapas, almacenados a 12°C, se nota un ligero oscurecimiento de la pulpa en comparación con los frutos almacenados a 16°C y con los procedentes del Estado de Yucatán. Con respecto al color de la pulpa, no existió diferencia entre la maduración a temperatura ambiente (20°C) y refrigerar a 12 y 16°C.



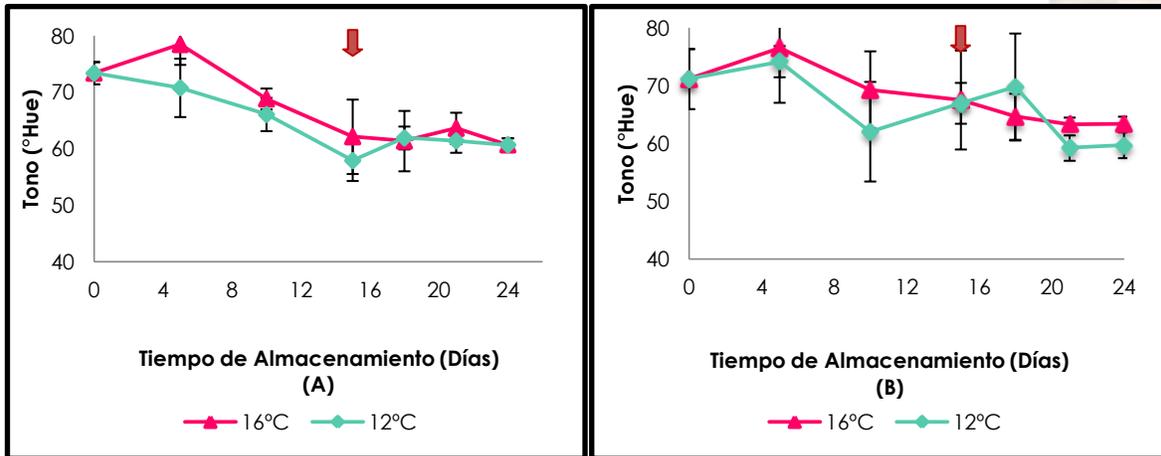


Figura 43. Tono en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

A medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, el valor del croma tiende a disminuir, como se muestra en la Figura 44.

En la Figura 44A se observa que tanto a 12 como a 16°C, el valor final de la cromaticidad fue de 30.28. La interacción de la temperatura y la procedencia de los frutos afectan de manera significativa ($p \leq 0.05$) este parámetro. Los valores al término del almacenamiento concuerdan con los reportados con Alía *et al.*, (2002), quienes muestran valores de croma entre 25 y 35.

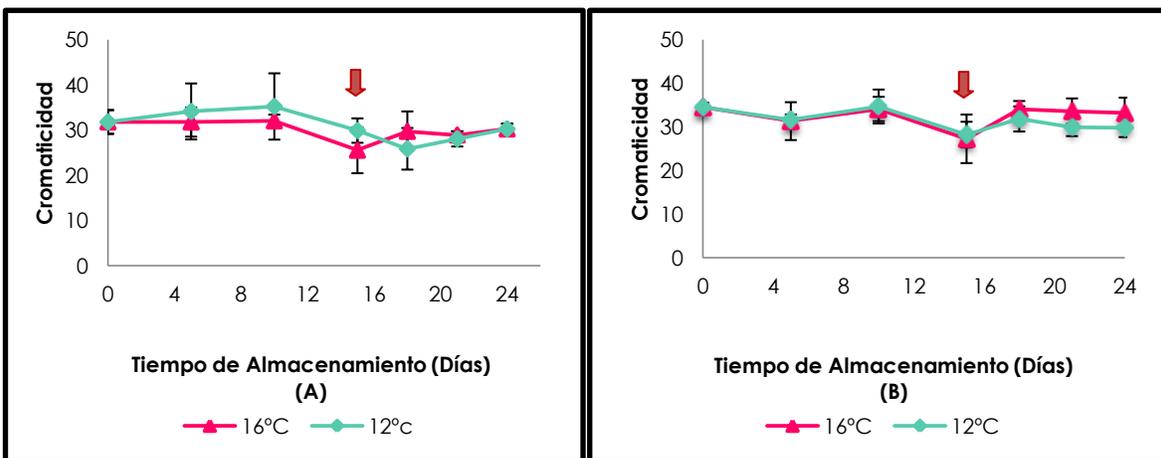


Figura 44. Cromaticidad en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre temperaturas, pero si hay significancia ($p \leq 0.05$) respecto a la procedencia, con los





frutos de Chiapas, ya que como se observa en la Figura 44B, a 16°C el valor de la cromaticidad fue de 33.27, ligeramente superior que a 12°C (croma de 29.85), indicando que el color fue más opaco a menores temperaturas, por el oscurecimiento de la pulpa (Alía *et al*, 2002).

A continuación se muestra un cuadro en donde se observa el cambio en el color en frutos de chicozapote almacenados a bajas temperaturas.

Cuadro 17. Color de chicozapotes de diferentes procedencias almacenados a 12 y 16°C.

FRUTOS DE YUCATÁN			
Temperatura	Inicio del tratamiento	Día de la transferencia	Final del tratamiento
16°C			
12°C			
FRUTOS DE CHIAPAS			
16°C			
12°C			





5.4.3. Parámetro nutrimental

5.4.3.1. Vitamina C

A medida que el fruto va madurando, se va perdiendo la vitamina C (Assis *et al.*, 2001), por lo que su contenido en chicozapote disminuyó considerablemente después de 24 días de almacenamiento en refrigeración (12 y 16°C). Al término del almacenamiento refrigerado, el contenido de vitamina C de los frutos procedentes del estado de Chiapas fue ligeramente superior que en los chicozapotes originarios del estado de Yucatán, tal como se observa en la Figura 45. Para los frutos provenientes de Chiapas, el contenido de vitamina C a 12 y 16°C fue de 2.88 y de 2.72 mg ác. ascórbico/100g de muestra, respectivamente, mientras que para los frutos del estado de Yucatán el contenido de vitamina C fue de 1.60 y 1.28 mg ác. ascórbico/100g de muestra a 12 y 16°C, respectivamente. Estos datos concuerdan con lo que señalan Assis *et al.* (2001), quienes explican que a mayores temperaturas de exposición, la vitamina C se pierde con mayor rapidez.

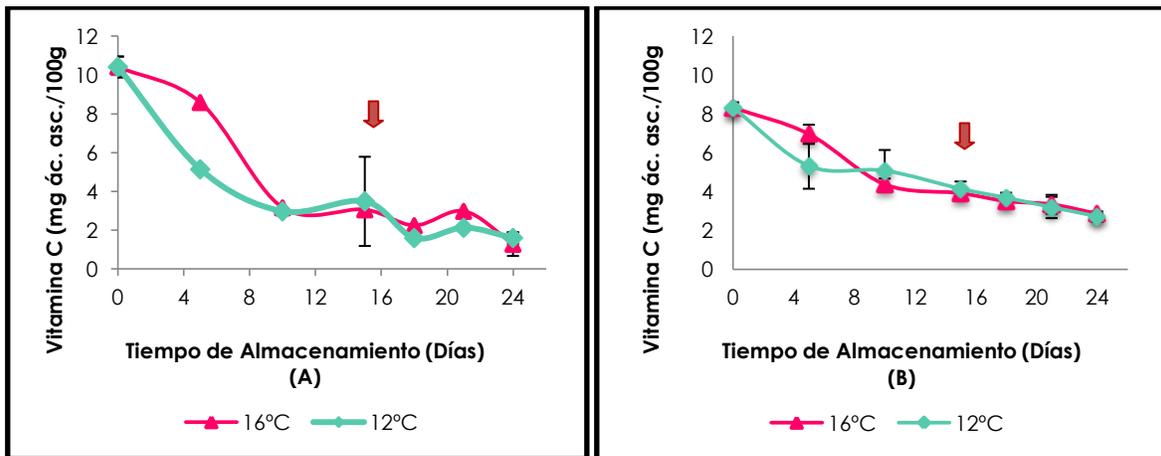


Figura 45. Contenido de vitamina C en frutos de chicozapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12° y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

A pesar de que la conservación en una cámara frigorífica produce incrementos en los niveles de ácido ascórbico (Lee y Kader, 2000), en frutos de chicozapote se observó una notable disminución en su contenido (Figura 45) debido al CO₂ presente por la respiración del fruto, a daños físicos que pudieron producirse por la manipulación, al tiempo en que los frutos permanecieron en refrigeración, a la acción





de enzimas como la *ascorbato-oxidasa*, a la pérdida de agua debida al corte para realizar el muestreo, o como mencionan Miller y Heilman (1952), debido a daños por frío, provocando la destrucción de la vitamina, incluso antes de que los síntomas del daño se hicieran visibles.

El análisis multivariante y las pruebas de rango múltiple determinaron que no hay diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por la temperatura de almacenamiento, puesto que tanto a 12 como a 16°C, los valores finales de vitamina C son muy cercanos entre sí para cada una de las procedencias. Sin embargo, existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la interacción de la temperatura de almacenamiento y el lugar de origen de los frutos, ya que como se observa, la diferencia en el contenido de vitamina C al final del almacenamiento para ambas procedencias es considerable, siendo ligeramente menor en frutos de Yucatán.

5.4.4. Parámetro bioquímico

5.4.4.1. Actividad pectinmetilesterasa

En frutos de chicozapote, se observó la máxima actividad en el día de la transferencia (día 15), sin embargo, en los días posteriores, la actividad de la pectinmetilesterasa disminuyó gradualmente hasta el término del almacenamiento.

En chicozapotes procedentes del estado de Yucatán, la actividad PME durante los 10 primeros días de almacenamiento se mantuvo casi constante a las temperaturas de 12 y 16°C, con valores de 0.0146 y 0.0026 $\Delta\text{abs}/\text{mg}$ de proteína, respectivamente. La actividad PME al comienzo del almacenamiento fue de 0.0086 y 0.03 $\Delta\text{abs}/\text{mg}$ de proteína, dicha actividad fue aumentando de manera gradual hasta alcanzar valores máximos de 0.38 y 0.081 $\Delta\text{abs}/\text{mg}$ de proteína a 16 y 12°C para frutos del estado de Yucatán, respectivamente, mientras que para frutos de Chiapas, los valores máximos son de 0.065 y 0.079 $\Delta\text{abs}/\text{mg}$ de proteína a 16 y 12°C, respectivamente, presentándose el día en que se realizó la transferencia a 20°C. Este aumento considerable en la actividad enzimática el día de la transferencia fue causado probablemente por un estrés ocasionado por el cambio de temperatura.

No existe correlación entre la actividad de la pectinmetilesterasa y la disminución de la firmeza (Figura 38), por lo que PME no es responsable de la pérdida de la textura de





los frutos, pudiendo deberse a otros factores como la acción de la PG (Arévalo *et al.*, 2005), tal como ocurre con los frutos expuestos a 20°C. Atribuyendo la pérdida de la firmeza a la PG, en los casos donde la firmeza aumenta en algunos puntos del muestreo, puede deberse a las bajas temperaturas, ya que éstas reducen la actividad de la PG lo cual causa una acumulación de pectinas demetiladas de alto peso molecular que retienen al agua, incrementando ligeramente la textura (Candan, 2011).

Tanto PME como PG en medios acuosos se hidratan y encuentran las condiciones óptimas que les permiten presentar su máxima actividad enzimática, además, puede que en determinadas condiciones, las enzimas expongan mejor su sitio activo, reaccionando más eficientemente con el sustrato y así muestren mayor actividad. Sin embargo, el almacenamiento prolongado puede provocar que la enzima se solubilice y por lo tanto exista una disminución de la actividad enzimática (Rodríguez *et al.*, 2011), como se observa en la Figura 46A después de la transferencia a 20°C y en la Figura 46B los días 10 y 18.

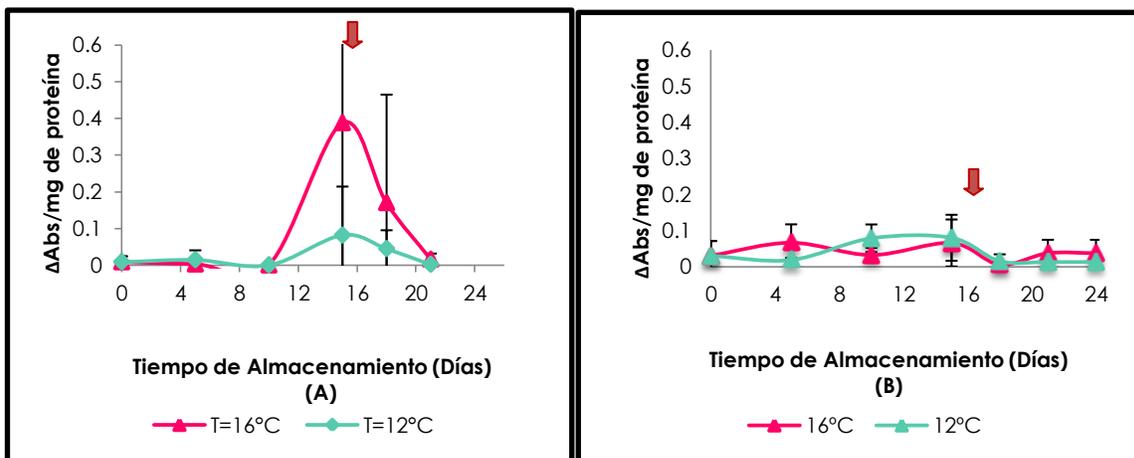


Figura 46. Actividad Específica en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Al igual que como ocurre en el almacenamiento a 20°C, existe una notable diferencia entre los valores de actividad de los frutos de Yucatán y Chiapas. Estas diferencias son atribuidas a que se emplearon frutos de diferentes cultivares, ya que se ha informado que en cada cultivar existen diferencias en el tipo y grado de la modificación de los polisacáridos de la pared celular y en la expresión y regulación de las enzimas que modifican la pared celular (Rodríguez *et al.*, 2011).





