



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Efecto de la aplicación de tratamientos de irradiación gamma e hidrotérmicos sobre la calidad de mamey (*Pouteria sapota*)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

PUNTOS SÁNCHEZ GERARDO

ASESORES:

DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ.

DR. SERGIO JIMÉNEZ AMBRIZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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**

DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de la aplicación de tratamientos de irradiación gamma e hidrotérmicos sobre la calidad de mamey (Pouteria sapota).

Que presenta el pasante: **Gerardo Puntos Sánchez**
Con número de cuenta: **411022064** para obtener el Título de la carrera: Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Agosto de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Clara Inés Álvarez Manrique	
VOCAL	Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
2do. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga

"Gran parte de las dificultades por las que atraviesa el mundo se deben a que los ignorantes están completamente seguros y los inteligentes llenos de dudas".

Bertrand Arthur William Russell

Dedicatorias

A mi padre: Esteban Puntos, que a pesar de todos los problemas que te pude ocasionar, me apoyaste hasta el final, sin ti la culminación de mi carrera no podría haber sido posible. Este logro no es solamente mío, sino también tuyo. Gracias.

A mi madre: M. Teresa Sánchez, que con su gran ímpetu y preocupación por mi futuro sembró en mí la idea que me impulsaría a buscar algo más allá del horizonte. Gracias por darme ese primer empujón.

A mi abuelo Crescencio Sánchez, perdona por todas las horas que no pase a tu lado, pero me gusta pensar que alguien que defendió a la educación, a sabientes de ésta como herramienta de superación de generaciones venideras, entendería el porqué del sacrificio. Que Dios te tenga en su gloria.

A mi abuela Guadalupe Sánchez, por su cocina, ternura y regaños. Por creer y preocuparse por mí.

A mi abuelo Antonio Puntos, todas las historias que compartió conmigo fueron palabras llenas de experiencia y fantasía que ayudaron a formar mi carácter.

A mi abuela Cesaría López, por siempre tratarme con cariño y ver que, cuando los visitaba, llenarse de alegría

Agradecimientos

- A Dios, por darme la oportunidad de vivir una experiencia tan única en la vida, desarrollarme como ingeniero en alimentos.
- A la UNAM que por medio de sus instalaciones y profesores me ha formado como un ingeniero en alimentos capaz de superar cualquier obstáculo. De igual manera me ha dotado de piel dorada y sangre azul.
- A la FESC por ser el pilar angular de mi educación, ser mi segunda casa y darme el gusto de conocer a mis amigos y profesores que estimo. Te recordare con cariño y ayudare si me es posible. Sigue grande.
- A mis padres. Jamás podría pagarles lo que han hecho por mí, no me alcanzaría esta vida para poder retribuirles, solo puedo decirles desde el fondo de mi corazón que: Gracias, sin ustedes no lo hubiera podido lograr.
- A la Doctora Andrea Trejo. Gracias por su paciencia y apoyo, pero primordialmente por su guía para que este trabajo fuera completado y así ayudarme a dar el último paso de mi formación.
- Al Doctor Jiménez, que con su apoyo y conocimiento se fortaleció el contenido de este trabajo.
- A mis sinodales: Dra. Clara Inés Álvarez, Q.F.B Martha Patricia Zúñiga, Dra. Carolina Moreno y M. en C. Araceli Ulloa. Por su correcciones que fortalecieron este trabajo.
- A la Maestra en Ciencias Selene Pascual, por su guía durante la experimentación así como por su amistad.
- A mi querida hermana Diana, trate de ser lo mejor que pude porque sabía que siendo tu hermano mayor tenía la responsabilidad de hacerte ver que, si yo pude ser bueno, tu puedes ser mejor.
- A Erika Pérez, gracias por dejarme ser tu compañero en este tramo de tu vida y a la vez por ser mi compañera en esta travesía, pasando desvelos a mi lado, ayudándome cuando podías. Siempre serás la persona con la que más me gusto trabajar. Por tu amor y cariño.
- A mis queridos amigos que tuve el gusto de conocer en la FESC que compartieron conmigo una experiencia tan grata como lo fue nuestra formación. Un especial agradecimiento a Chucho, Richardo, Jessy francesa, Quiquiz y Carlita; gracias por brindarme su amistad. Espero que el éxito abunde en nuestras vidas.

A mis queridos compañeros del taller de postcosecha, pero en especial a Ángeles Sebastián por brindarme tú amistad y hacerme más amena mi experimentación

A mi servicio social Jessica Semiramis, gracias por tu amistad y apoyo durante la experimentación de esta tesis

A la señora Gloria Guerrero Reyes que después del horrible pero necesario tropiezo en mi vida, abogo por mí, incluso cuando mi sangre dudaba de mí, sin usted tal vez ahora mi vida no tendría sentido ni dirección.

A mi segunda secundaria, Junípero Serra, que me demostró que la fama no siempre es reflejo de la verdadera calidad y un especial agradecimiento a mi profesor Pedro, gracias por inculcarme el amor a las ciencias de Física y Química, que fueron por las cuales decidí convertirme en Ingeniero.

A la Doctora Andrea, Selene, Erika y Laura Santana, por compartir conmigo la experiencia de viajar conmigo a un congreso en Cuba, recordare por siempre que: “México lindo y querido”



Índice General

ÍNDICE:	Páginas
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	I
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Origen del mamey	4
2.2 Taxonomía y morfología del fruto	4
2.3 Variedades y estacionalidad	5
2.4 Composición química	9
2.5 Importancia económica	12
2.6 Pérdidas postcosecha	13
2.6.1 Enfermedades y plagas	13
2.6.1.1 Mosca del mamey, <i>Anastrepha serpentina</i> (Wiedemann)	16
2.6.2 Daños por frío	18
2.6.3 Daños mecánicos	18
2.7 Tratamientos postcosecha	19
2.7.1 Tratamientos para la conservación del mamey	20
2.7.2 Tratamientos térmicos	20
2.7.3 Irradiación	24
2.7.3.1 Historia y clasificación de la irradiación	25
2.7.3.2 Dosis de irradiación para tratamientos a alimentos	29
2.7.3.3 Cambios provocados por la irradiación	29
2.7.3.4 Ventajas y desventajas del método	32
2.7.3.5 Normas para la comercialización extranjera	33
3. OBJETIVOS	37
3.1 Objetivo General	38
3.1.1 Objetivos particulares	38
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	39
4.1 Cuadro metodológico	40



4.2 Material biológico	41
4.3 Selección de la materia prima	41
4.4 Reproducción de la mosca <i>anastrepha serpentina</i>	41
4.5 Tratamiento hidrotérmico	42
4.6 Tratamiento gamma	45
4.7 Técnicas analíticas	45
4.7.1 Parámetros químicos	45
4.7.1.1 Carbohidratos.....	45
4.7.1.2 Contenido de carotenos.....	46
4.7.2 Parámetros de calidad	46
4.7.2.1 Pérdida de peso	46
4.7.2.2 Firmeza	46
4.7.2.3 Sólidos solubles	47
4.7.2.4 Acidez titulable y pH	48
4.7.2.5 Color	49
4.7.3 Parámetros fisiológicos	49
4.7.3.1 Intensidad respiratoria	49
4.8 Análisis estadístico.....	50
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1 Efectos de los tratamientos hidrotérmicos en los parámetros de calidad, fisiológicos y químicos del mamey	52
5.1.1 Parámetros de calidad	52
5.1.1.1 Firmeza	52
5.1.1.2 Color	55
5.1.1.3 Pérdida de peso	61
5.1.1.4 pH	63
5.1.1.5 Acidez	65
5.1.1.6 Sólidos solubles	67
5.1.2 Parámetros fisiológicos	70
5.1.2.1 Intensidad de respiración	70
5.1.3 Parámetros químicos	73



5.1.3.1 Contenido de carotenoides	73
5.1.4 Seguimiento visual del tratamiento hidrotérmico	75
5.1.5 Efectos del tratamiento térmico en el control de la mosca de la fruta	77
5.2 Efectos de los tratamientos de irradiación gamma en los parámetros de calidad, fisiológicos y químicos del mamey	78
5.2.1 Parámetros de calidad	78
5.2.1.1 Firmeza	78
5.2.1.2 Color	80
5.2.1.3 Pérdida de peso	86
5.2.1.4 pH	88
5.2.1.5 Acidez	89
5.2.1.6 Sólidos solubles	91
5.2.2 Parámetros fisiológicos	92
5.2.2.1 Intensidad de respiración	92
5.2.3 Parámetros químicos	94
5.2.3.1 Contenido de carotenos.....	94
5.2.4 Seguimiento visual del tratamiento de irradiación gamma	96
5.2.5 Efectos del tratamiento de irradiación gamma en el control de la mosca de la fruta	98
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS	102