De acuerdo al análisis estadístico no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) por efecto de la temperatura de almacenamiento, sin embargo, existe un efecto significativo ($p \leq 0.05$) por efecto de la procedencia y la interacción de ambos factores, ya que los valores de la actividad entre ambas procedencias, son considerablemente diferentes.

5.4.5. Daños por frío

Vargas *et al.* (2005), mencionan que uno de los problemas con la conservación a bajas temperaturas es la aparición de daños por frío. Los daños por frío constituyen una serie de alteraciones fisiológicas que pueden ocurrir en cualquier punto de la cadena poscosecha en la que los productos hortofrutícolas se expongan a temperaturas de refrigeración, y por lo general estos se desarrollan más rápidamente si el fruto es transferido a temperaturas superiores a la de enfriamiento, como menciona Lyons (1990).

Arévalo *et al.* (2005), indican que los daños por frío afectan principalmente a los frutos de origen tropical y subtropical, como el chicozapote, restringiendo el uso de bajas temperaturas por causar desórdenes en el metabolismo, lo que ocasiona deterioro y pérdida de la calidad.

Como se observa en la Figura 47A y B, el chicozapote debido a su origen tropical presenta problemas de “daño por frío”, siendo más susceptible a 12°C , presentando porcentajes de daño al último día de almacenamiento de 1.8 tanto en frutos de Yucatán como en los de Chiapas. Burdon (1997), ha documentado que el almacenamiento entre 0 y 14°C puede causar daños por frío en frutos tropicales, un aumento o una reducción en la producción de etileno en diversos frutos procede a síntomas visuales de daños por frío (Alía *et al.*, 2002). La temperatura crítica de almacenamiento del chicozapote es 15°C (Kader, 2005), y a pesar de ello, también se presentaron daños en los frutos almacenados a 16°C , con un nivel de daño de 1.75 y 1.8 en frutos de Yucatán y Chiapas, respectivamente.

A pesar de que en los frutos del estado de Yucatán (Figura 47A) se presentan más rápido los daños por frío (al quinto día de almacenamiento), en los frutos de Chiapas (Figura 47B) se incrementó el nivel de daño hasta un 2.16 al sexto día después de la





transferencia a 20°C, haciendo más susceptibles a los frutos de este origen al daño causado por la refrigeración.

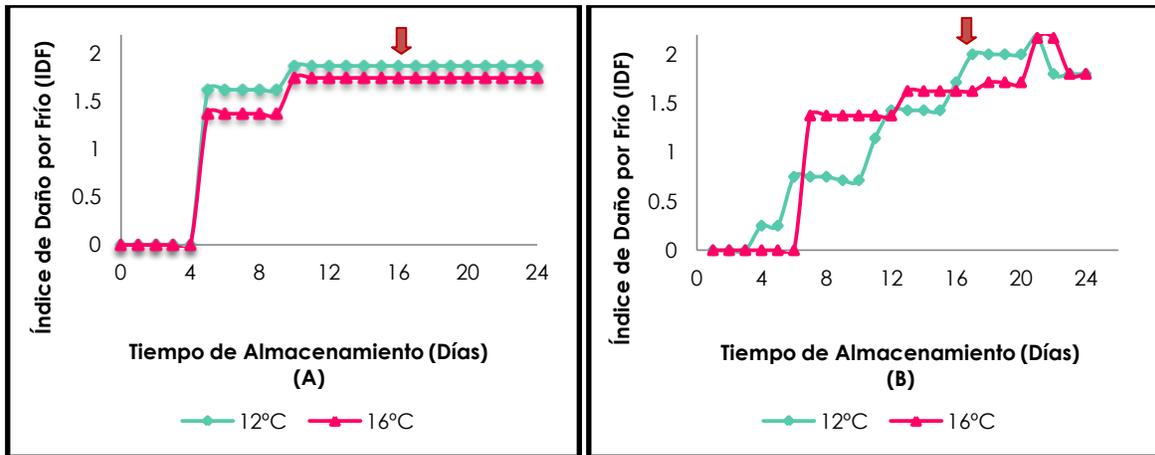


Figura 47. Daños por frío en frutos de chichzapote procedentes de los estados de Yucatán (A) y Chiapas (B) almacenados a 12 y 16°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Wang (1989) menciona que dentro de los factores que influyen en las respuestas al daño por frío están: La composición de ácidos grasos de los lípidos de la membrana celular; niveles de azúcares, prolina, etapa de maduración y temperaturas de campo.

Como resultado del estrés causado por la exposición al frío, los frutos procedentes del estado de Yucatán almacenados a 12°C (Cuadro 19) y 16°C (Cuadro 18) presentaron desórdenes fisiológicos que se muestran a continuación, entre los cuales destacan principalmente quemaduras, hundimiento en la epidermis, picado, exudación de líquido y manchas en la piel.

Cuadro 18. Daños por frío en frutos procedentes del estado de Yucatán almacenados a 16°C durante 15 días.





Cuadro 19. Síntomas de daños por frío en frutos procedentes de estado de Yucatán almacenados a 12°C durante 15 días.

Daños por frío en chicozapotes procedentes de Yucatán almacenados a 12°C			
 <p>Sin daño</p>	 <p>Quemado</p>	 <p>Hundimiento en la epidermis</p>	 <p>Picado</p>
 <p>Manchas en la piel</p>	 <p>Exudación de líquido</p>	 <p>Manchado interno</p>	 <p>Picado interno</p>

En el Cuadro 20 se observan los daños más notorios en frutos provenientes de Chiapas almacenados a 12°C, los daños fueron más evidentes en la pulpa del fruto, siendo algunos manchado y hundimiento en la epidermis, así mismo, debido a la alta humedad relativa del medio donde se almacenaron los frutos, se presentó aparición de hongos en varios chicozapotes. Sin embargo, uno de los daños que más notorios fue la incapacidad para madurar, siendo éste un síntoma visible de la respuesta del estrés ocasionada por el frío, y está asociado con alteraciones en la actividad enzimática en la degradación de la pared celular (Arévalo *et al.*, 2005), mostrando arrugamiento en la piel posiblemente por ser un fruto inmaduro al momento de la cosecha (Vargas *et al.*, 2005).

Mientras tanto en frutos procedentes de Chiapas y almacenados a 16°C, se observaron daños similares a los de 12°C, sin embargo a esta temperatura el efecto del almacenamiento es menor, siendo el daño que más se presentó el hundimiento en la epidermis (Cuadro 21).





Cuadro 20. Síntomas de daños por frío de frutos procedentes del estado de Chiapas almacenados a 12°C durante 15 días.

Daños por frío en chicozapotes procedentes de Chiapas almacenados a 12°C			
 <p>Sin daño</p>	 <p>Quemado</p>	 <p>Hundimiento en la epidermis</p>	 <p>Picado</p>
 <p>Manchas en la piel</p>	 <p>Exudación de líquido</p>	 <p>Incapacidad para madurar/Maduración heterogénea</p>	 <p>Manchado interno</p>
 <p>Picado interno</p>	 <p>Ataque por hongos</p>	 <p>Lignificación de haces vasculares</p>	





Cuadro 21. Síntomas de daños por frío en frutos de chicozapotes procedentes del estado de Chiapas almacenados a 16°C durante 15 días.

Daños por frío en chicozapotes procedentes de Chiapas almacenados a 16°C		
 <p>Quemado</p>	 <p>Picado</p>	 <p>Manchas en la piel</p>
 <p>Exudación de líquido</p>	 <p>Hundimiento en la epidermis</p>	 <p>Incapacidad para madurar/Maduración heterogénea</p>

Lyons (1990) observó que el chicozapote presenta una maduración heterogénea cuando se almacena a temperaturas entre 0 y 15°C, tal como ocurre con los frutos originarios del estado de Chiapas expuestos a 12°C, sin embargo, el chicozapote de esta procedencia fue un fruto extremadamente sensible a las bajas temperaturas, ya que también se presentó este fenómeno en los chicozapotes almacenados a 16°C. La maduración heterogénea es un fenómeno que involucra disfunciones metabólicas que afectan la calidad de los frutos (Alía *et al.*, 2002).

El análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) por la temperatura de almacenamiento, la procedencia de los frutos y por la interacción de ambos factores, con excepción de los primeros días de almacenamiento, en donde la mayoría de los frutos de cada lote se encontraban en el nivel 0 (sin daño). El daño causado por el frío es más notorio a 12°C y en los frutos del estado de Chiapas, mostrando que éstos son más susceptibles a la refrigeración.

Es recomendable almacenar los frutos de chicozapote a 16°C para alargar su vida útil, ya que si permanecen a 20°C ésta es más corta (aproximadamente 9 días). El almacenamiento a 16°C permite alargar la vida útil y no frena el proceso de





maduración normal del fruto, además el daño por frío no es tan evidente como ocurre con los frutos almacenados a 12°C. Los frutos provenientes del estado de Yucatán presentaron mejores características de calidad que los chicozapotes del estado de Chiapas, los cuales sufren con mayor severidad el daño causado por el frío.

5.5. Tratamiento de irradiación gamma (γ)

La aplicación de la irradiación como tratamiento fitosanitario es una alternativa que ofrece ventajas sobre los métodos tradicionales ya que elimina o reduce la carga bacteriológica: parásitos, insectos y sus larvas; se logran alimentos más seguros y se incrementa su vida de anaquel. Esta tecnología tiene impacto en la disminución de las pérdidas postcosecha y ofrece oportunidades al productor en el intercambio comercial de exportación al facilitarle el acceso a mercados de mayor poder económico (Rangel y Alcérreca, 2008).

Es importante seleccionar la dosis que cause menor daño en las características físicas y organolépticas del fruto, por lo que se aplicaron diferentes dosis de irradiación (150, 400 y 1000 Gy) para evaluar su efecto sobre los parámetros de calidad, fisiológicos, nutrimentales, bioquímicos, sensoriales y vida útil de chicozapote para su aplicación comercial.

5.5.1. Parámetro fisiológico

5.5.1.1. Intensidad respiratoria

En la Figura 48 se observan los cambios en la respiración de los frutos que fueron sometidos a tratamientos por irradiación gamma a diferentes dosis. Los frutos tratados a 1000 Gy presentaron su máxima producción de CO₂ al décimo día de almacenamiento a 16°C con un valor de 51.75 mg CO₂/Kg h, siendo esta la intensidad respiratoria más alta obtenida, en cuanto los frutos sometidos a 150 y 400 Gy obtuvieron su máxima producción de CO₂ el día 14 (día de la transferencia a 20°C) con valores de 39.34 y 43.16 mg CO₂/Kg h respectivamente, lo que coincide con Maxie *et al.* (1964) donde frutos irradiados a 500 Gy hasta 100 kGy mostraron un inmediato incremento en la tasa respiratoria el primer día seguido del tratamiento. Los





frutos sin irradiar mostraron una intensidad de respiración de 44.78 mg CO₂/Kg h, por lo que la dosis más cercana a esta tasa de respiración es la de 400 Gy.

En la Figura 48 se observa que el máximo climaterio se presentó más pronto en los frutos expuestos a 1000 Gy, debido a un estrés ocasionado por el tratamiento. No existen trabajos relacionados con irradiación de chichasapotes por lo cual, es importante realizar una comparación con frutos tropicales, ya que pueden llegar a tener un comportamiento similar, tal es el caso de un estudio realizado en guayabas, en donde se encontró que a mayores dosis de irradiación, se reduce el proceso de respiración, por lo que se retrasa su maduración (Singh y Pal, 2009), contrastando con los resultados obtenidos en chichasapote. Por otro lado los valores reportados en el presente trabajo concuerdan con un estudio realizado en duraznos que dice que la relación entre la dosis de radiación y la producción de CO₂ es directamente proporcional (Dhaliwal y Salunkhe 1962).

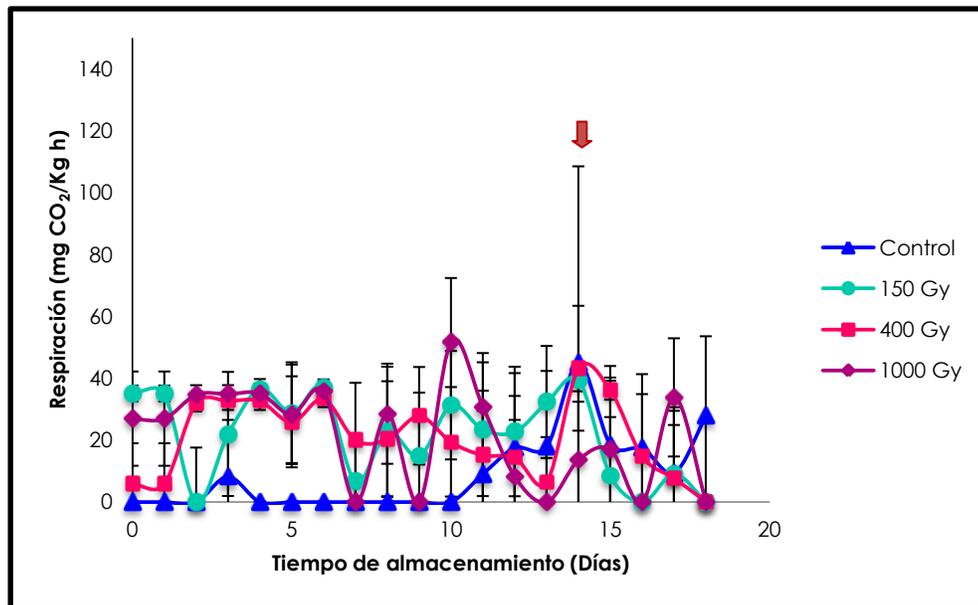


Figura 48. Cambios en la respiración en frutos de chichasapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

El estado de madurez en el que se sometieron los frutos de chichasapote a irradiación, pudo haber influido en la mayor producción de CO₂, ya que al ser un fruto sensible se ve alterado su proceso de maduración. En este estudio, se irradiaron frutos de chichasapote con 3 días de haber sido cosechados, por lo que el tratamiento de





irradiación gamma afecta de manera significativa ($p \leq 0.05$) el desarrollo de maduración de los frutos. Un estudio realizado en tomates sometió los frutos en diferentes etapas de climaterio, mostrando diferencias evidentes en las tasas de respiración entre los frutos irradiados en estado climatérico y los frutos que se dejan madurar después de ser aplicada la irradiación, siendo los más afectados estos últimos, debido a que su desarrollo se altera desde temprana edad (Lee *et al.*, 1967), esto puede explicar el por qué los chicozapotes irradiados a 1000 Gy se vieron mayormente afectados, una razón es porque la dosis es alta para este tipo de fruto y por el estado climatérico que tenían los frutos al ser sometidos a irradiación.

5.5.2. Parámetros de calidad

5.5.2.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso de frutos de chicozapote sin irradiar alcanzó un porcentaje de 13.3% al día 14, en el cual se transfirieron los frutos de una temperatura de 16 a una de 20°C. Durante el tiempo de almacenamiento, se presentó un cambio significativo ($p \leq 0.05$) de los frutos sin irradiar (control) con respecto a los frutos irradiados.

De acuerdo a una prueba de comparación de medias no existe tal significancia entre la dosis de 400 Gy y el control. Sin embargo, se observa en la Figura 49, que a partir del día 9 hasta el término del almacenamiento a 20 °C existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el control y la dosis de 400 Gy. Los frutos de chicozapote sin irradiar (control) almacenados a 16°C alcanzaron un porcentaje máximo de pérdida de 19.8%, mientras que los frutos sometidos a dosis de 400Gy alcanzaron un valor de 10.49% el día de la transferencia a 20°C, lo que indica que el efecto de la irradiación gamma sobre este parámetro contribuye a disminuir de manera significativa la pérdida de peso, obteniendo valores relativamente menores una vez irradiados los frutos en comparación con los frutos no irradiados (control). Los resultados concuerdan con experimentos realizados por Saucedo y Lakshminarayana (1997), quienes reportan que la pérdida de peso disminuye conforme baja la temperatura de almacenamiento, sin embargo, el porcentaje aumenta una vez transferidos a temperatura de 20°C.



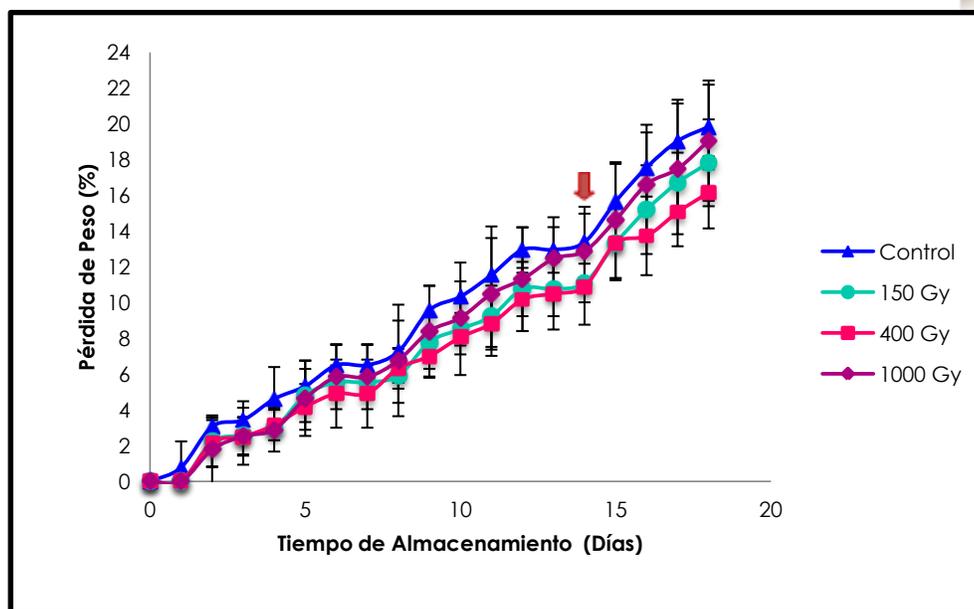


Figura 49. Porcentaje de pérdida de peso en frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

En frutos irradiados a 400 Gy se encontró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los frutos no irradiados (control), demostrando de que este tratamiento a esta dosis ayuda a prevenir la pérdida de peso, sin embargo a dosis más altas como de 1000 Gy la pérdida de peso alcanzó un valor de 19.06%, siendo esta pérdida similar a la del control y no teniendo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) a través del tiempo de almacenamiento. Mientras que a dosis de 150 Gy los valores de pérdida llegaron a 17.82%, existiendo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control, pero manteniendo un intervalo similar para frutos irradiados a 1000 Gy.

5.5.2.2. Firmeza y actividad enzimática (PME)

Entre los parámetros de calidad evaluados a los frutos sometidos a irradiación, la firmeza (Figura 50A) fue uno de los más afectados. Una pérdida significativa de firmeza ($p \leq 0.05$) a dosis de 1000 Gy se observó, ya que ésta disminuyó considerablemente en los primeros 5 días de almacenamiento a 16°C, obteniendo un valor de 4.8 kg/cm², mientras que los frutos sin irradiar presentaron en promedio una firmeza de 5.9 kg/cm², bajo las mismas condiciones de almacenamiento. En los frutos expuestos a 150Gy se observó un ligero decaimiento a partir del décimo día a 16°C,





que se mantuvo hasta el día de la transferencia a 20°C ($p \leq 0.05$), posteriormente su firmeza disminuyó proporcionalmente al control ($p \geq 0.05$). En cuanto a los frutos sometidos a dosis de 400Gy no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en ninguno de los días en almacenamiento a 16°C y la transferencia a 20°C con respecto a los frutos no irradiados, por lo que, a esta dosis el comportamiento es homólogo al control.

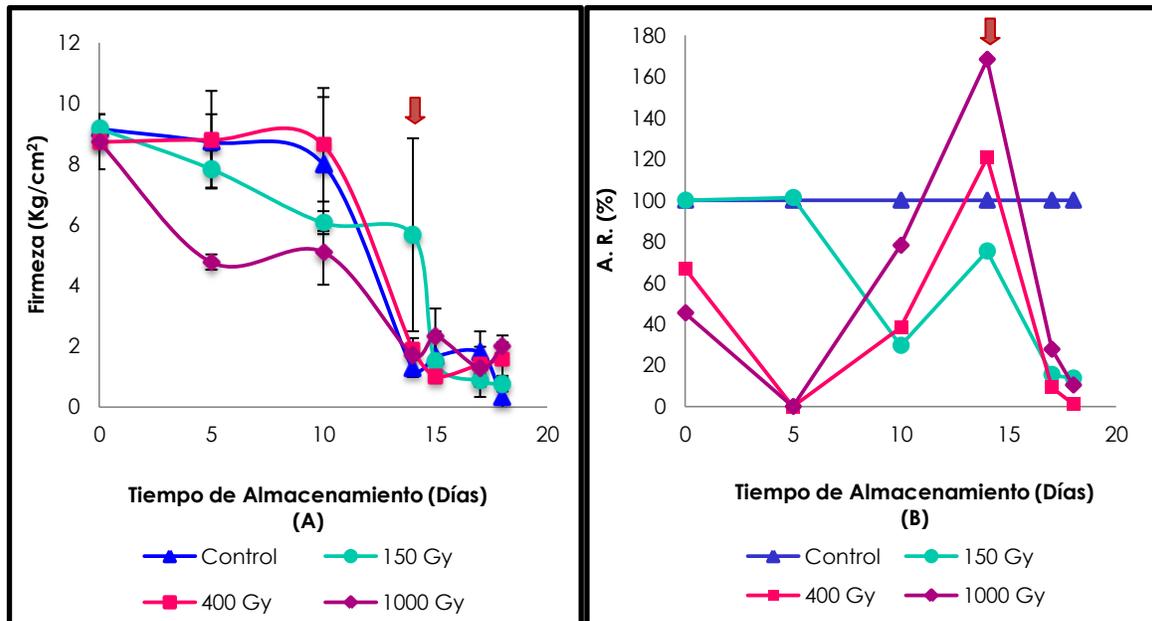
De acuerdo con la Figura 50B, la actividad enzimática en frutos irradiados es menor que la actividad en frutos del control (no irradiados) los primeros 10 días de almacenamiento en donde existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las dosis de 150 y 400Gy con respecto al control, ya que la actividad residual (AR) fue más pequeña en frutos irradiados a estas dosis que en los frutos no irradiados, al igual se observó que existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la dosis de 1000 Gy y el control, sin embargo esta es menor en comparación con las otras dosis. Al día 14 (día de la transferencia de 16 a 20°C), se observó un aumento de la AR en dosis de 400 y 1000Gy, lo que indicó que los frutos tuvieron mayor actividad pectinmetilesterasa, y concuerda con el valor de firmeza (Figura 50), que muestra que este día hubo una pérdida significativa de textura ($p \leq 0.05$) en frutos de 400 y 1000Gy con respecto a frutos irradiados a dosis de 150Gy, en donde se mantuvo una firmeza mayor que las del control, y por lo tanto menor AR. Estos resultados pueden deberse a que durante el proceso de irradiación, la estructura de los frutos suele ser modificada, provocando la pérdida de firmeza de éstos, de acuerdo con Wannan *et al.* (2008) ésta pérdida está asociada a la conversión de fracciones de pectina insoluble del fruto a pectina soluble que se forma durante el proceso de maduración. Algunas enzimas como la pectinmetilesterasa, la poligalacturonasa y la protopectinasa, ayudan la hidrólisis y solubilización de las sustancias pécticas, aumentando estos procesos durante la maduración.

La actividad residual disminuyó durante los últimos días de almacenamiento, una vez que los frutos fueron transferidos a 20°C, esto se puede deber a la presencia de enzimas como la pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y protopectinasa que están relacionadas con la pérdida de firmeza, tal y como se ha mencionado anteriormente. Generalmente en frutos como el chicozapote las enzimas que más se presentan es la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa, en un estudio, realizado por Arévalo *et al.*, (2005), mencionan que estas dos enzimas están asociadas, mientras la actividad de la





pectinmetilesterasa aumenta la actividad poligalacturonasa disminuye, tal como ocurrió en el presente estudio.



El tratamiento de irradiación, inhibe la actividad enzimática mientras los frutos se encuentran almacenados a 16°C, sin embargo una vez que se transfieren a 20°C, ésta aumenta considerablemente con respecto a los frutos no irradiados reflejando efectos sobre la firmeza de los frutos.

5.5.2.3. Sólidos solubles

El tratamiento de irradiación gamma, en general, no afectó de manera significativa ($p \geq 0.05$) el contenido de sólidos solubles totales (SST) durante todo el almacenamiento. Sin embargo, durante los primeros 5 días bajo condiciones de refrigeración, se presentó un ligero incremento de SST en frutos sometidos a dosis de 1000 Gy con un valor de 22°Brix. Este incremento puede deberse a la ruptura de polisacáridos, convirtiéndose en azúcares, los cuales posteriormente sufren reacciones oxidativas, disminuyendo durante la respiración de los frutos (Hussian *et al.*, 2008). En la Figura 51, se observa que al día 15 (una vez realizada la transferencia a 20°C) los





sólidos solubles incrementaron en frutos no irradiados, en cambio, en los frutos sometidos al tratamiento de irradiación se detectó una ligera disminución al realizar la transferencia sin presentar diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

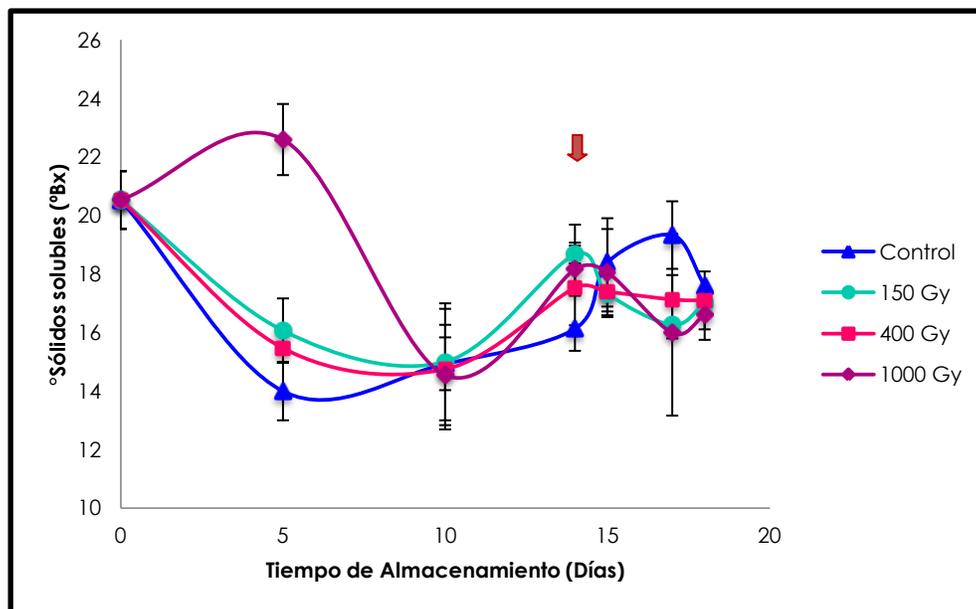


Figura 51. Cambios en el contenido de sólidos solubles en frutos de chichazapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Los sólidos solubles totales, disminuyeron en un principio de 20.5°Brix hasta llegar a un valor de no menos de 16°Brix para todos los casos. La disminución observada al principio del almacenamiento en frutos no irradiados y frutos sometidos a dosis de 150 y 400 Gy, puede deberse a que el proceso de maduración se retrasó debido al tratamiento de irradiación, tal como lo indica Kim y Yook (2009) en estudios elaborados a frutos de kiwi.

Los valores reportados en la Figura 51 muestran que frutos irradiados en todas las dosis tienen un contenido de SST similar al final del almacenamiento a 16°C, que los frutos que no fueron irradiados y han sido almacenados a temperatura de 20°C. En general el tratamiento de irradiación no tuvo efectos significativos sobre el contenido de SST, ocasionando ligeras variaciones al principio del almacenamiento, que pudieron deberse también a la existencia de látex en el fruto.