**Índice de Figura**

Índice de Figuras	iv
Figura 1. Fruto mamey (<i>Pouteria sapota</i>); semilla, color de pulpa y cáscara	5
Figura 2. Mamey <i>Pouteria campechiana</i> ; color de pulpa, semilla y cáscara	6
Figura 3. Mamey <i>Pouteria viridis</i> ; semilla, cáscara y pulpa	7
Figura 4. Mamey <i>Mammea americana</i> L.; cáscara, pulpa y semilla	8
Figura 5. Mamey <i>Manilkara zapota</i> ; pulpa, cáscara y semilla	8
Figura 6. Estructura del licopeno. Numeración de los carbonos en los carotenos	12
Figura 7. Producción porcentual de mamey en México	14
Figura 8. Mosca <i>Anastrepha serpentina</i> , (a) hembra adulta, (b) ovopositor.....	17
Figura 9. Espectro electromagnético	24
Figura 10. Penetración de algunos tipos de radiación	26
Figura 11. Diagrama de una planta productora de radiación gamma.....	28
Figura 12. Reacción química en la radiólisis.....	28
Figura 13. (a) Símbolo de alimentos irradiados (b) ejemplo a granel	35
Figura 14. Material biológico: Mamey <i>Pouteria sapota</i>	41
Figura 15. Jaula de madera, comida para la mosca y mameyes infectados.....	42
Figura 16. Arreglo de termopares para pruebas preliminares	43
Figura 17. Lotes formados para los tratamientos térmicos.....	43
Figura 18. (a) Baño maría, (b) panel	44
Figura 19. (a) Tratamiento hidrotérmico, (b) Enfriamiento con agua a ± 21 °C	44
Figura 20. Mameyes listos para ser irradiados	45
Figura 21. Espectrofotómetro Thermo Spectronic (Genesys 10 UV) usado para la determinación de carotenos	47
Figura 22. Penetrómetro usado para determinar firmeza	47



Figura 23.	Refractómetro digital (Atago Pal-BX/RI).....	48
Figura 24.	(a) Titulación ácido – base para determinar acidez y medición, (b) potenciómetro digital portátil para determinar pH	48
Figura 25.	Colorímetro Konica Minolta modelo CM – 600D y medición.....	49
Figura 26.	Analizador de gases y forma de medir el CO ₂ producido.....	50
Figura 27.	Firmeza de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.....	54
Figura 28.	Luminosidad de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.....	56
Figura 29.	Tono ($^{\circ}$ Hue) de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.....	58
Figura 30.	Cromaticidad de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	60
Figura 31.	Pérdida de peso para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	62
Figura 32.	Cambio en el pH de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	65
Figura 33.	Acidez titulable de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	66
Figura 34.	Sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	69
Figura 35.	Intensidad respiratoria para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post–tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	71



Figura 36.	Contenido de carotenoides para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	74
Figura 37.	Seguimiento visual a mameyes sometidos a tratamientos hidrotérmicos	76
Figura 38.	Pupas totales de la primera colonia de <i>anastrepha serpentina</i>	77
Figura 39.	Firmeza para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de radiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	79
Figura 40.	Luminosidad de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de radiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	81
Figura 41.	Tono ($^{\circ}$ Hue) de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	83
Figura 42.	Cromaticidad para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	85
Figura 43.	Pérdida de peso para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	87
Figura 44.	Cambios en pH de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	89
Figura 45.	Cambio de ácido ascórbico para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	90
Figura 46.	Cambios en sólidos solubles para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	92
Figura 47.	Intensidad respiratoria de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	93



Figura 48.	Contenido de carotenoides para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar	95
Figura 49.	Seguimiento visual a mameyes sometidos a tratamiento gamma	97
Figura 50.	Infestación natural de mameyes irradiados	98



Índice de tablas

Índice de Tablas	viii
Tabla 1. Clasificación taxonómica del mamey.....	6
Tabla 2. Datos bibliográficos de la temporada de mamey	9
Tabla 3. Valor nutritivo por 100 g de mamey.....	10
Tabla 4. Enfermedades y plagas del mamey	15
Tabla 5. Tratamientos postcosecha aplicados al mamey	21
Tabla 6. Productos alimenticios y dosis de irradiación permitidas en OMS y varios países	30
Tabla 7. Dosis de irradiación gamma propuestas por FDA para diversos usos	34



Resumen





RESUMEN

El mamey es un fruto tropical, originario de la parte sur de México y parte de Centroamérica, su consumo es típico en México y tiene un gran potencial económico; es altamente perecedero y tiene problemas fitosanitarios, por lo que el objetivo del presente trabajo es evaluar los efectos de los tratamientos de irradiación gamma e hidrotérmico sobre la calidad del mamey para alargar la vida útil y cumplir requisitos fitosanitarios de exportación.

Los frutos fueron sometidos a temperatura de 40 °C por 120 y 150 minutos, y a 55 °C por 60 y 90 minutos, así como un lote de control, posteriormente fueron almacenados a 13 °C durante 20 días. También fue evaluado el tratamiento de irradiación gamma, donde mameyes fueron sometidos a dosis de 300 y 1000 Gy, y un lote de control; se almacenaron a 13 °C durante 20 días. Los parámetros de calidad (firmeza, color interno, porcentaje de pérdida de peso, pH, Acidez, sólidos solubles), fisiológicos (intensidad respiratoria) y químicos (contenido de carotenos) fueron evaluados.

El tratamiento hidrotérmico a 55 °C durante 90 minutos demostró ser perjudicial para el mamey, ya que provocó daños en la maduración y posterior senescencia del fruto, esto se vio reflejado principalmente en los parámetros de firmeza, color, intensidad respiratoria y pérdida de peso, donde esta condición afectó los valores presentados de estos parámetros. De igual manera se observaron lesiones en la pulpa del mamey a 55 °C, documentadas en el seguimiento visual. En cambio a temperatura de 40 °C, en ambos tiempos, se observó que no afectó parámetros como: firmeza, pérdida de peso, acidez, sólidos solubles, respiración y color. Por su parte, el tratamiento de irradiación gamma, tanto en sus dosis de 300 y 1000 Gy demostró no tener afectación alguna en los parámetros evaluados como: firmeza, color, acidez, pH, sólidos solubles, sin embargo, los parámetros de pérdida de peso y la intensidad respiratoria se vieron afectados conforme aumento la dosis de irradiación gamma. En el seguimiento visual no se observó daños provocados al mamey. Desafortunadamente tanto el tratamiento hidrotérmico como el de irradiación gamma demostraron tener afectaciones al contenido de carotenos, a pesar de esto, el tratamiento hidrotérmico demostró tener una afectación menor en el parámetro.



Introducción





1. INTRODUCCIÓN

El mamey (*Pouteria sapota*) es el fruto de un árbol originario del Sur de México (SAGARPA–SIAP, 2014a). El valor nutritivo del mamey es elevado, considerando la cantidad alta de calorías que puede aportar y la cantidad de proteínas y tipo de aminoácidos (Pérez, 2003). Sin embargo, este fruto no proyecta una producción rentable, ya que se siembran solamente 1,651.68 hectáreas en México, con una ganancia de 63,632.45 pesos (SAGARPA–SIAP, 2014b). Comparados con otros frutos, el mamey no deja una entrada económica tan sustancial, esto puede deberse a varios factores, como su falta de comercialización debido a su problema principal fitosanitario y ocasionado por la mosca de la fruta *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (SAGARPA, 2010). Estas pérdidas han obligado a desarrollar formas para controlar estos tipos de problemas fitosanitarios, por medio de los tratamientos cuarentenarios que tienen como objetivo primordial el control total de las posibles plagas en el producto, sin dañar significativamente su calidad (Valderrama y col., 2005). Una de estas tecnologías postcosecha es la radiación ionizante a dosis moderadas que han mostrado ser eficaces como tratamiento cuarentenario contra plagas, prolongando en general la vida útil de los frutos (Rojas y col., 2007). Gómez y Hernández (2009) lograron aumentar considerablemente la mortalidad del estado larvario de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* a dosis de 150 y 300 Gy. Mientras que los tratamientos térmicos tienen como principal objetivo el control de la plaga al ocasionar cambios en el metabolismo, respiración e incluso en el sistema nervioso del insecto, estos tratamientos son frecuentemente utilizados como métodos cuarentenarios porque han demostrado altos niveles de eficacia (González y López Malo, 2014). Ariza – Flores y col. (2009) lograron el control de la mosca *A. serpentina* con aire caliente a condiciones de 43 °C durante 120 minutos. Con base a lo expuesto anteriormente este trabajo tiene el propósito de evaluar los cambios que se producen en el mamey al ser sometidos a radiación gamma y al tratamiento hidrotérmico a diferentes condiciones para así poder determinar cuál de éstas operaciones es la más viable al no dañar al fruto o en su caso, que ayude a mantener sus características de calidad durante más tiempo y así proponer el tratamiento efectivo a los productores y comercializadores de este fruto para así disminuir las pérdidas postcosecha aumentando la comercialización.



Antecedentes





2. ANTECEDENTES

2.1 Origen del mamey

El mamey es el fruto de un árbol originario del Sur de México y zona centroamericana. Se consume por igual fresco, como fruta de temporada, y en la industria, que elabora conservas, mermeladas y helados. Se trata de un fruto ovoide, de unos 15 centímetros de diámetro. La corteza es café claro con tonalidades rosas con textura rugosa y delgada; se desprende con facilidad. La pulpa es color salmón, muy dulce, y las flores son blancas de tamaño pequeño (SAGARPA – SIAP, 2014a).

El mamey, es un fruto de clima tropical de las regiones cálidas y húmedas de México. Se considera originario de las selvas del sur de México y de América Central dada la densidad de los tipos criollos que ahí se localizan, después se diseminó a toda la América tropical y a las Antillas. Actualmente se le encuentra en México, Centroamérica, las Antillas, Sudamérica, Filipinas, Cuba y Florida. Fue registrado cerca de Darién, Panamá, en 1514; en 1529 se incluyó por Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés (1478 – 1557) en su revisión de los frutos del Nuevo Mundo (Produce de Guerrero, 2012).

El mamey es uno de los árboles frutales más bellos de los trópicos americanos, vive en las regiones cálidas y húmedas de México y varias islas de las Antillas, se le ha observado en Centros América, Filipinas, Cuba, Costa Rica, Florida, Ecuador, Colombia y Venezuela (Marbella, 1998). El árbol también es una especie muy apreciada por su porte; con su madera pueden fabricarse muchos utensilios (SAGARPA–SIAP, 2014). De esta forma, también existen varias especies de zapotes que conviven con el mamey en diferentes regiones, es pertinente describir las características del mamey para no confundirlo con otro zapote.

2.2 Taxonomía y morfología del fruto

Los frutos pueden ser redondos o elípticos, de hasta 20 cm de largo pudiendo sobrepasar los 2 kg de peso. La cáscara es de color marrón, áspera, gruesa y coriácea, tiene pulpa abundante rojiza (Hernández y Fernández, 2013). La pulpa es cremosa y dulce, de color salmón rojizo, como se puede apreciar en la Figura 1, y se consume en fresco



mayoritariamente. Normalmente tiene una semilla, aunque se ha presentado pocos casos de dos semillas y muchas más raramente tres semillas, de color negro lisa y brillante de 10 cm de largo, y en forma de huso, con una notoria banda blanca o amarilla (Marbella, 1998).



Figura 1: Fruto mamey (*Pouteria sapota*); semilla, color de pulpa y cáscara.
Fuente: International Centre for Underutilized Crops (2005).

El fruto es muy apreciado por su sabor y existen diversas variedades de éste, el *Pouteria sapota* (el mamey comúnmente conocido) es la especie más relevante, en la tabla 1 se presenta la taxonomía de este mamey. A su vez se pueden encontrar otras especies conviviendo con el mamey, las cuales a pesar de que sean consumidas, no cuentan con un reconocimiento por parte de los consumidores ajenos de la región donde se encuentran, pero es importante mencionar algunas de ellas para denotar las diferencias entre éstas y el *Pouteria sapota*.

2.3 Variedades y estacionalidad

- *Pouteria campechiana*:

Las flores son perfectas, de color blanco – verdoso, pequeñas y dispuestas individualmente o en grupos de 2 ó 3 en las axilas de las hojas. Aparecen durante los meses de primavera y principios de verano. La polinización es realizada por insectos. Los frutos tienen formas varias, ovoides, redondeados y en forma de huso, comúnmente con el ápice puntiagudo. Su longitud es de 5 a 15 cm. La piel es delgada y al igual que se ve en la figura 2, el color es amarillo anaranjado con tonalidades verdes, mientras que la pulpa es de color amarilla, relativamente seca al gusto, de textura harinosa y algo untuosa, recordando a la



yema de un huevo cocido, de sabor dulce y particular. Tiene de 1 a 3 semillas ovoides, con un tamaño de 1.5 a 2.5 cm de color marrón brillante (Hernández y Fernández, 2009).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mamey

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Ericales
Familia	Sapotaceae
Género	<i>Pouteria</i>
Especie	<i>P. sapota</i>
Nombre científico	<i>Pouteria sapota</i>

Fuente: SAGARPA (2012)



Figura 2. Mamey *Pouteria campechiana*; color de pulpa, semilla y cáscara
Fuente: Fruitipedia (2016)



- *Pouteria viridis*:

El fruto varía desde casi redondo a ovalado, agudo en el ápice y, a veces en la base, puede ser de 9 a 12.5 cm de largo y de 6.25 a 7.5 cm de grueso, con la piel fina, de color verde olivo o verde-amarillo salpicado de rojo-marrón y se aferra con fuerza a la pulpa. La pulpa como se muestra en la Figura 3, es de color rojizo, de textura fina, pastosa, bastante jugosa y dulce, de mejor sabor que el zapote. Puede tener 1 o 2 semillas de color marrón oscuro, brillantes, elípticas o aovadas de 2 pulgadas (5 cm) de largo, con un gran hilo mate gris en una superficie (Sabelotodo, 1999).



Figura 3. Mamey *Pouteria viridis*; semilla, cáscara y pulpa
Fuente: Pine Island Nursery (2011)

- *Mammea americana* L.:

Las flores son blancas y fragantes y de 2 a 3 cm de ancho. Crecen ya sea como flores solitarias o en agrupaciones en las axilas de las ramas jóvenes. En las Indias Occidentales, la florecencia ocurre entre mayo y octubre, pero la fruta tarda más de un año para madurar. Las frutas son redondas, de 8 a 15 cm de diámetro (Figura 4) y pueden tener un peso de entre 0.5 a 2.0 kg, madurando entre julio y febrero. Dentro de la pulpa de consistencia firme y color anaranjado se pueden encontrar de una a 4 semillas de tamaño grande. Varía entre firme a crujiente, a veces de seca a blanda, y jugosa, su sabor recuerda a las frutillas como la frambuesa (Francis, 1989).



Figura 4. Mamey *Mammea americana* L.; cáscara, pulpa y semilla
Fuente: PROTA4U (2007)

- *Manilkara zapota*:

Bayas de 5 a 10 cm de diámetro con el cáliz y estilo persistentes, cáscara morena y áspera (Figura 5); endocarpio carnoso y jugoso, muy dulce. Los frutos inmaduros tienen cierta cantidad de látex en su interior. El fruto contiene normalmente 5 semillas (CONABIO, 2016)



Figura 5. Mamey *Manilkara zapota*; pulpa, cáscara y semilla
Fuente: USDA (2016)

México por su estratégica situación geográfica es un importante productor de frutas tanto tropicales, subtropicales como de clima templado y frío. La riqueza de contar con estos climas y microclimas, hace posible que se puedan cultivar especies tan diferentes



como la manzana hasta el Mamey, pasando por las frutillas, plátano, piña y además presenta gran potencial frutícola (Produce de Guerrero, 2012).

El Mamey se recolecta todo el año aunque la producción por estación sólo es de algunos meses (SAGARPA, 2012). Durante estos meses es cuando usualmente se da la comercialización al resto de la república. Mientras que SAGARPA (2012) reporta una cosecha entre los meses de Abril a Julio, ICUC (International Centre for Underutilized Crops) reporta producción de abril hasta septiembre, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Datos bibliográficos de la temporada de mamey

Tipo de fruta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
SAGARPA												
ICUC												

Fuente: SAGARPA (2012); ICUC (2005)

El mamey es un fruto muy apreciado por su sabor, es por esto que en las temporadas de comercialización el consumo es elevado entre la población, pero también posee excelentes características nutricionales que pueden hacerlo aún más atractivo, por esto es importante explorar dichas propiedades para fomentar su comercio.

2.4 Composición química

Se tiene por tradición popular que el mamey posee propiedades curativas. En revisiones de algunos códigos, en la literatura sobre plantas medicinales y a través de la tradición oral, se atribuyen al mamey múltiples propiedades que caen en el margen de la curación. El uso más frecuente es el que se da al aceite extraído de la semilla para embellecer el cabello, tratar la caspa y evitar la caída del mismo; se aplica igualmente para realzar el color de algunas maderas. Este mismo también sirve contra afecciones de corazón, riñón, vejiga y cálculos renales. El tratamiento consiste en hervir la semilla para realizar una infusión y beberla como té (Marbella, 1998).



Las especies de *Pouteria* son muy apreciadas por los multipropósitos utilizados en la alimentación humana, como producto industrial, como plantas medicinales o como madera. La pulpa es la fracción comestible, y en la actualidad se consume en: estado natural o en alimentos procesados como helados, yogurt, conservas, pasteles, jugos refrescos, dulces, mermeladas o como pulpa deshidratada (DESCA, 2007). El valor nutritivo del mamey es bueno, considerando las calorías que puede aportar por su alto contenido de azúcares y sus cantidad de proteínas, como se puede ver en la tabla 3, incluye aminoácidos que contribuyen a la alimentación humana (Pérez, 2003).

Tabla 3. Valor nutritivo por 100 g de mamey

Contenido	Cantidad
Energía	114.5 Calorías
Humedad	55.3 – 73.1 g
Proteína	0.188 – 1.97 g
Grasa	0.09 – 0.25 g
Carbohidratos	1.41 – 29.7 g
Fibra	1.21 – 3.20 g
Ceniza	0.89 – 1.32 g
Fósforo	22.9 – 33.1 mg
Hierro	0.52 – 2.62 g
Caroteno	0.045 – 0.665 mg
Tiramina	0.002 – 0.025 mg
Riboflavina	0.006 – 0.46 mg
Niacina	1.574 – 2.580 mg
Ácido ascórbico	8.8 – 40 mg
Tryptofano	19 mg
Methionina	12 mg
Lisina	90 mg

Fuente: DESCA (2007)



- **Carotenoides:**

Existen más de 600 especies moleculares de carotenos de origen natural caracterizados que pertenecen a esta clase de pigmentos esenciales. La biosíntesis de carotenoides se produce en especies moleculares que pertenecen a esta clase de pigmentos esenciales. La biosíntesis de carotenoides se produce sólo en bacterias, hongos y plantas donde cumplen funciones establecidas que incluye en su papel como antena en las proteínas captadoras de luz de la fotosíntesis, su capacidad para regular la conversión de energía de la luz en la fotosíntesis, su capacidad para proteger la plantas de especies de reactivos de oxígeno y la coloración. Si estas fueran las únicas funciones/propiedades conocidas de los carotenos en la naturaleza, sería suficiente; pero estas moléculas son también parte del conjunto de funciones/acciones diversas. En los seres humanos, algunos carotenoides (los carotenoides provitamina A) son los más conocidos para la conversión enzimática en vitamina A; enfermedades resultantes de la deficiencia de vitamina A sigue siendo uno de los retos nutricionales más importantes en todo el mundo. Los carotenoides cumplen una serie de otras funciones en el reino animal, incluyendo en la coloración del plumaje de las aves, que ahora se ha reconocido que juega un papel importante en la selección de las parejas. En humanos, el papel que los carotenoides desempeñan en la protección de los tejidos que están más fuertemente expuestos a la luz (fotoprotección de la piel, protección de la retina central) es tal vez más evidente, mientras que otros papeles potenciales para los carotenoides en las prevenciones de enfermedades crónicas son todavía investigados. Debido a que los carotenoides son ampliamente consumidos y su consumo es una conducta de salud modificable (a través de dietas o suplementos), beneficios de salud para la prevención de enfermedades crónicas, podría ser muy importante para la salud pública (Landrum, 2010).