5.5.2.4. pH

Durante los primeros 10 días de almacenamiento a 16°C, no se mostró un efecto significativo ($p \geq 0.05$) del tratamiento de irradiación sobre el pH de frutos de chichzapote. Al día 14 hubo un ligero incremento significativo ($p \leq 0.05$) a dosis de 150 Gy en comparación al control, tal como se muestra en la Figura 52. Una disminución en el pH en frutos sometidos a dosis de 400 Gy se presentó durante el día 15, un día después de transferir los frutos de 16 a 20°C. Al final del almacenamiento existió una disminución en todos los frutos sometidos a irradiación con respecto a los frutos del control, presentado diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

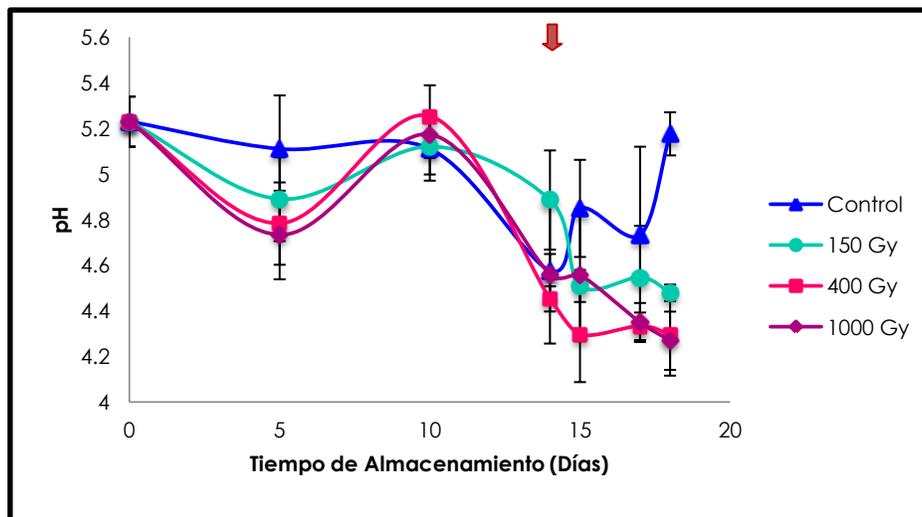


Figura 52. Cambios en el pH en frutos de chichzapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

Estudios realizados a diversas frutas acerca del efecto de la irradiación sobre algunas de sus propiedades, muestran que, no existe un efecto significativo sobre el pH, y que este incluso se mantiene constante antes, durante y después de su almacenamiento (Mitchell *et al.*, 1992).

La disminución observada al final del almacenamiento, en frutos sometidos a irradiación, puede deberse a que los iones hidrógeno contenidos en el alimento no se solubilizaron una vez irradiado el fruto, aumentando este efecto conforme la maduración.





5.5.2.5. Acidez titulable

El contenido de acidez de frutos de chicozapote no muestra diferencia significativa ($p \geq 0.05$) durante los primeros 5 días de almacenamiento. Una disminución de la acidez al día 10 se observó entre los frutos irradiados a dosis de 150 y 400 Gy en comparación con el control, mostrando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con valores de 0.059 y 0.091% respectivamente, mientras que a dosis de 1000 Gy se mantiene casi en el mismo valor (0.049%). El contenido de acidez muestra un ligero aumento en el día 14 de almacenamiento a 16°C (día de transferencia a 20°C), siendo las dosis de 150 y 400 Gy las que mostraron un cambio significativo ($p \leq 0.05$), situándose la acidez entre 0.084 y 0.071%, para cada una, sin embargo para dosis de 1000 Gy se muestra una disminución en este día, que para las otras dosis y el control. Para los frutos sometidos a irradiación y para los frutos no irradiados el contenido de acidez después de la transferencia de 16 a 20°C mostró una pequeña disminución seguida de un aumento, para dar lugar, al final del almacenamiento a una disminución significativa ($p \leq 0.05$) entre dosis de 400 y 1000 Gy y el control.

En la Figura 53, se puede observar que al final de los 18 días de almacenamiento, los frutos irradiados a 400 Gy presentaron una acidez más alta que los frutos del control con un valor de 0.042%. Sin embargo la acidez más alta se presentó en frutos irradiados a 1000 Gy con un valor de 0.055%. En algunos estudios realizados con frutos de guayaba, a mayores dosis de irradiación gamma, la pérdida de acidez se acelera (Singh y Pal, 2009) lo que no coincide con los resultados obtenidos en la experimentación, sin embargo, en otros estudios realizados con frutos de kiwi con dosis de hasta 3 kGy la acidez aumenta en proporción con los días de almacenamiento (Kim y Yook, 2009).

La pérdida de acidez en gran parte se debe a la utilización de ácidos orgánicos como sustratos en la respiración y en el ciclo de carbono por la síntesis de algunos compuestos durante la maduración. La acumulación de azúcares durante la maduración también contribuye a la disminución de la acidez como resultado de un incremento en la relación de sólidos solubles totales y la acidez (Stanley, 1991 citado por Wani *et al.*, 2008).



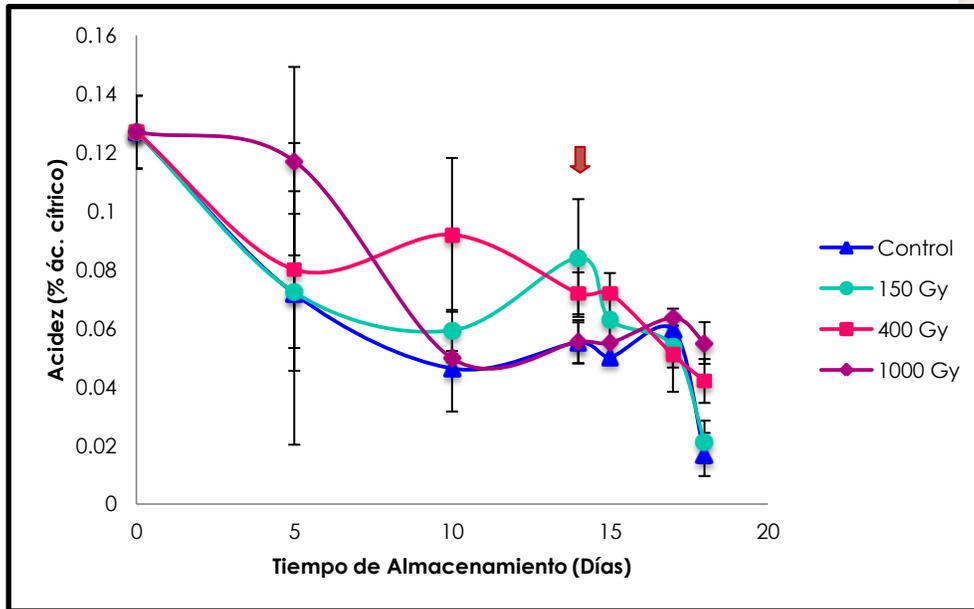


Figura 53. Acidez titulable de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

A dosis de 1000 Gy, en donde la acidez se mantiene más alta que en el control, la retención puede deberse a un retraso en la maduración provocada por un efecto sinérgico entre el almacenamiento a bajas temperaturas y el proceso de irradiación gamma.

5.5.2.6. Color

El color es una parte característica de varios frutos, ya que indica el estado de madurez de la mayoría de estos y además aporta características físicas importantes, muchas veces del color depende si es aceptable o no el fruto. Durante el almacenamiento de frutos de chicozapote sometidos a tratamiento de irradiación gamma, se observó que la luminosidad (L) no tuvo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en comparación con frutos no irradiados (control) (Figura 56).

Durante los primeros 14 días, en donde los frutos se almacenaron a 16°C, se observó una disminución de la luminosidad en todos los casos, mientras que el día 15 (una vez realizada la transferencia a 20°C) se presentó un aumento en los valores de luminosidad (L), este cambio fue el mismo para frutos irradiados y no irradiados.





En algunos casos, la luminosidad tiende a aumentar una vez que los frutos fueron almacenados, tal como sucede con chiles verdes y rojos, los cuales fueron evaluados debido a tratamiento de irradiación gamma (Mitchel *et al.*, 1992).

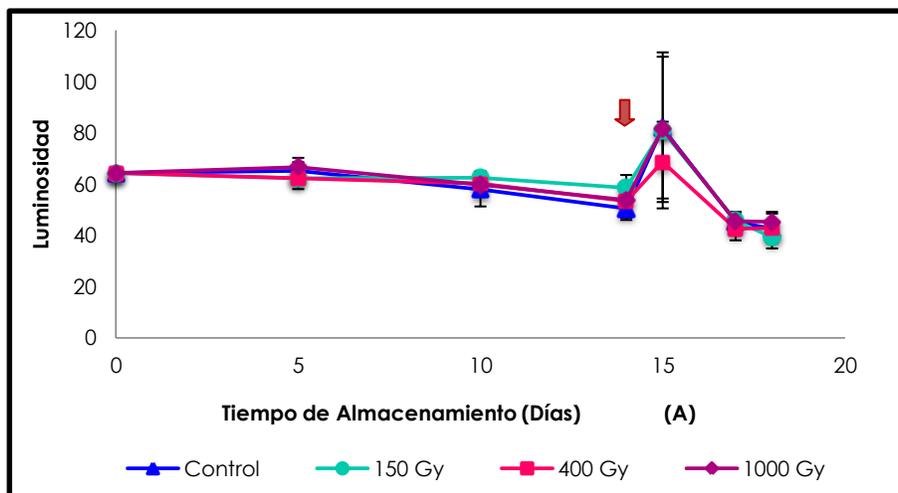


Figura 54. Luminosidad de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

En la Figura 55, se observa que en todos los casos la tonalidad ($^{\circ}$ Hue) comienza en valores de 75, durante el tiempo de almacenamiento la tonalidad disminuyó en todos los tratamientos hasta valores de 69, lo que indicó que el fruto fue madurando y el color de la pulpa cambió de amarillo-naranja a un color más naranja.

Al día 15, se observó que frutos sometidos a dosis de 1000 Gy disminuyeron su valor a 48.5, lo que indicó que a esta dosis el color se tornó más naranja-café. A dosis de 150 y 400 Gy no se observó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ellas, sin embargo a dosis de 150 y 1000 Gy si existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

Al final del almacenamiento a 20°C, frutos irradiados mostraron valores de 59, lo que indicó que el color se tornara naranja-café, sin embargo en frutos del control, se observó un valor de 52.12, lo que indicó que la tonalidad fue aún más oscura en frutos no irradiados.



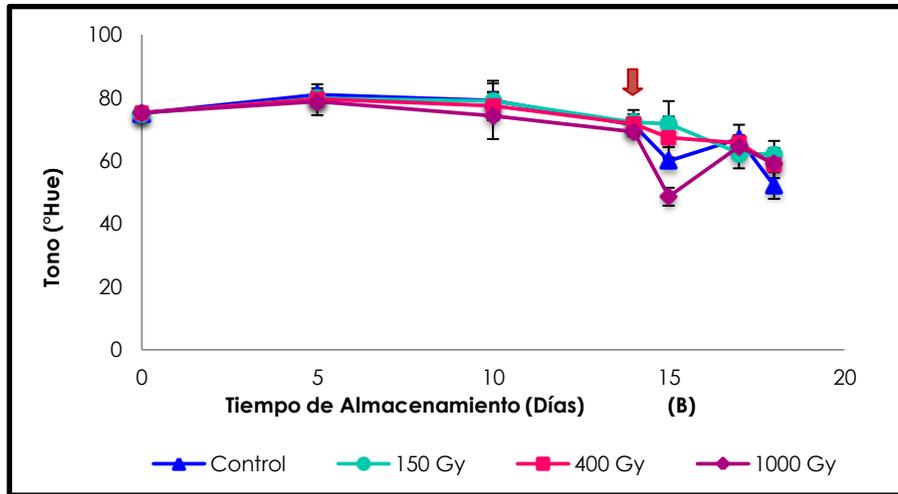


Figura 55. Tono (°Hue) de frutos de chichzapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

En cuanto al croma, se observó que fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento (Figura 56). Estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los frutos irradiados a distintas dosis y los frutos no irradiados (control) hasta el día 17, una vez que se realizó la transferencia a 20°C, en donde se presentó que frutos sometidos a dosis de 400 Gy tienden a ser más opacos que el resto, incluyendo el control, esto debido al oscurecimiento de la pulpa para esta dosis (Alía *et al*, 2002).

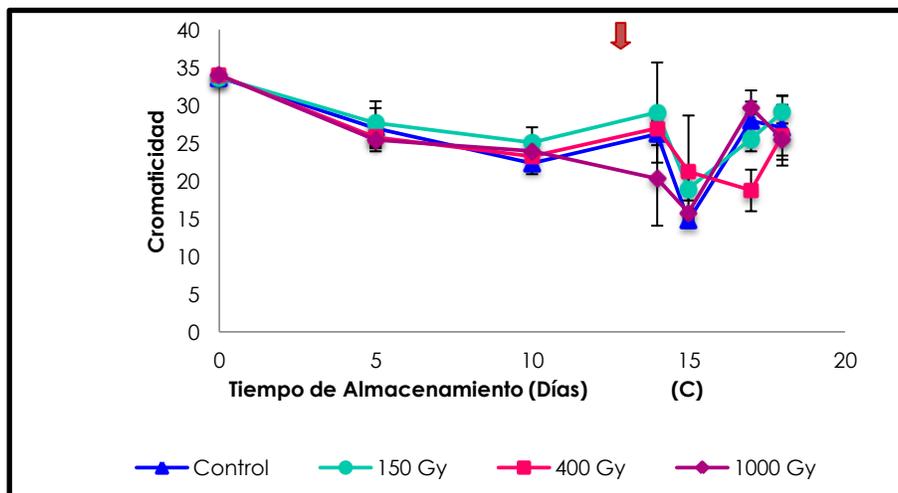


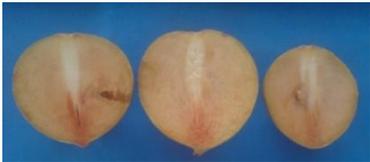
Figura 56. Cromaticidad (C) de frutos de chichzapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.