Están formados básicamente por ocho unidades de isopreno, de tal forma que la unión de cada unidad se invierte en el centro de la molécula, figura 6. Como resultado de ello, los dos grupos metilo centrales de la cadena de polieno están separados por seis átomos de carbono, mientras que el resto lo están por cinco. Parece ser que a partir del licopeno todos los demás carotenoides se pueden considerar formalmente derivados, ya sea por hidroxilación, ciclación u oxidación, o bien por combinación de estas



reacciones. La numeración de los carbonos en los carotenoides van de los extremos hacia el centro, del 1 al 15 y del 1' al 15', siendo la numeración de los metilos del 16 al 20 y del 16' al 20' respectivamente (Mínguez, 1993)

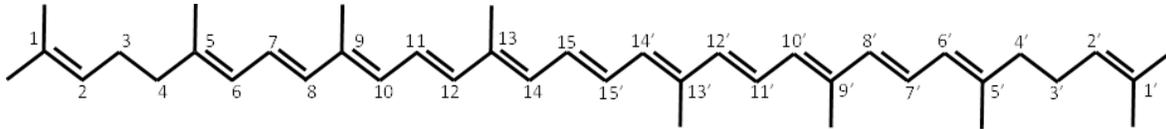


Figura 6. Estructura del licopeno. Numeración de los carbonos en los carotenos

La pulpa de la fruta del mamey presenta un color amarillo pálido que cambia a anaranjado o rojo en las frutas maduras. El color anaranjado en el mamey maduro se debe a las altas concentraciones de carotenoides (130 mg/kg), el β – caroteno es el más abundante, con una concentración del 94 % de los carotenoides totales presentes en este fruto (Yahia y Gutiérrez-Orozco, 2011). Estas propiedades, como en todo fruto, pueden cambiar por las condiciones en las que se almacena el producto o por la vida que este pueda tener después de ser cosechado. Para entender un poco más de esta problemática es imperativo hablar de la producción de este y su relevancia como fruto económicamente.

2.5 Importancia económica

El Mamey ha recibido poca atención en el mercado internacional. A pesar de esto hay un alto potencial de comercialización en regiones donde este fruto es considerado exótico, con un alto nivel de carotenos in la pulpa, que lo hacen atractivo, nutricionalmente hablando. Los productos comerciales de *Pouteria sapota* son muy poco comunes pero algunos pueden ser encontrados en México (Puebla, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo). México es el mayor productor de este fruto, pero otro gran productor es Guatemala, con un nivel que alcanzó las 50000 toneladas en 1997 y exportó a Estados Unidos 549 toneladas en 1999. El mamey ha sido introducido a áreas como Colombia, Venezuela, Filipinas, Cuba, República Dominicana, Malaysia, Hawái, Florida y Puerto Rico (Yahia y Gutiérrez-Orozco, 2011).

El zapote mamey tiene potencial como fruta fresca y procesada. La producción es principalmente para el consumo local, aunque la demanda va en aumento en cuanto a productos procesados en el mercado de Estados Unidos y Europa (ICUC, 2005).



Actualmente cuenta con 63 especies de frutas comercializadas y 220 especies con potencial, de las cuales está documentada su utilidad. La investigación de los recursos fito genéticos se ha convertido en una prioridad científica, sobre todo de aquellos poco estudiados y con potencial comercial (Produce de Guerrero. 2012).

Las estadísticas ubican a México como el principal productor de zapote Mamey en el mundo. Yucatán, Chiapas, Guerrero y Tabasco concentran más del 78% de la producción nacional. Como se puede apreciar en la figura 7 la producción de mamey se extiende por gran parte de la República, pero no representan una producción sustancial. La producción de frutos de zapote Mamey es destinada principalmente para consumo nacional en los países productores. Sin embargo, tiene potencial para exportación como producto procesado (pulpa congelada, deshidratado o deshidratado congelado). Sin embargo, tan sólo exportamos en promedio, cerca del 6% de la producción total (SAGARPA, 2012). Estas deficiencias de comercialización se deben mayoritariamente a las pérdidas postcosecha generadas por diversos factores.

2.6 Pérdidas Postcosecha

Cuando los frutos se cosechan con propósitos comerciales deben recogerse cuando la pulpa comienza a tornarse rosada, pero para usos caseros debería esperarse a que esté rojiza. El fruto madurará en un período de unos pocos días a una semana, si se recoge apropiadamente. Los frutos cosechados deben colocarse a la sombra en donde se les permite madurar en forma natural, lo que tarda no más de una semana (Produce de Guerrero, 2012). Es importante tener en consideración el buen manejo postcosecha de este fruto ya que la pérdidas postcosecha no sólo se dan por un mal manejo de éste, sino también por otros factores.

2.6.1 Enfermedades y plagas

La producción se ha visto afectada por una corta vida de anaquel, daños por frío y ataque de plaga y enfermedades. Entre la plagas está la mosca de los zapotes *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) que ocasiona una reducción de calidad de los frutos y causa pérdidas hasta del 80% de la producción (Hernández–Ortiz, 1992). Esta



plaga está en cuarentena por los países importadores de frutos, así como de los estados de la República que se encuentran libres del insecto (NOM-023-FITO-1995).

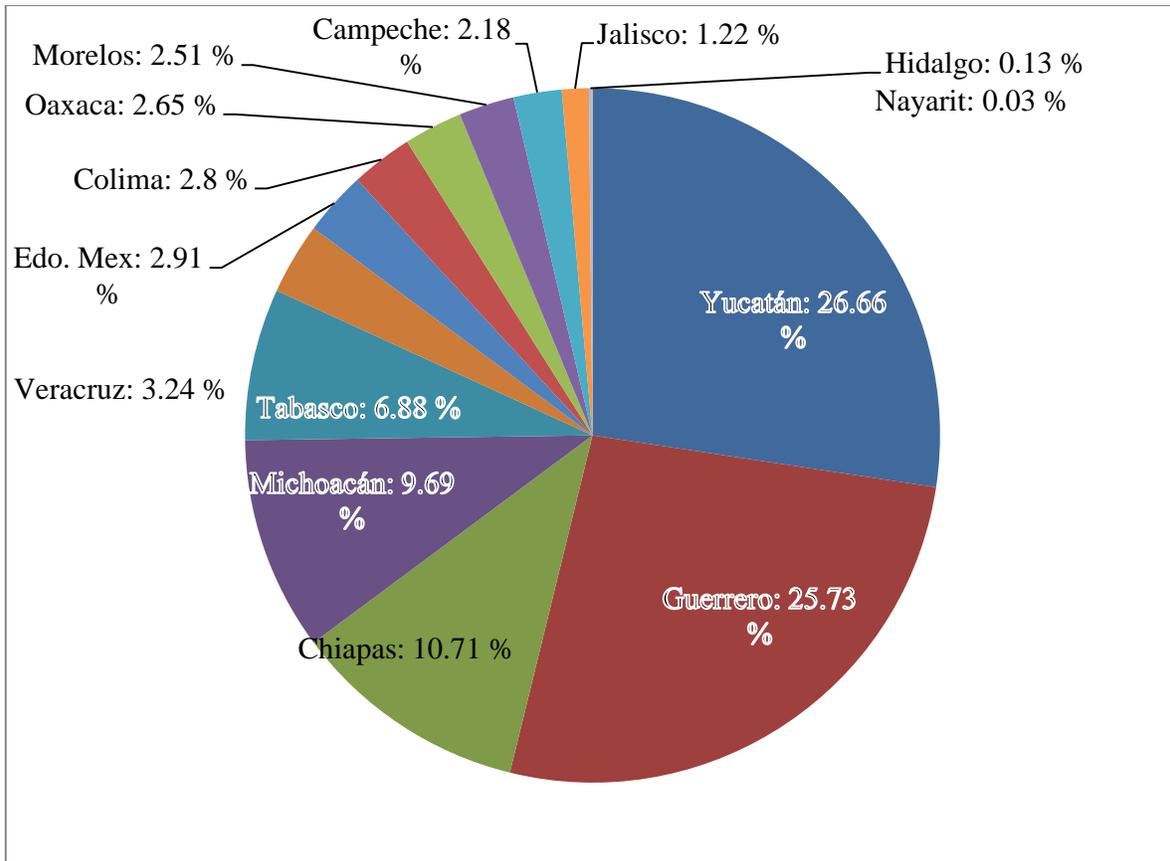


Figura 7. Producción porcentual de mamey en México
Fuente: SAGARPA (2012)

La mayoría de las enfermedades y plagas que afectan al zapote Mamey no causan daño de gran magnitud. Se considera que esta situación puede cambiar cuando se tengan plantaciones grandes y uniformes, condición en la cual se debe poner más atención a las plagas y enfermedades (Produce de Guerrero, 2012). Algunas enfermedades y plagas que afectan al Mamey se muestran a continuación en la tabla 4, exceptuando a la mosca de la fruta *Anastrepha serpentina*, de la cual se abordará de manera particular más adelante debido a su relevancia en este trabajo.