En el Cuadro 22 se muestran imágenes de frutos de chicozapote irradiados a 150, 400 y 1000 Gy al inicio del tratamiento, así como el día de transferencia a 20°C y el final del mismo.

Cuadro 22. Color de frutos de chicozapotes irradiados a 150, 400 y 1000 Gy y frutos sin irradiar.

DOSIS DE IRRADIACIÓN	INICIO DEL TRATAMIENTO	DÍA DE LA TRANSFERENCIA	FINAL DEL TRATAMIENTO
Control			
150 Gy			
400 Gy			
1000 Gy			





5.5.3. Parámetro nutrimental

5.5.3.1. Vitamina C

La Vitamina C, es una de las vitaminas más afectadas por el proceso de irradiación gamma en los frutos. La sensibilidad de las vitaminas hidrosolubles a las radiaciones es muy variada, depende de la dosis empleada, el tipo y estado físico del alimento. Zhang *et al.* (2006) dicen que no hay pérdida de vitaminas porque el tratamiento no involucra calor. Por otro lado, los nutrientes más sensibles a la irradiación son el ácido ascórbico, la vitamina B1 y la E.

En la Figura 57 se observa que al inicio del almacenamiento, el contenido de vitamina C fue el mismo en todos los casos (12.76%) y no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los frutos sometidos a irradiación y los frutos no irradiados. Al día 14, que es el día de transferencia de los frutos de 16 a 20°C, existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los frutos sometidos a una dosis de irradiación de 400 Gy y los frutos no irradiados con un valor de 5.58mg ác. ascórbico/100g de muestra, indicando que la irradiación conservó por más tiempo el contenido de esta vitamina, los resultados concuerdan con lo reportado por Lee y Kader(2000), en donde se irradiaron fresas, las cuales a dosis entre 1 y 3 kGy (dosis altas para este tipo de fruto), los niveles de ácido ascórbico se mantuvieron por arriba del control durante el almacenamiento a temperaturas relativamente bajas.

La vitamina C o ácido ascórbico, es sensible a la radiación y forma ácido deshidroascórbico, en este mismo estudio a mayores dosis de irradiación el contenido de ácido ascórbico se conservó y a su vez disminuyó proporcionalmente el contenido de ácido deshidroascórbico.

Durante el almacenamiento a una temperatura de 20°C, el contenido de vitamina C presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las dosis de 150 y 100 Gy con respecto al control (frutos no irradiados), ya que a 150 Gy se observó que el contenido disminuyó y a 1000 Gy aumentó, lo cual puede deberse a que a temperaturas entre los 16°C hasta los 4°C, la irradiación no tiene efecto alguno sobre el contenido de vitamina C en algunas frutas, una vez que estas se transfieren a una temperatura más





alta el efecto comienza a notarse debido al cambio térmico existente en ellas (Mitchel *et al.*, 1992).

En dosis bajas (1kGy) de radiación no se observaron cambios significativos en el contenido de vitamina C en naranjas, plátanos, mangos y papayas (Zhang *et al.*, 2006).

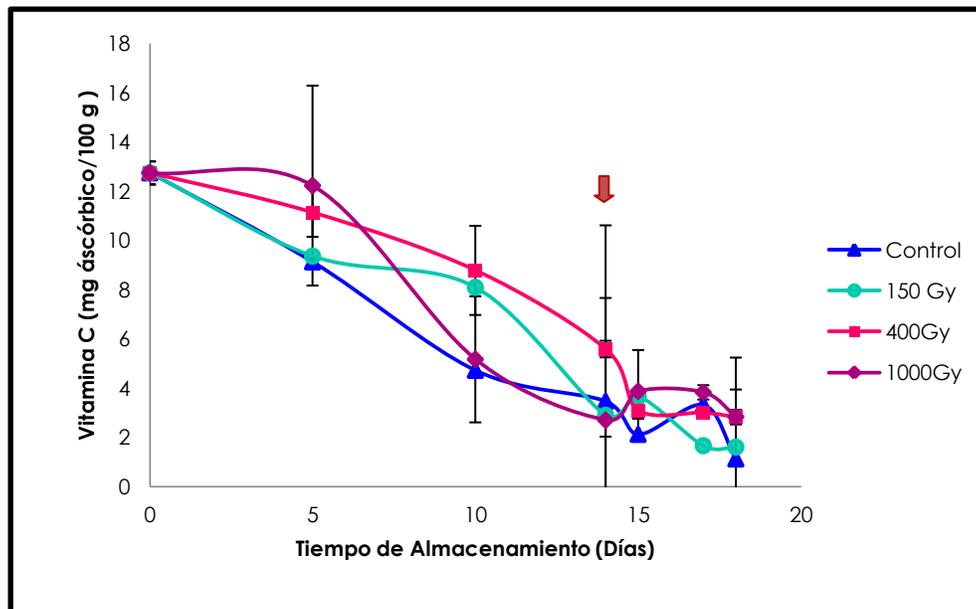


Figura 57. Contenido de Vitamina C de frutos de chicozapote sometidos a tratamientos por irradiación gamma a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C durante 14 días posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.

La pérdida de vitaminas de los alimentos es proporcional al tiempo de almacenamiento. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 57, el contenido de vitamina C disminuyó conforme el fruto fue madurando, existiendo mayor diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la dosis de 1000 Gy respecto al control, conservándose un porcentaje mayor de ácido ascórbico en dicha dosis los primeros 10 días de almacenamiento a 16°C.

Al final del almacenamiento se presentó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las dosis de 400 y 1000 Gy en comparación con el control, mientras que a dosis de 150 Gy se mantuvieron en los mismos valores no encontrándose diferencia significativa ($p \geq 0.05$).





5.5.4. Daños por radiación

El daño ocasionado por el proceso de irradiación en frutos de chicozapote, se puede observar en la Figura 58, en donde, a dosis de 1000 Gy existe un mayor índice de daño significativo ($p \leq 0.05$), este daño se alcanzó en el nivel 1, en donde mostraron pequeños síntomas, y se presentó durante los primeros días de almacenamiento a 16°C. A partir del octavo día se alcanzaron a presentar daños en el nivel 3 en frutos sometidos a dosis de 1000 Gy, mientras que en los demás frutos estos daños no se presentaron, por lo que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) a partir de este día de almacenamiento a 1000 Gy con respecto a las demás dosis. Sin embargo, no sólo el tratamiento influyó en el índice de daño, de igual forma se encuentra involucrada la pérdida de peso, que llegó a alcanzar valores altos.

De acuerdo a la Figura 58 el daño en frutos irradiados a dosis de 150 y 400 Gy fue mayor que los frutos sin irradiar (control), hasta el día 13, en donde, a dosis de 400 Gy se alcanzó un índice de daño igual que no mostró diferencia significativa ($p \geq 0.05$, en cuanto a 150 Gy se igualó el daño con respecto al control hasta el día 15, una vez que se realizó la transferencia a 20 °C, en ambos casos el índice de daño fue mayor para dosis de 150 y 400 Gy que para el control al término del almacenamiento ($p \leq 0.05$).

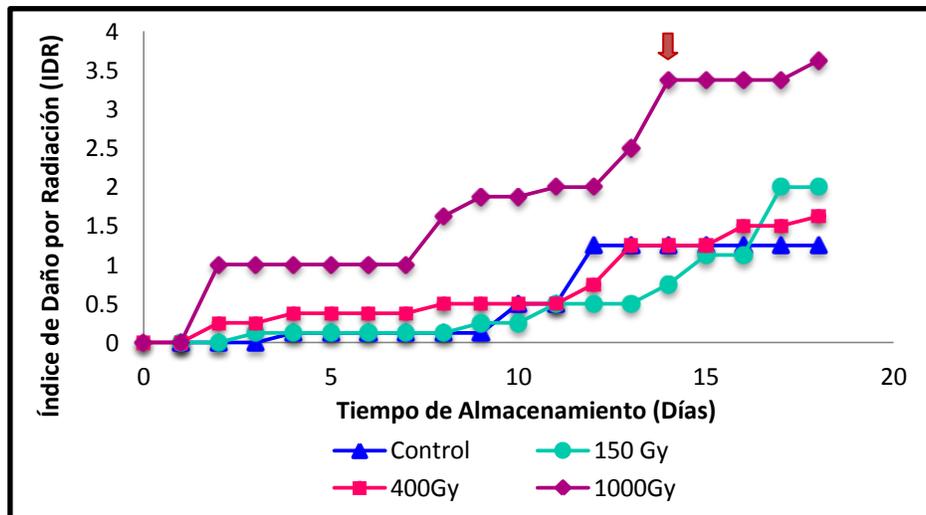


Figura 58. Índice de Daño por Radiación en frutos de chicozapote irradiados a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, almacenados a 16°C, posteriormente transferidos a 20°C. La flecha indica el día de transferencia a 20°C.





Entre los principales daños vistos por la radiación gamma, se encuentra el quemado de la piel, hundimiento, ablandamiento, manchas, quemado interno, picado y a dosis de 1000 Gy lignificación de heces vasculares. Durante los últimos días de almacenamiento a 16°C, se presentó ataque por hongos en frutos irradiados a dosis de 150 y 1000 Gy, así como en los frutos del control (no irradiados), ocasionando un mayor índice de daño por el tratamiento (Figura 58).

Wanni *et al.* (2008) irradiaron peras, de las cuales los frutos sometidos a dosis de 1.5 a 1.7 kGy no tuvieron daños significativos hasta los 22 días de almacenamiento bajo condiciones ambientales, lo cual indicó que a dosis mayores de 1 kGy, que fue la dosis más alta usada en este estudio, podría inhibirse la aparición de daños ocasionados por la rápida maduración de algunas frutas, sin embargo, en el mismo estudio con peras, se observó que a dosis de 0.8, 0.9, 1.0 y 2.0 kGy tuvieron un daño más visible y rápido al igual que las muestras sin irradiar.

A pesar de que existe un mayor índice de daño en frutos irradiados a 1000 Gy, en general el proceso de deterioro ocasionado por el tratamiento se presentó más rápido una vez irradiados los frutos, si se compara el tiempo de almacenamiento de los frutos irradiados y almacenados, con el tiempo de almacenamiento en frutos únicamente sometidos a baja temperatura, se puede observar que los no irradiados tienen un mayor tiempo de duración en almacenamiento; lo que indicó que el tratamiento de irradiación gamma no aportó un beneficio adicional para la conservación de frutos de chicozapote, sin embargo mejoró algunas características, como, menor pérdida de peso, vitamina C, acidez y sólidos solubles. Estos resultados concuerdan con lo reportado con Singh y Pal, (2009), en donde frutos de kiwi no tuvieron mayor tiempo de vida de anaquel una vez irradiados que los frutos que no se sometieron a este tratamiento.

En los siguientes cuadros, se muestran los síntomas ocasionados por el tratamiento de irradiación en frutos de chicozapote sometidos a dosis de 150, 400 y 1000 Gy, de los cuales los más comunes en todas las dosis de irradiación fue el quemado y el hundimiento.





Cuadro 23. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 150 Gy en frutos de chicozapote almacenados durante 18 días.

Daños por tratamiento de irradiación a 150 Gy		
		
Quemado	Hundimiento en la epidermis	Ablandamiento
		
Picado	Manchas en la piel	Ataque por hongos

Cuadro 24. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 400 Gy en frutos de chicozapote durante 18 días.

Daños por tratamiento de irradiación a 400 Gy		
		
Quemado	Hundimiento en la epidermis	Ablandamiento
		
Picado	Manchas en la piel	

Cuadro 25. Síntomas de daños ocasionados por el tratamiento de irradiación a dosis de 1000 Gy en frutos de chicozapote almacenados durante 18 días.





Daños por tratamiento de irradiación a 1000 Gy		
 <p>Quemado</p>	 <p>Hundimiento en la epidermis</p>	 <p>Picado</p>
 <p>Ablandamiento</p>	 <p>Manchas en la piel</p>	 <p>Ataque por hongos</p>
 <p>Quemado interno</p>	 <p>Lignificación de haces vasculares</p>	

Algunos de los daños observados por radiación son similares a los ocasionados por los daños a bajas temperaturas. Sin embargo, el daño por frío en frutos provenientes de Yucatán alcanzaron valores hasta de 1.75, en la misma escala, el daño ocasionado por radiación llega hasta 3.62, en el caso de los frutos irradiados a 1000 Gy, y de 1.62 en el caso de frutos irradiados a 400Gy. De tal modo que la irradiación gamma acentúa el daño en frutos de chichizapote, debido a que la actividad enzimática se ve más alterada con el tratamiento involucrado y por tanto existe una mayor degradación en la pared celular (Arévalo *et al.*, 2005).





5.5.5. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre desde su infancia y de una forma consciente, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con las sensaciones que experimenta el consumidor. La utilización de la evaluación sensorial es la de control de calidad y estandarización de un alimento (Ibáñez y Barcina, 2001).

5.5.5.1. Prueba hedónica

El análisis sensorial de los alimentos, está normalizado, y es aquel que se realiza con los sentidos. El sistema sensitivo del ser humano es una herramienta para el control de calidad de los alimentos, como bien se menciona, las principales características evaluadas para estos análisis son el aroma, el sabor, la textura, el color y el gusto.

Las principales características evaluadas en el chicozapote una vez irradiado, fueron: color, olor, sabor, y textura. La escala para evaluar fue del 1 al 5, en donde el 1 fue el valor más bajo o más desagradable y el 5 el más aceptable, dependiendo de la característica a evaluar, la prueba hedónica se realizó a 20 panelistas no entrenados (Ver metodología experimental).