Tabla 4: Enfermedades y plagas del mamey.

	Nombre	Descripción	Imagen
Enfermedad	<i>Pseudolocaspis pentagona</i>	Atacan primordialmente a los tejidos jóvenes, le da una apariencia escamosa al árbol. No es una enfermedad específica del Mamey.	
	<i>Glomerella cinguata</i>	Este tipo de antracnosis, es común en el árbol del zapote mamey. En las flores se forman lesiones oscuras que provocan su muerte, por lo que dificulta la producción. Los frutos tiernos infectados se descomponen y momifican en el árbol. Las hojas forman lesiones de color verde.	-----
	<i>Phyllosticta sapotae</i>	Se presentan manchas pálidas en las hojas que se tornan grises en el centro.	
	<i>Uredo sapotae</i>	Aparecen pústulas en la cara inferior de las hojas, produciendo enrollamiento y que esta se seque.	
Plaga	<i>Diaprepes abbreviatus</i>	Normalmente conocido como el barrenador de la caña de azúcar, es una plaga importante debido a que los adultos se alimentan de las hojas y las larvas de las raíces, pudiendo producir la muerte del árbol.	
	<i>Tetranychus bimaculatus</i>	Coloquialmente nombrado, la araña roja, puede dañar las hojas, que presentan un color rojizo entre las venas, muy característico de esta enfermedad, y más tarde se presentan hojas más rugosas.	
	<i>Nasutitemis costalis</i>	Es una especie de termita que, como mayoritariamente a las de su especie, se alimenta de la madera del árbol, llegando a producir la muerte.	

Fuente: International Centre for Underutilized Crops (2005)



2.6.1.1 Mosca del mamey, *Anastrepha serpentina* (Wiedemann)

En el orden Díptera, Familia Tephritidae, a la cual pertenece la mosca de la fruta, comprende aproximadamente 4000 especies distribuidas en áreas tropicales y subtropicales. Las conocidas como las moscas de la fruta pertenecen a diversos géneros entre los cuales *Dacus*, *Rhagoletis*, *Ceratitis*, *Bactrocera*, *Anastrepha* y *Toxotrypana* son los principales (Matheus, 2005). Las moscas de la fruta en el género *Anastrepha*, 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 extranjeros (Nolasco y Iannacone, 2008).

La mosca del sapote, la *Anastrepha serpentina* (Wiedemann), algunas veces llamada la mosca de la fruta serpentina, es interceptada frecuentemente en los puertos estadounidenses entrando en varios hospederos provenientes de varios países. Es una plaga de importancia en México ya que sus larvas infestan a los frutos zapote, níspero y frutas relacionadas (Weems, 2001). La mosca *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) ataca numerosos frutos nativos y plantas exóticas, especialmente aquellas pertenecientes a la familia de las Sapotaceas como al zapote, *Pouteria sapota*, y al zapote, *Manilkara zapota* L (Norrbon y Kim, 1988).

Las moscas de la fruta tienen una metamorfosis completa (holometábola), es decir, atraviesan cuatro estados biológicos diferentes de vida: huevo, larva, pupa y adulto (Matheus, 2005). La larva madura de la *Anastrepha serpentina* mide de 9 a 10 mm de largo y cuentan con un diámetro de 1.5 mm, son de forma largada; cuerpo compuesto por 11 segmentos, 3 corresponden a la región torácica y 8 al abdomen, además de la cabeza. Esta última se encuentra esclerosada, es pequeña, retráctil y en forma de cono (SAGARPA, 2004).

Mientras el adulto (figura 8a) es de color marrón oscuro, marcado con colores amarillos pálidos y naranja – marrón. El dorso de su tórax es marrón oscuro con marcas amarillas. Las alas son de 7.25 a 8.5 mm de largas. El ovopositor de la hembra (figura 8b) es de 3.0 a 3.9 mm de largo, color naranjado – marrón. El ovopositor por si solo es de 2.8 a



3.7 mm de largo, aserrado, con aproximadamente 20 a 22 dientes finos, apicalmente deprimido, el espiráculo mide de 1.2 mm en la base (SAGARPA, 2004).

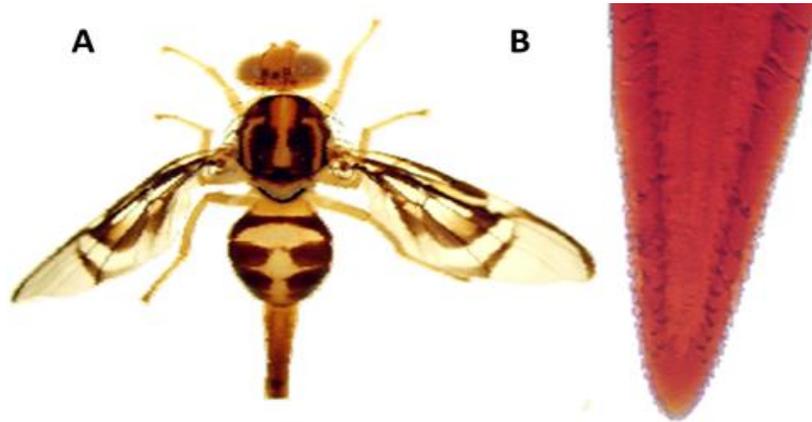


Figura 8: Mosca *Anastrepha serpentina*, (a) hembra adulta, (b) ovopositor
Fuente: SAGARPA (2007)

El ciclo de vida y biológico de esta mosca es otra cosa a tener en cuenta, ya que la hembra puede llegar a poner más de 600 huevecillos en un mes y medio. Las frutas verdes aparentemente son preferidas para ovopositar. Se ha observado que las hembras pueden seguir la ovoposición durante un periodo de 21 a 29 semanas bajo condiciones de laboratorio (Weems, 2001).

Es una plaga seria para la comercialización de los frutos, incluso existen restricciones legales para el transporte de estos. Las larvas se encuentran frecuente en aquellos frutos cosechados durante la época lluviosa. Esta plaga tiene diferentes hospederos alternos (más de 20) lo cual complica su control. Prefieren *Manikara zapota* y *Pouteria sapota* (SAGARPA, 2007). Esta mosca se le encuentra en: Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Guyana, Panamá, Perú, Surinam, Trinidad y Venezuela. En México se le puede encontrar en: Campeche, Colima, Chiapas, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (SENASICA, 2004). Sin embargo, a pesar de que es el principal problema del mamey, no es el único que tiene ya que los daños por frío y mecánicos son de interés, se mencionan más adelante.



2.6.2 Daños por Frío

El Daño por frío (DF) se define como un desorden fisiológico, que puede presentarse en las plantas o en sus productos, en cualquier etapa o proceso central del desarrollo de estas, debido a la exposición prolongada a temperaturas inferiores a un mínimo crítico pero superiores a su punto de congelación. Este desorden es habitual en especies de origen tropical y subtropical, pero también puede presentarse en frutos de climas templados. La temperatura crítica a la que aparecen los DF, varía de una especie a otra y puede ser de -0.5 a 4 °C para los frutos poco sensibles, de 4 a 7 °C para algunas especies de clima templado, y de unos 8 a 15 e incluso 20 °C para las tropicales y subtropicales más sensibles (Téllez, 2008).

Para entender un poco más este problema, Téllez (2008) realizó un seguimiento de refrigeración a 10 °C, ayudándose de 1-metilciclopropeno (1 MCP) regulador de crecimiento, para mejorar las condiciones en que el mamey se preservaba, llegando al resultado de que después del día 21 de almacenamiento la maduración de los frutos mostraban síntomas de daños por frío, presentando síntomas como manchas anormales, áreas acuosas en la pulpa, maduración irregular, lignificación del tejido y desarrollo de color irregular lo que provocó irregularidad en la firmeza.

El mamey es un fruto climatérico lo cual hace difícil su almacenamiento en refrigeración. No se debe almacenar a temperaturas menores a los 5°C ya que puede causar daño por frío, deterioro y pérdida del valor comercial (Produce de Guerrero, 2012). Estos daños por frío suelen ser confundidos a su vez con los daños mecánicos, ya que la refrigeración suele acentuar los daños mecánicos sufridos por la mala cosecha, el mamey en particular cuenta con una situación muy particular y adversa en su cosecha.

2.6.3 Daños mecánicos

La pérdida de calidad de la fruta más importante se debe a los golpes que se producen por la manipulación en cosecha y postcosecha. Los daños en los frutos estimulan la síntesis de etileno y aceleran la respiración, maduración y senescencia, facilitan la entrada de patógenos por el agrietamiento de la corteza y causan oxidaciones por ruptura celular (abrasiones). Los daños en la pulpa por compresión e impacto deterioran la fruta,



disminuyen la vida de anaquel y la calidad para su comercialización. Las magulladuras constituyen el daño mecánico de postcosecha más común en la mayoría de las frutas, que resulta del impacto y vibración durante el embalaje, transporte y almacenamiento (Gómez - Jaimes y col., 2012).

La gran mayoría de los árboles de mamey son de porte alto, lo que obliga a los cosechadores a subirse a las ramas y de ahí lanzar los frutos al suelo para que una persona los capture con un costal de yute, o bien, éstos se dejan caer directamente al suelo. Cuando los frutos llegan al mercado, frecuentemente presentan su calidad disminuida; sin embargo, debido a que su corteza presenta la misma apariencia durante su desarrollo y hasta la madurez de corte, los daños internos por golpes se detectan sólo hasta que el fruto es abierto. Los frutos de mamey son cosechados con ayuda de una pértiga larga provista con una canasta en su extremo para evitar que los frutos se dañen al caer al suelo. Esto se puede realizar desde el suelo o subiendo a los árboles (Alia-Tejacalet y col., 2007). Teniendo en cuenta lo anterior, los tratamientos postcosecha son clave para garantizar la calidad del fruto.

2.7 Tratamientos postcosecha

La necesidad de alimentos sigue aumentando, mientras que la producción y productividad son reducidas o limitadas; asimismo los problemas de almacenamiento y tratamientos de alimentos persisten, lo cual obliga a buscar nuevos métodos de conservación. En el mundo entre el 25 y el 50 % de la producción de productos hortofrutícolas se pierde después de la cosecha, como resultado de los procesos de descomposición, infestación por insectos y ataques de microorganismos. Por otra parte el comercio de los productos hortofrutícolas y la preocupación por el desarrollo de normas de calidad y de salud van en aumento. Sin embargo, debido a la preocupación por la salud de los consumidores, ha surgido un rechazo a posibles usos de agroquímicos en alimentos. Esto generó una actividad importante en la búsqueda de tratamientos y técnicas alternativas que no perjudiquen la salud del consumidor. Actualmente existe un mayor interés por desarrollar tecnología basada en el uso de tratamientos físicos, tratamientos postcosecha de frutos (Yahia y Ariza, 2001).



2.7.1 Tratamientos para la conservación del mamey

El alto carácter perecedero de las frutas y hortalizas se traduce en elevadas pérdidas de calidad durante su distribución y comercialización en los mercados. Sin embargo, en los últimos años se han venido desarrollando diferentes tecnologías postcosecha, que en conjunto con programas de buenas prácticas de manejo del producto, permiten reducir las pérdidas, alteraciones fisiológicas y daños mecánicos, entre otros, además de mantener una calidad aceptable (Rivera y col., 2007).

Se considera al mamey como una fruta con posibilidades altas para exportar o ampliar su mercado a nivel nacional, pero se sabe poco sobre su comportamiento bajo tecnologías de conservación distintas a la refrigeración (Ramos y col., 2009). Algunos tratamientos que se han aplicado a este fruto se presentan en la tabla 5. Sin embargo, otros de los tratamientos que se han usado en otros productos como tratamientos térmicos e irradiación, se tocarán más adelante.

2.7.2 Tratamientos térmicos

No todas las especies de frutos pueden tolerar la aplicación de aire caliente forzado, por lo que es necesario conocer las bases de sensibilidad y tolerancia de los frutos a estas atmósferas. Estos tratamientos pueden contribuir en la seguridad de los consumidores y servirán como tratamiento alternativo (Ariza-Flores y col., 2009). Las condiciones a las que las frutas son sometidas a estos tratamientos térmicos dependen de la sensibilidad de la plaga que se desea eliminar y de la etapa del ciclo de vida en la que el insecto se encuentra, así como la resistencia de las frutas a la transferencia de calor por conducción (González y López-Malo, 2014). Por otro lado se ha mostrado que el control de insectos puede realizarse con tratamientos térmicos, que incluyen inmersión en agua caliente y exposición a vapor y aire forzado a alta temperatura. El agua caliente fue usada originalmente para el control de hongos, pero se ha extendido en el control de insectos (SAGARPA, 2012).

Hay tres principales métodos de aplicación para este tratamiento; agua caliente, aire caliente y vapor. El agua caliente ha sido usada clásicamente para control de hongos y el vapor fue usado específicamente para el control de insectos, mientras que el aire caliente es usado para los dos, tanto contra hongos e insectos. Sin embargo, en las dos últimas décadas



el estudio de estos métodos ha continuado en nuevas tecnologías y las respuestas de los frutos y vegetales a altas temperaturas (Lurie, 1998).

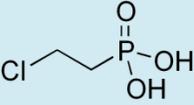
Tabla 5. Tratamientos postcosecha aplicados al mamey

Tratamiento	Fundamento	Descripción
Atmósferas modificadas 	Consiste modificar la composición de gases que rodea al fruto utilizando materiales con diferente barrera a la difusión de gases (Ospina y Cartagena, 2008).	Retraso de maduración del fruto mamey con este tratamiento que se vió reflejado en, mayor firmeza, menor pérdida de peso, mayor contenido de azúcares y los parámetros de pH, acidez, fenoles y actividad enzimática no se vieron afectados (Ramos y col., 2009).
Atmósferas controladas 	Consiste en el controlar de manera precisa la composición atmosférica en el almacenamiento del producto frescos ya sea en cámara de almacenamiento o en contenedores para su transporte (Cerón y Rodríguez, 2007).	La atmósfera controlada con bajo contenido de O ₂ y la de baja concentración de CO ₂ ayudaron a alargar la vida de anaquel del mamey hasta 28 días (Martínez–Morales y col., 2008).
Inhibidores de maduración 	El 1 metilciclopropeno (1- MCP) compite con los precursores del etileno y por lo tanto disminuye la producción de etileno (Sañudo – Barajas y col. 2008).	El tratamiento con 1 µL del 1 – MCP por cada litro de agua retrasó la aparición de CO ₂ , la producción de etileno, y aumentó la vida útil del mamey de 14 días a 20 ° C (Ergun y col., 2005)

Continúa



Tabla 5. Tratamientos aplicados al mamey (continuación)

Tratamiento	Fundamento	Descripción
Aceleradores de maduración 	<p>El uso de aceleradores consiste en usar fitohormonas, las cuales son productos de síntesis que actúan sobre los factores de crecimiento de los distintos órganos vegetativos de las plantas, acelerando y aumentando el desarrollo de las plantas en que se aplican (Magrama, 2016).</p>	<p>La aplicación de etefón en los mameyes no aceleraron la producción de etileno y la velocidad de respiración, no afectaron la pérdida de peso, incrementaron los sólidos solubles y mejoraron el color de éste (Álvarez y col., 2012)</p>
Refrigeración 	<p>Las bajas temperaturas, pero por encima de su temperatura de congelación, disminuyen el metabolismo y retrasan la maduración del fruto (Umaña, 2011).</p>	<p>La aplicación de una refrigeración a 12 °C no causó daños por fríos y permitió incrementar la vida postcosecha del mamey por más de 28 días. Por otro lado, si se almacenan a 13°- 18°C con 85% de humedad, pueden conservarse de 2 a 6 semanas (Martínez–Morales y col., 2006)</p>
Tratamientos Térmicos	<p>Aplicación de tratamientos térmicos: agua caliente, aire o vapor son las maneras más simples de tratamiento térmico con una transferencia de energía rápida (Holman, 1999).</p>	<p>La aplicación de tratamientos térmicos puede controlar esporas de hongos e infección latente presente en la superficie o en las primeras capas celulares debajo de la piel del fruto (López, 2010).</p>

- Agua caliente:

Baños de agua caliente e inmersiones son las maneras más simples de tratamiento térmico con una transferencia de energía rápida, pueden ser controladas esporas de hongos e



infección latente presente en la superficie o en las primeras capas celulares debajo de la piel del fruto. La inmersión postcosecha se usa para controlar decaimiento, se consigue normalmente con la temperatura a 40 ° C y tiempo de exposición variable. Es interesante señalar que la temperatura de tolerancia para la mayoría de los frutos es de 50 a 60 ° C para un máximo de 10 minutos, ya que altas temperaturas y tiempos pueden inducir daño por calor. El efecto benéfico de prevenir el desarrollo de brotes del pre almacenamiento por el tratamiento de inmersión en agua caliente ha sido mostrado en numerosas temperaturas, frutas subtropicales y tropicales, vegetales y flores. Este método tiene una serie de ventajas que incluye uso relativamente fácil, tiempos cortos, control fiable de temperaturas del fruto y agua, y eliminación de agentes causadores de decaimiento en la piel (Fallik, 2004).

- Aire caliente:

Este tratamiento es similar al método del vapor pero no tiene el componente de humedad y es un desarrollo más reciente. Mejores monitoreos en temperatura, humedad, y suministro de aire han avanzado en el tratamiento de aire caliente forzado. El aire caliente puede ser aplicado mediante la colocación de la fruta o verdura en una cámara climatizada con un ventilador, o por aplicación de aire caliente forzado, donde la velocidad de circulación de aire es controlada con precisión. El aire caliente, forzado o no, transfiere más lentamente el calor que la inmersión en agua caliente o vapor forzado, aunque el calor del aire caliente forzado se produce más rápido que una cámara de calentamiento regular. El tratamiento de aire forzado se ideó para los productos básicos normalmente sometidos a un tratamiento térmico de vapor y también se han aplicados a nuevos productos (Lurie, 1998).