Una de las principales características de los frutos que se puede observar a simple vista y que son de los más afectados por el proceso de irradiación es el color. En la Figura 59 (revisar escala mostrada en el Cuadro 12), se observa que la percepción del color se encontró entre naranja y café en el caso de los chicozapotes irradiados a una dosis de 1000 Gy, este color es significativamente diferente ($p \leq 0.05$) con respecto al control e incluso a las demás dosis de irradiación, ya que a esta dosis, que fue la más alta utilizada en el trabajo, puede existir ligera oxidación de las grasas o puede existir pardeamiento enzimático del fruto ocasionando un color más oscuro que no es aceptable para el consumidor. Los frutos que fueron evaluados con un color entre naranja y amarillo fueron los irradiados a 400 Gy, y por lo tanto fueron los más aceptados, debido a que fueron los más parecidos al control (frutos sin irradiar). En un estudio realizado a frutos climatéricos como el chicozapote, tales como la manzana, se mostró que los frutos obtuvieron colores más rojos y amarillos una vez irradiados, a dosis de 200 Gy no se mostró un efecto significativo ($p \geq 0.05$), una vez realizado el





proceso de irradiación. En el mismo estudio se irradiaron peras, las cuales no tuvieron cambios en color externo cuando se irradiaron, pero si sufrieron cambios durante el almacenamiento a baja temperatura haciéndolas más amarillas y menos verdes. (Pérez *et al.* 2009). En general, la irradiación no tiene efectos significativos ($p \geq 0.05$) en color, a dosis de 150 y 400 Gy, sin embargo a dosis de 1000 Gy los panelistas detectaron un cambio significativo ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

El chicozapote es un fruto climatérico, por lo que, al madurar aumenta la cantidad de sustancias volátiles en el fruto, haciendo característico un olor dulce en el mismo. De acuerdo con la Figura 59, para frutos no irradiados y frutos irradiados a dosis de 150 y 400 Gy, la percepción en cuanto a olor, fue similar, con un valor de 4, aceptable en la mayoría de los casos. Los chicozapotes con tratamientos de 1000 Gy fueron los que menos gustaron, con un valor de 3.4, sin embargo no existió un efecto significativo ($p \geq 0.05$) de las dosis de irradiación con respecto al control sin irradiar.

El sabor se evaluó en cuanto a aceptabilidad y en cuanto a sus atributos, en la Figura 59 se puede observar que la dosis menos aceptada fue la de 1000 Gy con un valor de 2.65. A dosis de 150 Gy se registró un valor en promedio de 3.1, en este caso las muestras fueron indiferentes para los panelistas y no hubo ni agrado ni desagrado en las mismas, estadísticamente no existe diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre las dosis de 150 y 1000 Gy, pero si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre estas dosis y el control sin irradiar.

Los frutos irradiados a 400 Gy y los frutos sin irradiar obtuvieron valores semejantes ($p \geq 0.05$) de 3.65 y 3.75 respectivamente, por lo que fueron los más aceptados y los que más gustaron, dejando una pequeña diferencia entre frutos sometidos a irradiación y frutos sin aplicar este tratamiento. En un estudio realizado a frutos tropicales con características similares al chicozapote, se irradiaron frutos de kiwi a dosis altas, en donde se mostraron valores que indicaron mayor preferencia hacia frutos irradiados que no irradiados, en este estudio, la irradiación no tuvo efectos desagradables en cuanto a las características sensoriales (Kim y Yook, 2009). Estos resultados concuerdan con los vistos en este estudio, ya que en frutos de chicozapote, de igual forma, se mostró una preferencia mayor hacia frutos irradiados a dosis de 400 Gy.





En cuanto a los atributos, se tomó de referencia el sabor amargo a dulce. La dosis de 400 Gy tuvo un valor promedio de 4.05, es decir, estuvo en un rango en el que se apreció un sabor dulce, incluso mayor que el sabor del control, a pesar de esto, no existe diferencia significativa entre esta dosis y el control ($p \geq 0.05$). Los frutos con un sabor más amargo fueron los irradiados a dosis de 1000 Gy (Figura 59) con un valor de 3.4. En cuanto a frutos sin irradiar e irradiados a dosis de 150 Gy estuvieron en un rango intermedio de 3.6 y 3.4, respectivamente. De acuerdo a esto no hubo efectos en cuanto a sabor entre la dosis de 150 Gy y el control, a dosis de 400 Gy el sabor mejoró significativamente, al contrario de dosis de 1000 Gy en donde el sabor se vio afectado. Kim y Yook (2009), en el mismo estudio mencionado anteriormente, encontraron que se tuvo mayor preferencia en características como dulzor, en frutos irradiados que en los no irradiados, tal como podemos observar en la Figura 59, en donde a dosis de 400 Gy los panelistas observaron mayor dulzor que en muestras no irradiadas. De igual forma en estudios realizados con pera, en el cual se involucra la irradiación gamma y almacenamiento a bajas temperaturas, se mostró una mayor aceptabilidad en general en frutos irradiados a dosis comprendidas entre 1.5 y 1.7 kGy, con un tiempo de almacenamiento entre 14 a 45 días (Wanni *et al.*, 2008). Estadísticamente los frutos sometidos a dosis de 400 Gy no tuvieron diferencia significativa con respecto al control ($p \geq 0.05$), no obstante, a dosis de 150 y 1000 Gy existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los frutos sin irradiar y los sometidos a dosis de 400 Gy. Por lo tanto, el tratamiento de irradiación continúa mostrando un efecto negativo sobre las características sensoriales cuando se usan dosis relativamente altas para frutos sensibles como el chichizapote.

Los frutos sin irradiar (control) tuvieron un valor de 3.3, es decir, no se percibieron muestras ni duras ni blandas, a 150 Gy se registró un valor promedio de 3.15, en el mismo rango que los frutos del control. A dosis de 400 Gy se obtuvo un valor de 3.6, siendo estas muestras las más blandas dentro del rango con el cual se evaluó. En frutos irradiados a 1000 Gy el valor registrado fue de 2.25, que representa una textura dura en las muestras irradiadas, por lo que el proceso de irradiación sí afectó significativamente ($p \leq 0.05$) a esta dosis. Los resultados del presente estudio mostraron que existe preferencia de los panelistas en frutos irradiados a 400 Gy, que en frutos del control (no irradiados), mostrando que el efecto de la irradiación y la refrigeración en frutos de chichizapote retrasa relativamente la maduración y de igual manera, la





textura en estos frutos. Estos resultados concuerdan con Wanni *et al.* (2008), en donde muestras de peras evaluadas por panelistas, presentaron, en cuanto a textura, mayor aceptabilidad en muestras irradiadas y almacenadas a bajas temperaturas que en muestras no irradiadas, las cuales pierden mayor firmeza debido a la acelerada maduración que se presenta bajo condiciones ambientales. Sin embargo a dosis más altas de 1000 Gy se presentó menor preferencia debido a que la evaluación de las muestras se colocó dentro de un rango de textura dura, resultados que concuerdan con Kim y Yook (2009), en donde a dosis de 1-3 kGy se presenta aceleración de la maduración, provocando una rápida pérdida de firmeza en frutos de kiwi y en algunos frutos se presenta una incapacidad de maduración por lo que la firmeza en estos es más alta.

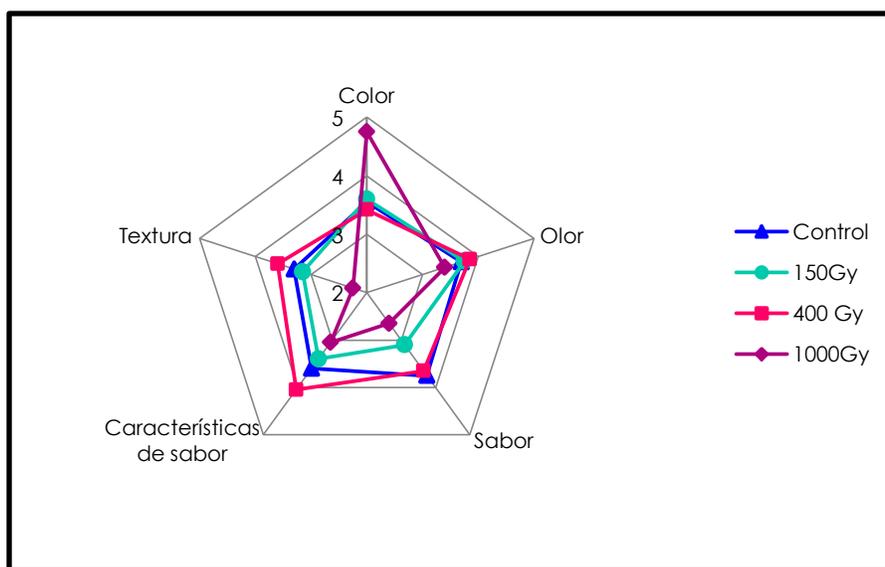


Figura 59. Características sensoriales evaluadas en frutos de chicozapote sometidos a dosis de irradiación de 150, 400 y 1000 Gy, posteriormente almacenados a 16°C y transferidos a 20°C.

En general no se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para todas las características sensoriales, entre los frutos del control, sin irradiar y los frutos irradiados a 400 Gy, sin embargo a dosis de 150 y 1000 Gy si hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto al control, siendo la dosis de 1000 Gy la que menores valores de preferencia y aceptabilidad obtuvo.





5.5.5.2. Prueba dúo-trío

Los panelistas determinaron que no existe diferencia significativa entre las muestras. Las muestras irradiadas no tuvieron diferencia de sabor y textura, en algunas muestras irradiadas a 1000 Gy, los panelistas observaron, un sabor más amargo y ácido, así como menos jugosos, sin embargo la mayoría no percibió cambio significativo entre estas muestras y la del control (no irradiados).





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- El tratamiento por irradiación gamma no afectó los parámetros de calidad del chicozapote, sin embargo aceleró la pérdida de firmeza e incrementó la actividad enzimática, provocando una disminución en el tiempo de vida útil del fruto a medida que aumenta la dosis. A mayor dosis de radiación se mantiene por más tiempo el contenido de vitamina C y aumentó la pérdida de ácidos orgánicos.
- Los tratamientos por irradiación gamma aplicados a chicozapotes a dosis de 400 Gy pueden contribuir a mantener la calidad del fruto sin verse alterados la respiración, pH, sólidos solubles, luminosidad, pérdida de peso y características sensoriales, por lo que puede ser un proceso viable para aplicar en frutos de chicozapote, siempre y cuando se mantenga controlado y de esta manera cumplir los requisitos fitosanitarios para su exportación o movilización nacional.
- No existe una relación directa de la actividad PME con la pérdida de firmeza puesto que no hay correlación entre ambos parámetros, por lo que la disminución de la textura del fruto puede deberse a la acción de otras enzimas que degradan la pared celular.
- Sensorialmente, los frutos irradiados a dosis de 400 Gy fueron los más aceptados, mientras que a 1000 Gy las características sensoriales se vieron claramente afectadas (especialmente el color).
- El daño causado por el frío es más notorio a 12°C, siendo los chicozapotes originarios del estado de Chiapas más susceptibles que los de Yucatán.
- La temperatura óptima de almacenamiento para los frutos de chicozapote fue a 16°C; logrando de esta manera alargar su vida útil sin frenar el proceso de maduración normal del fruto, disminuyendo además el daño por frío.
- La procedencia del chicozapote afectó la tasa de respiración; siendo los frutos originarios de Chiapas los que presentaron una mayor producción de CO₂, así como una menor vida útil, comparados con los procedentes de Yucatán.





- Los frutos procedentes del estado de Yucatán presentaron mejores características de calidad (Intensidad respiratoria, pérdida de peso, sólidos solubles, pH, acidez y color) que los de Chiapas.





RECOMENDACIONES

- Estudiar el efecto que tiene el tratamiento de irradiación en el color y el pardeamiento de los frutos, ya sea en la presencia de carotenos o en la actividad de enzimas como la PPO y la PDO (responsables del oscurecimiento en la pulpa).
- Determinar la actividad de alguna otra enzima que degrade la pared celular, tal como la poligalacturonasa, pectatoliasa, celulasas.
- Evaluar el efecto del papel estraza utilizado como envoltura de los frutos, para evitar que los chicozapotes sufran daños mecánicos, propiciando una maduración más homogénea por la retención de gases como el etileno.
- Tomar en cuenta tratamientos postcosecha que en conjunto con la irradiación contribuyan a alargar la vida de anaquel del fruto. Una opción pueden ser los envases activos, ya que su efecto puede traer más beneficios.





ABREVIATURAS





ABREVIATURAS

A:	Anastrepha.
AR:	Actividad Residual.
CO ₂ :	Dióxido de carbono.
Croma:	Cromaticidad.
Gy:	Gray
H.R.:	Humedad relativa.
IDF:	Índice de Daño por Frío.
IDR:	Índice de Daño por Radiación.
kGy:	Kilo gray.
L:	Luminosidad.
O ₂ :	Oxígeno.
°Bx:	Grados brix.
°Hue:	Ángulo Hue o ángulo matiz.
PDO:	Peroxidasa.
PG:	Poligalacturonasa.
PME:	Pectinmetilesterasa.
PPO:	Polifenoloxidasa.
FDA:	Food and Drug Administration.
APHIS:	Animal and Plant Health Inspection Service.





ANEXOS





ANEXO 1. Determinación de la actividad Pectinmetilesterasa (PME).

Fundamento. La actividad PME, es medida con un ensayo espectrofotométrico basada en la técnica descrita por Hagerman y Austin (1986), con ligeras modificaciones, mediante la reducción de la densidad óptica a 620nm y 37°C. Los resultados se expresa como el cambio en la densidad óptica (DDO) en un minuto bajo las condiciones de ensayo, por cantidad de proteína.

Reactivos

- Extracto enzimático
- Pectina cítrica al 1%
- Azul de bromotimol 0.01% en buffer fosfato 0.0003M a pH 7.5
- NaCl 1M
- NaOH 0.1M
- PVP (polivinilpirrolidona)

Preparación de Reactivos

- a) Buffer fosfato pH 7.5. Para su preparación, es necesario preparar fosfato monobásico 0.0003M, fosfato dibásico 0.0003M y ácido fosfórico concentrado.
- i. Para preparar 500ml de solución se pesan 0.21g de fosfato monobásico, 0.4g de fosfato dibásico, 2.04g de NaOH y 4.2g de HCl. Los fosfatos son preparados por separado.
 - ii. Una vez preparados los fosfatos, se toman 13.25ml de fosfato monobásico y 236.75 ml de fosfato dibásico, para dar un pH de 7.5 y aforar con agua a 500ml.
 - iii. Verificar que el pH de la solución sea de 7.5, de no ser así, ajustar¹ el pH con ácido fosfórico concentrado si está por arriba de 7.5, y si está por debajo, ajustar con la solución de fosfato dibásico sobrante.
 - iv. Una vez que el pH se encuentra ajustado, pesar 0.025g de azul de bromotimol y adicionarlo a la mezcla anterior (buffer fosfato).
 - v. Colocar la solución final en un frasco ámbar.

¹ El pH del buffer fosfato con los que se trabajó se ajustaron a pH de 6.5, 7, 7.5 y 8.





- b) NaCl 1M. Se pesan 11.77g de NaCl y se aforan a 200 ml con agua.
- c) NaOH 0.1M. Para preparar 500ml, se pesan 2.04g de NaOH en grado reactivo.
- d) PVP. Se prepara bajo la relación de 1g de PVP por cada 100ml de NaCl 1M.
- e) Pectina cítrica. Se pesan 0.25g de pectina cítrica y se aforan a 25ml con NaCl 0.1M.

Procedimiento

- a) Obtención del extracto enzimático.
 - i. Pesar 1g de muestra y macerar con nitrógeno líquido.
 - ii. Agregar 3ml de PVP, colocar en un vaso de precipitados y agitar por un tiempo de 2 horas.
 - iii. Transcurrido el tiempo, la solución se transfiere a tubos eppendorf que se centrifugan a 12000 rpm durante 20 minutos.
 - iv. Se recupera el sobrenadante, se ajusta su pH a 7 con el NaOH 0.1M y mientras se hace la determinación, se almacena en frío.

- b) Determinación de la enzima.
 - i. Colocar un vaso de precipitados con agua en una parrilla eléctrica con agitación magnética y controlar la temperatura a 40°C.
 - ii. Colocar en un tubo de ensayo 200µl de extracto, 100 µl de agua pH de 7.5, 100 µl de buffer pH 7.5 y 0.6 ml de pectina cítrica. (El tubo debe estar protegido contra la luz y se coloca un tubo como blanco, es decir, sin extracto enzimático).
 - iii. Poner a incubar la mezcla durante 10 minutos en el vaso con agua descrito en el paso 1 y verificar que la temperatura del extracto sea de 37°C.
 - iv. Transcurrido el tiempo leer en el espectrofotómetro a 620nm por dos minutos.





ANEXO 2. Requisitos para importar productos irradiados a Estados Unidos

Estados Unidos es el segundo importador mundial de alimentos luego de la Unión Europea, además, el mercado a Estados Unidos es interesante por diferentes razones: cercanía geográfica, la rentabilidad del mercado, el potencial del mercado y los beneficios arancelarios (NORMEX, 2011).

Como una condición para entrar a los Estados Unidos, los productos deben pasar por un proceso de irradiación, especificado por APHIS-USDA. Los importadores deben tener y presentar al inspector de Estados Unidos en el puerto de entrada, el Permiso de Importación válido otorgado por Estados Unidos antes de ofrecer los bienes irradiados para entrar al país. Los permisos de importación especifican las condiciones de los requerimientos de entrada, los procedimientos a seguir, los productos cubiertos, la responsabilidad y otra información de interés. Los permisos deben ser solicitados al menos con 30 días de anticipación a la llegada, para asegurar que los puertos puedan ser contactados, las disposiciones puedan ser desarrolladas y los permisos puedan ser transmitidos a los permisionarios y a los puertos con anticipación a la llegada de los embarques. Los productos estarán sujetos a inspección y otras acciones en los puertos de entrada a los Estados Unidos y puede ser sujeto de inspección en su destino, como una opción de la APHIS.

Los requisitos que se deben cumplir para el Programa son:

1. Certificación de las instalaciones de irradiación. Las instalaciones aprobadas deben ser capaces de demostrar que su equipo y personal está capacitado para administrar la dosis mínima requerida de forma segura, precisa y consistente. Para obtener el certificado, se debe tener la aprobación de la certificación de USDA y APHIS. Para obtener el certificado es necesario cumplir con lo siguiente:
 - a) La planta debe contar con:
 - Licencia vigente.
 - Dosis mínima (capacidad de administrarla, contar con un mapeo).
 - Salvaguardias biológicas (productos empacados en contenedores a prueba de insectos, separación física de productos irradiados y no irradiados).
 - Entrenamiento documentado.





- Procedimientos documentados.
 - b) *Pedir la solicitud de aprobación.* Se pide una solicitud escrita para la aprobación del Plan para la Instalación de Irradiación.
 - c) *Visita de aprobación del sitio.* Certificadores de la APHIS revisan que la documentación esté completa y realizarán una visita a la instalación para corroborar que se cumple con los requisitos.
 - d) *Emisión del certificado de aprobación.* La APHIS emite el certificado de aprobación.
 - e) *Recertificación.* Será requerida cuando:
 - Haya cambios en la administración de la instalación.
 - Haya cambios operativos o estructurales a la instalación.
 - Se presente un cambio o recarga en la fuente de radiación.
2. Tratamiento de irradiación para embarque comercial de productos. El tratamiento de irradiación debe cumplir con los siguientes requisitos:
- a) *Fuentes de radiación aprobadas.* Las fuentes más comunes de irradiación son Co^{60} y Ce^{137} y puede ser utilizada cualquiera para el objetivo deseado. Las fuentes deben tener la capacidad para irradiar efectivamente de forma segura.
 - b) *Verificación del tratamiento.* Se realizarán auditorias para asegurar que la dosis es apropiada y administrada de forma segura.
 - c) *Sistema de dosimetría.* Se debe contar con un sistema de rutina de dosimetría para el proceso que cumpla con los requerimientos dosimétricos para la aplicación. Algunos procedimientos se especifican en normas como la ISO/ASTM 51261-2002 (E), ISO/ASTM 51204-2002 (E) y ISO/ASTM 51431-2002 (E).
 - d) *Dosimetría de rutina.* Es un proceso de verificación para establecer que se cumple con el proceso de irradiación. Previo a su uso el sistema de dosimetría debe ser calibrado para asegurar que la dosis mínima absorbida prescrita por la APHIS para mitigar la plaga (s) objetivo.
 - e) *Monitoreo remoto del tratamiento y envío de datos.* Consiste en el proceso de cargar información de las instalaciones de tratamiento de irradiación a una base de datos a través de la red para contar con el registro del proceso. Para que la APHIS tenga acceso a la información, el monitoreo debe ser especialmente controlado en:





- La certificación de la instalación de irradiación.
 - La aprobación del tratamiento de irradiación.
 - La llegada de los productos irradiados al puerto de entrada de los Estados Unidos.
3. Requerimientos de salvaguardias y post-tratamiento. Los productos tratados deben ser salvaguardados para prevenir reinfestación. Los procedimientos de salvaguardias abarcan tres categorías generales:

a) *Pre-tratamiento.*

- **Recepción.** Los productos que se reciben en la instalación deben estar acompañados de un registro de origen (puntos de cultivo y embarque), deben llegar a la instalación en un contenedor cerrado y ésta debe recibir los productos de los “adendums” solamente si están empacados en cajas de cartón a prueba de insectos. Los productos del programa no deben ser transportados con productos que no sean del programa.
- **Separación de productos tratados y no tratados.** Todos los productos del programa deben ser separados de los productos que no son del programa. La instalación debe contar con una separación física de los productos irradiados de los no tratados.
- **Empacado.** Los productos para su irradiación deben ser recibidos en la instalación de tratamiento y exportados a los Estados Unidos en las mismas cajas de cartón en que son irradiados. Los productos deberán ser empacados en cajas de cartón a prueba de insectos, es decir, son orificios que permitan su entrada. Si son necesarios los orificios para la ventilación, serán cubiertos con cortinas con una trama mínimo de 30 mallas por pulgada lineal. Las cajas deben ser selladas, lo que indicará visualmente que las cajas no han sido abiertas. Todos los materiales de empacado deben cumplir con lo establecido en los Estándares de Materiales de Empacado para Alimentos Irradiados de la FDA.

b) *Proceso.*

- **Sanitización general.** Debe ser mantenido un alto nivel de sanidad en toda la instalación, así como dentro de las áreas de





almacenamiento de pre y post tratamiento y en el equipo utilizado para transportar el producto hacia el irradiador.

c) *Post-tratamiento.*

- **Envoltura.** Para preservar la identidad de los lotes tratados, cada tarima debe ser envuelta antes de que salga de la instalación de irradiación, en alguna de las siguientes formas:
 - Con polietileno encogible.
 - Con envoltura de malla.
 - Con flejes.
 - **Marcado y etiquetado.** De acuerdo a la FDA, los alimentos irradiados que están en cajas requieren que el símbolo internacional de radiación (radura) aparezca en cada cartón, junto con la leyenda "Tratado con radiación" o "Tratado por irradiación". Para permitir rastreabilidad de productos, cada caja de cartón debe estar marcada con el Código de Unidad de Producción (CUP), el Código de Empaque (CE), fecha de empaque, Código de la Instalación del Tratamiento (CIT) y Número de Identificación de Tratamiento (NIT).
 - **Carga y transportación de contenedores.** Los productos deben ser transportados en contenedores limpios para su entrada a los Estados Unidos. Todas las actividades de maniobra y carga de productos serán supervisadas por oficiales de la APHIS o de la DGSV. Los contenedores o camionetas deben estar libres de plagas y deben contar con una conexión sellada en la instalación durante la carga para prevenir la entrada de plagas. Los embarques no deben ser abiertos mientras van en tránsito a Estados Unidos sin una aprobación de la APHIS.
4. Monitoreo. Los productos están sujetos a verificación de documentación en el puerto de entrada, así como muestreo e inspección para plagas cuarentenarias por el personal de la APHIS y otras agencias del gobierno de los Estados Unidos.

Cuando los productos han cumplido con los requisitos del programa, se distribuyen en los mercados de Estados Unidos. (SAGARPA, 2007).





REFERENCIAS





REFERENCIAS

- Aldana, J.; Tamayo, J.; Toledo, V.; González, S. y Vargas, M. (2002). Conservación del chicozapote (*Achras zapota*) mínimamente procesado por atmósferas modificadas. *III Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, forestal y Pesca*.
- Alia, I.; Colinas, M.; Martínez, D. y Soto, R. (2002). Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteriasapota*) durante poscosecha. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 8 (2):263-281.
- Almazán, C. (1998). Tecnología de la preservación de alimentos por irradiación. Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma de México.
- Aluja, M. (1993). *Manejo integrado de la fruta*. México: Trillas
- Aluja, M.; Rull, J.; Sivinski, J.; Norrbom, A.; Wparton, R.; Macías-Ordoñez, R.; Díaz-Fleischer, F. y López, M. (2003). Fruit flies of the genus *Anastrepha* (Diptera:Tephritidae) and associated native parasitoid (Hymenoptera) in the tropical rainforest biosphere reserve on Montes Azules, Chiapas, México. *Environmental entomology*, 32, 1377-1385.
- AOAC (1990). *Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Arévalo, M.; Bautista, B.; Saucedo, C. y Martínez T. (2005). Proceso de maduración y almacenamiento en refrigeración de chicozapote (*Manilkara zapota* L. Van Royen) tipo fino. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 7 (1):7-13.
- Arzudia, C. (2006). Tres especies de zapote en América tropical. Consultado en Junio del 2011. Disponible en: http://www.icuc-iwmi.org/files/Publications/Pouteria_monograph.pdf
- Assis, S.; Lima, D.; Faria Oliveira, O. (2001). Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. *Food Chemistry, Elsevier*, 74, 133-137.





- Aular, J. (2011). Manejo poscosecha de frutas. Consultado en Junio del 2011. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/23578851/Manejo-postcosecha-de-frutas>.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos (4ª ed.). México: Pearson Educación.
- Bautista Reyes, B. (2004). Almacenamiento refrigerado y uso de 1-Metilciclopropeno en frutos de chicozapote (*Manilkara zapota*) Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Bautista, B.; Arévalo, M.; saucedo, C.; Martínez, M. (2005). Proceso de maduración de frutos de chicozapote (*Manilkara zapota*) tipo fino. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 11 (002), 387-391.
- Bosquez, E. (2011). Fisiología y tecnología poscosecha de frutas y hortalizas. Aplicación de parámetros de madurez y calidad. Consultada en Junio de 2011. Disponible en: <http://docencia.izt.uam.mx/elbm/233248/practicas/practica2.pdf>.
- Briggs, D. (2011). The dimensions of colour. Consultada en Junio del 2011. Disponible en: www.huevaluechroma.com/074.php.
- Briz, J. y García, R. (2004). Análisis Sensorial de Productos Alimentarios: Métodos y Aplicación en casos prácticos. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. 2da edición. Madrid, España.
- Broughton, W. (1979). Storage conditions and ripening of chiku fruits *Achras zapota* L. *Scientia Horticulturae*, 10, 377-385.
- Brummell, D. y Harpster, M. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*. 47: 311-340.
- Burdon, J. N. (1997). Postharvest handling of tropical and subtropical fruit for export. *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. Reino Unido: CAB International.
- CAB International. (2010). Microbial Services, Fruit Flies of Economic Significance. Department of Primary Industries. Folleto. Australia.