- Vapor:

El proceso de este tratamiento es similar al del aire forzado, la diferencia es que se emplea vapor (González y López Malo, 2014). El calor de vapor es un método de calentar materias primas con aire saturado de vapor de agua a temperaturas de 40 a 50 °C para matar huevos de insectos y larvas como un tratamiento cuarentenario antes de enviar productos frescos al mercado. La transferencia de calor se da por la condensación del vapor del agua en la superficie fría del fruto. Este método es cuestionado porque el coeficiente de transferencia de calor de la condensación del vapor es mucho mayor que el coeficiente del aire y agua.



Esto explica por qué la alta humedad en el vapor puede algunas veces dañar el fruto sometido a este tratamiento, mientras que el calentamiento más lento y bajo de humedad del aire caliente puede causar menos daños (Lu y col., 2007).

2.7.3 Irradiación

La radiación es el transporte o la propagación de energía en forma de partículas u ondas (González – Sprinberg y Rabin, 2011). La radiación es una forma de energía que se transmite a través de un material o del espacio. La luz, el calor o el sonido son tipos de radiación (Roca y Almela, 2004). La forma más conocida de energía electromagnética es la luz del sol. La frecuencia de la luz solar (luz visible) es la línea divisoria entre la radiación ionizante (rayos X, rayos cósmicos), más potentes y de frecuencia más altas, y la radiación no ionizante, más benigna y de frecuencia más baja. Hay un espectro de radiación no ionizante. En el extremo superior, justo por debajo de la luz visible, está la radiación infrarroja. Más abajo se encuentran la amplia gama de radiofrecuencias, que incluye (en orden descendente) las microondas, la radio celular, la televisión, la radio FM y AM, las ondas cortas utilizadas en calentadores dieléctricos e inducción y, en el extremo inferior, los campos con frecuencia de red eléctrica (Mild, 2001). Este espectro se presenta a continuación en la figura 9.



Figura 9. Espectro electromagnético
Fuente: educar (2015)



2.7.3.1 Historia y clasificación de la irradiación

La irradiación de alimentos es un método físico de conservación, comparable a otros que utilizan el calor o el frío. Consiste en exponer el producto a acción de las radiaciones ionizantes durante un cierto lapso (Narvaiz, 2004). La irradiación de alimentos es un tratamiento físico con altas energías, mediante el uso de radiaciones ionizantes, es decir, que ocasiona pérdida de los electrones más externos de los átomos y moléculas convirtiendo a los mismos en iones. Se considera un método alternativo para la conservación de alimentos. Durante la irradiación, los alimentos se exponen brevemente a una fuente de energía radiante (rayos gamma, rayos X o electrones acelerados) dentro de una instalación protectora. La irradiación no sustituye a la correcta fabricación y manipulación de los alimentos. La irradiación de alimentos ha sido una “tecnología de último recurso durante décadas” debido, por una parte, a los malos entendimientos acerca de la misma (fundamentalmente con un resultado de asociaciones equivocadas con la contaminación nuclear) y por otra parte, a una ausencia extendida del conocimiento de sus beneficios potenciales (Ordóñez y col., 2004). En orden de entender cómo es que la energía ionizantes en general funcionan, es adecuado hablar de ésta.

Llamamos radiación ionizante a un conjunto muy variado de emisiones que incluyen partículas subatómicas y radiación electromagnética de origen nuclear o atómico y que se caracterizan por que 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. La radiación ionizante, por tanto, puede utilizarse para disminuir y/o eliminar microorganismos, insectos, y también retardar la germinación y los procesos de maduración de los alimentos. La ventaja fundamental de la utilización de la radiación ionizante frente a otros métodos es la cantidad de penetración en la materia, (Merce, 2005) que dependerá de la naturaleza de la partícula. Las radiaciones ionizantes pueden tener naturaleza corpuscular (chorro de partículas) o electromagnética (ondulatoria), lo que supone una notable diversidad de propiedades (velocidad de propagación, masa,



etc.), que les confiere muy distintas posibilidades de aplicación. Así la radiación se puede clasificar en:

- Radiación alfa (α): Son partículas pesadas integradas por dos protones y dos neutrones (como el núcleo del helio) emitidas por la desintegración de átomos de elementos pesados (uranio, radio, radón, plutonio). Debido a su masa no recorren más que un par de centímetros en el aire, y no pueden atravesar una hoja de papel. Queda ejemplificado en la figura 10
- Radiación Beta (β): está compuesta por partículas de masa similar a las de los electrones, lo que confiere un mayor poder de penetración. No obstante, la radiación beta se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua.
- Radiación gamma (γ): Es de carácter electromagnético procedente del núcleo del átomo, muy energética, y con un poder de penetración considerable aunque tiene menor nivel de energía que las radiaciones alfa y beta. En el aire se propaga muy lejos, para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos, como el plomo o el hormigón. Se puede observar una ejemplificación en la figura 10

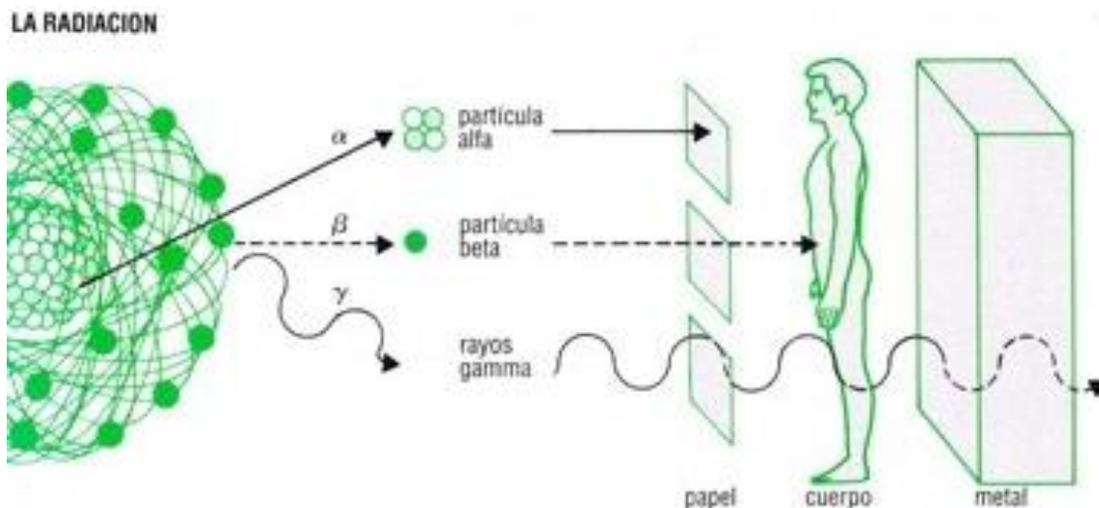


Figura 10. Penetración de algunos tipos de radiación
Fuente: 2ESOE (2016)



- Radiación X: parecida a la gamma, se produce artificialmente en un tubo al vacío a partir de un material que no tiene radiactividad propia. Es de naturaleza electromagnética y de gran penetración.
- Radiación de neutrones: Generada durante la reacción nuclear, partículas sin carga de alta energía. Tienen mayor capacidad de penetración que los rayos gammas por lo que su uso en zonas civiles no se emplea (Castilla y León, 2006).

Las fuentes de irradiación que han sido aprobadas internacionalmente para su uso en alimentos son los rayos gamma producidos a partir de radioisótopos de Cobalto 60 (1.17 y 1.333 MeV) o Cesio 137 (0.662 MeV), la máquina genera haces de electrones (máximo de energía de 10 MeV) y rayos X (máximo de energía de 7.5 MeV en los EE.UU, pero de 5 MeV en el resto del mundo). Las tecnologías que se basan en rayos gammas deben usar Cobalto 60 ó Cesio 137. Estas fuentes son radiactivas y no pueden ser apagadas, además la intensidad de la fuente decae con el tiempo en un proceso natural de descomposición radiactiva, todo esto debe ser tomado en cuenta para ajustar el tiempo de exposición. Por tanto las instalaciones que utilizan estos materiales tienen diferentes diseños para adaptarse a la operación normal, protección del personal y salvaguardar los materiales radiactivos (figura 11). En contraste, las instalaciones que usan electrones o rayos x son a base de una máquina, que utiliza aceleradores lineales de alta energía, que generan los electrones o rayos x. Es por esto que estas máquinas pueden encenderse y apagarse y no generan residuos radiactivos que tengan que ser protegidos (Pillai y Bogran, 2014).

En México el proceso de irradiación gamma se lleva a cabo desde 1980 en la Planta de Irradiación Gamma del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicada en el kilómetro 36.5 de la carretera México-Toluca en La Marquesa, Estado de México (SENER-INNI, 2014) y en otras plantas que dan servicios comerciales como STERIGENICS, entre otras. Esta tecnología opera bajo el principio de que la radiación gamma rompe las cadenas de ADN de los microorganismos, por lo que quedan eliminados o se inhibe su desarrollo. En esta forma *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Trichinella spiralis* y otros microorganismos patógenos se eliminan de alimentos y otros productos al aplicarles la dosis adecuada de radiación gamma (SENER -INNI, 2014).