- Caballero Rojas, R. (1974). *La explotación de chicozapote y el problema de su conservación en el estado de Campeche*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Candan, A. P. (2011). Poscosecha: Daños por frío en frutos de carozo. Consultada en Julio de 2011. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblo/rompecabezas/pdfs/rompe42_candan.pdf
- Caraballo, J. (2001). Diagnósis y clave pectorica para las especies del género *Anastrephaschiner*, (Diptera: Tephritidae) de importancia económica en Venezuela. 16 (3), 157-164.
- Cervera, J. y Sauri, E. (2002). Cambios en la actividad EFE durante el almacenamiento refrigerado y posterior maduración en frutos de chicozapote (*Achrassapota*).
- Cheftel, J. C. (1992). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos* (Vol. I y II). Zaragoza, España: Acribia.
- CONAPO (2008). Hispanos de origen mexicano en los Estados Unidos. Consejo Nacional de Población. Consultada en Noviembre del 2011. Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/>
- Corrales-García, J. y Tlapa-Rangel, C. (1999). Daños por frío y producción de etanol en aguacate (*Persea americana Mill*) CV. Hass. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 5, 345-351.
- Dhaliwal, A. S. y Salunkhe, D. K. (1962). Ionizing Radiation and Packaging effects on respiratory behavior fungal growth and storage-life of peaches (*Prunuspersica*).
- Díaz-Pérez, J.; Bautista, S. y Villanueva, R. (2000). Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology*. 18:67-73.
- Estrada, T. J. (2002). Conservación de fracciones de chicozapote (*Achrassapota*) procesadas minimamente. *Tesis de maestría*. México: Universidad Autónoma Chapingo.





- FDA (2011). La irradiación de alimentos: Lo que usted debe saber. *Food and Drug Administration*. Consultada en noviembre del 2011. Disponible en: www.fda.gov/downloads/Food/ResourcesForYou/Consumers/UCM262298.pdf
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos* (2ª ed.). España: Acribia
- Fernández, A. (1992). Alimentos Irradiados. *Ciencias y sociedad*, VIII (1), 44-51.
- Fruticultura, C. N. (1975). Industrialización del chicozapote. *Folleto*(23) . México.
- García Leaños, M. D. (1982). Selección de tipos criollos de chicozapote (*Achras sapota Lin*). Tesis de licenciatura. México: UNAM.
- Gómez, M. D. (2003). Cambios en la calidad de guayaba (*Psidium guajava L.*) aplicando irradiación como tratamiento cuarentenario. Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Gutiérrez, C. (2009). Proyecto de desarrollo productivo. Cadena de valor frutícola: Análisis del mercado para níspero. Consultada en Junio del 2011. Disponible en: <http://www.epridex.org>
- Guy J. H. (2008). *Doses used for quarantine treatments and effects on fruit quality*. Foro, USA.
- Hagerman, A. E. y Austin, J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *American Chemical Society*. 34: 440-444.
- Hallman, G. (2008). Doses used for quarantine treatments and effects on fruit quality. *Agricultural Research Service* , 101: 42-47.
- Heredia, J. (1997). Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel mercado. *Proc. Interamer* (41), 104-109.
- Herrero, A. y Romero, M (2006). Innovaciones en el procesamiento de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista Médica de la Universidad de Navarra*. 50 (4), 71-74.





- Hussain, P. R.; Meena, R. S.; Dar, M. A. y Wani, A. M. (2008). Studies on enhancing the keeping quality of Peachs (*Prunuspersica* Bausch) Cv. Elberta by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 77, 473-481.
- Hutjens, M. (2003). *Guía de Alimentación* (2ª ed.). USA: Hord's Dairyman Books.
- IAEA. (2008). Trends in radiation sterilization of health care products. Vienna.
- IAIA. (2002). *Thematic Plan for Irradiation as a Sanitary and Phytosanitary Treatment for Food in the New Millenium*
- Ibáñez, F. C. y Barcina, Y. (2001). *Análisis Sensorial de Alimentos: Métodos y Aplicaciones*. Barcelona: Editorial Springer.
- ICA (2006). Instituto Colombiano Agropecuario. Algunas especies de moscas de la fruta, exóticas para Colombia. Consultada en Noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/63d59705-d95a-431d-b68a-a53a5fcf0082/Publicacion-12.aspx>
- Irigoyen J. (2005). Guía técnica del cultivo del níspero. *Programa Nacional de frutas de el Salvador*. Consultada en noviembre del 2010. Disponible en: http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli/453guia_tecnica_cultivo_nispero.pdf
- Kader A. (2005). Zapotes: Chicozapote (sapodila) y Mamey sapote. Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. *Postharvest Technology Research and Information Center*. Consultada en noviembre de 2010. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/files/78338.pdf>
- Kariyama, B. (1990). Studies on maturity standars of "kalipatti" sapota fruits. *Acta Horticulturae* (269).
- Korytkowsky, C.. (1993). Manual de Identificación de moscas de la fruta. Vol. 2. *Universidad de Panamá*. Panamá: 97-158.





- Kim K-H y Yook, H-S, (2009). Effect of gamma irradiation on quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. *Hayward*). *Radiation Physics and Chemistry*. 78, 414-421.
- Lakshminarayana, S. (1980). Proximate characteristics and composition of sapodilla fruits grown in Mexico. *Horticulturae society* (92): 303-305.
- Lee, S. y Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology, Elsevier*, 20, 207-220.
- Lee, T. H.; McGlasson, W. B. y Edwards, R.A. (1967). Effect of gamma radiation on tomato fruit picked at four stages of development. *Radiation botany*. 8, 259-267.
- López, V. y Villaseñor, C (2009). Comportamiento mecánico y respuesta fisiológica de los frutos de chicozapote (*Manilkara sapota* L. P. ROYEN) bajo compresión axial e impacto. Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Lowry, O. H.; Randall, R. J. y N.J. Rosebrough, N. J (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193:265-275.
- Lyons, J. (1990). *Relation of chilling stress to respiration*. USA: CRC Press.
- Marín, M. (2002). Identificación y caracterización de moscas de la fruta en los departamentos del valle de Cauca, Tolima y Quindío. Tesis de Licenciatura. Colombia: Universidad de Caldas.
- Márquez, C.; Otero, C. y Cortés, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Revista Scielo*, 2 (14). Consultada en Junio del 2011. Disponible en: http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0121-40042007000200002&script=sci_arttext&tlng=en
- Maxie, E. C.; Eacks, I. L. y Sommer, N. F. (1964). Some Physiological Effects of Gamma Irradiation on Lemon Fruit. *Radiation Botany*. 4, 405-411.





- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 1254-1255.
- Menéndez, O.; Evangelista, S.; Arenas, M.; Bermúdez, K.; del Villar, A. y Jiménez, A. (2006). Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligalacturonasa durante la maduración del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa* Degener). *Revista Interciencia*, 31, (10), 728-733.
- Miller, E. y Heilman, A. (1952). Ascorbic acid and physiological breakdown in the fruits of the pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). *Science*. 116, 505–506. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/content/116/3019/505.extract>
- Mitchell, G. E.; McLauchlan, R. L.; Isaacs, A. R.; Williams, D. J. Y Nottingham, S. M. (1992). Effect of Low Dose Irradiation on Composition of Tropical Fruits and Vegetables. *Food Composition and Analysis*. 5, 291-311.
- Morris, L. (1982). Chilling injury of horticultural crops: An overview. Consultada en noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/98-021.html>
- Nielsen, S. (2009). *Food Analysis*. (4th ed.). USA: Springer.
- NMX-FF-058-SCFI- 2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Fruta fresca. Mango (*Mangifera indica*). Especificaciones. Norma Mexicana.
- NOM-075-FITO-1997. Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la movilización de frutos hospederos de moscas de la fruta. Norma Oficial Mexicana.
- NOM-033-SSA1-1993. Bienes y servicios. Dosis permitidas en alimentos. Materias primas y aditivos alimentarios. Norma Oficial Mexicana.
- NORMEX (2011). NORMEX de Michoacán A. C.. Organismo de certificación y unidad de verificación en calidad, sanidad e inocuidad agroalimentaria. Consultada en Noviembre del 2011. Disponible en: <http://www.normich.com.mx/irradiacion.html>





- Nuez, F. (1999). El cultivo del tomate. México: Mundi-Prensa.
- Núñez, L.; Gómez, R.; Guarín, G. y León, G. (2004). Moscas de la fruta (Díptera: Tephritidae) y parasitoides asociados con *Psidiumguajava* L. y *Coffeaarabica* L. en tres municipios de la Provincia de Vélez (Santander Colombia). *Revista CORPOICA*. 5(1):234-245.
- Ojeda, M. (2006). Fisiología poscosecha en frutos. *Programa de horticultura*. Consultada en Junio del 2011. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/23578851/Manejo-postcosecha-de-frutas>
- Paull, R. (1990). Chilling injury of crops of tropical and subtropical origen. Estados Unidos: CRC Press.
- Pearson, D (1998). Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. España: Acribia.
- Pérez, J.; Lires, C.; Horak, C.; Powlak, E.; Docters, A. y Kairiyama, E. (2009). Gamma irradiation as a phytosanitary treatment for fresh pome fruits produced in Patagonia. *Radiation Physics and Chemistry*. 78, 647-650.
- Popenone, W. (1974). *Manual of tropical and subtropical fruit culture in Japan: FAO Association*, 1-26.
- Productor, M. d. (1992). *Manual para el Control Integrado de Moscas de la Fruta*. México: Folleto.
- Pulla, P (2010). La operación unitaria de humidificación. Universidad Amazónica de Madre de Dios. Perú. Consultada en Junio del 2011. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos81/operacion-unitaria-humidificacion/operacion-unitaria-humidificacion2.shtml>
- Qiao-ling Xiong, Zeng-tao Xing, ZhiyongFeng, Qi Tanb, Yin-bingBian. (2009). Effect of ^{60}Co γ -irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of *Pleurotusnebrodensis*. *Food Science and Technology*. 42, 157-161.





- Rangel, J. y Alcérreca, M. (2008). La irradiación como tecnología de control fitosanitario. *Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. Simposio: Irradiación como tratamiento fitosanitario de poscosecha, 32.
- Raventós Santamaría, M. (2003). *Industria Alimentaria: Tecnologías emergentes*. España: Editorial Barcelona.
- Rinaldi, R.; Tudela, J. y Gil, M. (2010). 1-Metilciclopropeno frena el deterioro de la calidad en tomate fresco cortado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 243-246. Consultada en noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/67/785/67785.pdf>
- Roca M. y Almela. L. (2004). La irradiación como tratamiento poscosecha. *Revista Horticultura* Junio, 28-33.
- Rodríguez, V. y Magro, E. S. (2008). Bases de la Alimentación Humana. España: Netbiblo.
- Rodríguez-Félix, A.; Fortiz Hernández, J; Villegas Ochoa, M. (2011). Cambios en las enzimas proteolíticas durante la maduración del durazno "Flordaprince". *Revista interciencia*, 36, (1), 65-70.
- SAGARPA (2006). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. México. Consultada en noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- SAGARPA (2007). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Plan de trabajo operativo de irradiación. México. Consultada en noviembre del 2011. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- SAGARPA (2009). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON). México. Consultada en noviembre del 2010. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- SAGARPA (2010). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Autoriza E. U. A. importación de chile manzano y lima dulce de





- México. México. Consultada en noviembre del 2011. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- Salunkhe, B. (1984). "Sapota" in *postharvest biotechnology of fruits*.(Vol. II). Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Sánchez, M. D. (2003). *Cambios en la calidad de la guayaba (Psidium guajava L.) aplicando irradiación como tratamiento cuarentenario*. Tesis de licenciatura. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez, M. T. (2004). *Proceso de Conservación Poscosecha de Productos Vegetales*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Saucedo, C. y Lakshminarayana, S. (1997). Effect of refrigerated temperaturas on the indice of chilling injury and ripening quality of mango fruit proc. Fla. State. *Horticulture Society*. 90, 307-309.
- Segaroti, A.; Di Masi, S. y Gomila, T. (2010). Daño por golpes: Daño mecánico por golpes en manzanas. Consultada en Octubre del 2010. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/altovalle/actividad/investigacion/poscosecha/programa_madurez/pdf/Foll_golpes.pdf
- SERNAC (2004). Irradiación de Alimentos: Información al consumidor sobre el significado del tratamiento con energía ionizante. *Servicio Nacional del Consumidor*. Consultada en noviembre de 2011. Disponible en: www.sernac.cl.
- Singh, S. P. y Pal, R. K. (2009). Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and maintain quality of fresh guava fruit. *Radiation Physics and Chemistry*. 78, 135-140.
- Sousa de Brito, E y Narain, N (2002). Physical and chemical characteristics of sapota fruit at different stages of maturation. *Revista Scielo*, 37 (4): 567-572. Consultada en Junio del 2011. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000400020&script=sci_arttext





- Steck, G. J.; Carroll, L. E. y Celedonio-Hurtado, H. (1990). Methods for identification of *Anastrepha larvae* (Díptera: Tephritidae) and key to 13 especies: Proceedings of the Entomological Society of Washington. 92(2), 333-346.
- Steck, J. (1998). Fruitfly pests: a world assessment of their biologic and management st. Lucie Press. *Delay Beach Florida*. USA. 369-375.
- Vargas, M.; Centurión, A.; Yah, J.; Tamayo Cortéz, J. y Sauri Duch E. (2005). Efecto del almacenamiento a bajas temperaturas sobre la calidad de chicozapote (*Achras zapota*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 7 (1):14-23.
- Vargas, M.; González Novelo, A.; Escamilla Sánchez, J.B. y Tamayo Cortéz J. (2008). Alternativa para la comercialización de chicozapote (*Achras zapota*): Tecnología de los tratamientos mínimos. *Revista Mexicana de Agronegocios* 23: 644-656.
- Wang, C. (1989). Chilling injury of fruits and vegetables. *Food Reviews International*. 5 (2), 209-236.
- Wanni, A. M.; Hussain, P. R.; Meena R. S. y Dar M. A. (2008). Effect of gamma-irradiation and refrigerated storage on the improvement of quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L., Cv. Bartlett/William). *Revista Radiation Physics and Chemistry*. 77, 983-989.
- Watada, A. E. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharves Biology* (15), 201-205
- Zhang, L.; Lu, F.; Lu, Z. y Bie, X. (2006). Effect of γ irradiation on quality-maintaining of fresh-cut lettuce. *Food Control*. 17, 225-228.
- Zolla, C. y Mata, S. (2011). Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana. Consultada en Octubre de 2010. Disponible en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/>