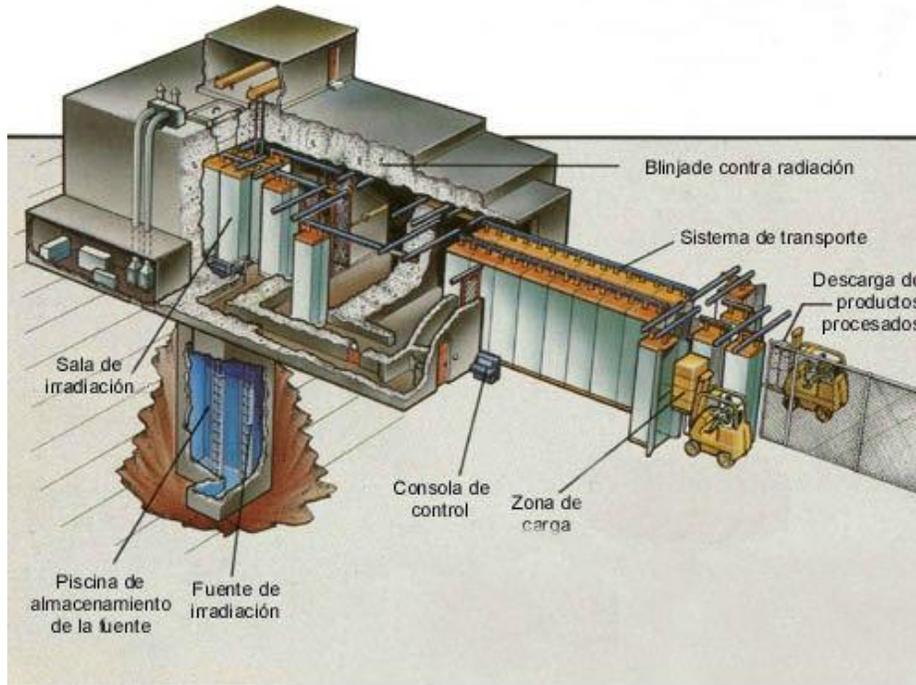


Figura 11. Diagrama de una planta productora de radiación gamma.

Fuente: NOLDOR (2015).

La radiólisis del agua se da por la absorción de energía por una molécula de agua provoca la salida de un electrón y la formación de un anión positivo. El ion será captado por otra molécula de agua y se formará otro ion negativo. Esto dos iones son inestables y se rompen formando otros iones y radicales libres. El fenómeno tendrá como consecuencia la formación de radicales libres que son de vida media muy corta y altamente reactivos tendiendo a combinarse inmediatamente, pudiendo resultar la formación de agua o la formación de peróxido de hidrógeno o agua oxigenada, compuesto de alto poder oxidante y por lo tanto podía causar daños a nivel de mitocondria o también combinarse estos radicales libres con macromoléculas biológicas (Cortés, 2014). En la figura 12 se ilustra la reacción y los componentes que reaccionan en el medio:

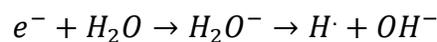
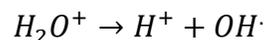
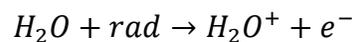


Figura 12. Reacción química en la radiólisis

Fuente: Bushong (2005).



2.7.3.2 Dosis de irradiación para tratamientos a alimentos

El parámetro más importante para definir la intensidad del tratamiento es la dosis de irradiación, medida en grays (Gy). Un kGy se define como una irradiación tal que transfiere 1000 joules de energía a cada kilogramo de producto. De acuerdo con Condón (2012) los tratamientos de irradiación se clasifican por su intensidad en:

- Radurización: dosis entre 0.75 y 2.5 kGy, capaz de inactivar la mayoría de los microorganismos alterantes pero que exigen el almacenamiento del producto a temperaturas aproximadas a 4 ° C.
- Radicidación: dosis entre 2.5 y 10 kGy, persigue la inactivación de los patógenos presentes en los alimentos y que conceptualmente equivale a la pasteurización térmica.
- Radapertización: dosis hasta 30 o 40 kGy, permite la obtención de alimentos seguros y estables a temperatura ambiente.

Aunque se calcule la dosis, se necesita medirla para saber si está ha sido adecuada. Los dosímetros son dispositivos o sustancias químicas que miden la dosis absorbida en el producto durante el tiempo expuesto a la radiación ionizante y son específicos para cada tipo de radiación. Los dosímetros químicos en general son sustancias que cambian de características al ser irradiados. El tipo de dosímetro se selecciona en función del intervalo de dosis para el cual se logran el efecto deseado (Núñez, 2008). En la tabla 6 se pueden observar algunas dosis de irradiación y el objetivo que persiguen en diferentes alimentos.

2.7.3.3 Cambios provocados por la irradiación

Los productos reciben una dosis específica de radiación gamma provenientes de una fuente radiactiva de cobalto-60 de tal manera que sea la suficiente para desbacterizarlo o esterilizarlo. Esto no afecta su estado físico ni otras características como la textura, el olor o el sabor. Se trata de un proceso en frío sin reacciones químicas que alteren los citados productos (SENER–INNI, 2014). Sin embargo, cabe revisar algunos efectos que esta irradiación tiene sobre los nutrientes del alimento:



Tabla 6. Productos alimenticios y dosis de irradiación permitidas en OMS y varios países

Productos	Objetivo	Dosis KGy
Patatas	Brotos	0.1 – 0.15
Cebolla	Brotos	0.1 – 0.15
Ajo	Brotos	0.1 – 0.15
Champiñones	Brotos	2.5 máx.
Trigo, harina	Insectos	0.2 – 0.75
Frutas desecadas	Insectos	1
Semilla Cacao	Insectos	0.7
Alim. Secos	Insectos	0.7 – 1
Carne de ave fresca	Radurización	7 máx.
Bacalao y pescado rojo	Radurización	2 – 2.2
Espicias / Condimentos	Radurización	8 – 10
Carnes semiconservadas	Radurización	6 – 8
Frutas frescas	Radurización	2.5
Espárragos	Radurización	2
Carnes crudas	Radurización	6 – 8
Filetes de bacalao	Radurización	1.5 máx.
Canales de ave eviscerada	Radurización	3 – 6

Fuente: Suárez (2001)

Efectos de la irradiación gama en proteínas: la irradiación gamma afecta a las proteínas causando cambios conformacionales, la oxidación de los aminoácidos, la escisión de enlaces covalentes y la formación de radicales libres de proteínas. Los cambios químicos de las proteínas que son causados por la irradiación gamma son la fragmentación, la reticulación, la agregación y la oxidación por radicales de oxígeno que se generan en la



radiólisis del agua. Asumiendo que estos cambios se producen simultáneamente, sus tasas dependen de la naturaleza química de la irradiación. El efecto de la irradiación gamma sobre la conformación de las proteínas parece depender de varios factores, tales como concentración de proteínas, la presencia de oxígeno y la estructura cuaternaria de la proteína. La irradiación gamma ha demostrado afectar la estructura de reordenamiento secundaria (Arvanitoyannis, 2010).

Benkeblia y Varoquaux (2003), realizaron un estudio de los efectos de irradiación gamma, temperaturas y tiempos de almacenamiento en el estado de la glucosa, fructosa y sacarosa en bulbos de cebolla *Allium cepa* L. En dicho estudio sostienen que aparentemente la irradiación (0.15 y 0.3 kGy) no afecta al contenido de azúcar en la cebolla durante el almacenamiento.

Efecto de la irradiación gamma en lípidos: En nueces moscadas se ha encontrado una disminución dependiendo de la dosis en el contenido de triglicerol y un aumento de contaminante en ácidos grasos libres, después de ser sometidos a la irradiación gamma; de igual manera la irradiación prolongada de semillas (desi, y garbanzo del kabuli) con luz UV (ultra violeta) de 1 a 6 horas, condujo a un aumento en el nivel de peroxidación lipídica en brotes de trigo. Esto surgió por un rompimiento de acilglicerol durante el procesamiento de la radiación, lo que resulta en la liberación de ácidos grasos libres (Amjad y col., 2008).

Una vez mencionado esto, cabe recalcar que los radicales libres generados por la radiación, se producen igualmente por cocción convencional, pasteurización y calentamiento por microondas (Arvanitoyannis, 2010). Los alimentos no se vuelven radioactivos ya que las dosis no son suficientemente altas para cambiar los átomos de los alimentos y de igual manera no están en contacto con una fuente radiactiva; por lo tanto no pueden volverse radiactivos (SENER-INNI, 2014). Los alimentos tratados por irradiación en general son tan nutritivos o más que la misma comida tratada por los métodos convencionales, como los procesos familiares tales como cocinar, secar o la congelación. La irradiación no tiene ningún efecto significativo sobre el valor nutricional de los macronutrientes dentro de los alimentos (proteínas, lípidos, hidratos de carbono). Los micronutrientes, en particular algunas vitaminas, pueden ser reducidas por la irradiación,



pero en general son estas mismas vitaminas las que se reducirán también por los otros métodos de uso general en el procesamiento de alimentos. Incluso los simples métodos de almacenamiento pueden ocasionar una pérdida importante de ciertas vitaminas. La significancia de cualquier pérdida de vitaminas específicas, debe ser evaluada con relación al papel que juegan los alimentos irradiados como fuente de dicha vitamina, en particular, en la dieta del público consumidor (Alcérreca, 2011).

2.7.3.4 Ventajas y desventajas del método

Como todos los métodos de conservación de alimentos, se tiene ciertas ventajas y desventajas: La irradiación gamma destruye todo microorganismo presente en el alimento, mediante el proceso antes descrito, de igual manera puede controlar problemas de plagas presentes, ya sea eliminando su etapa larvaria o esterilizando al adulto. Los macronutrientes no se ven afectados en el proceso. Gracias a la alta penetración se puede aplicar fácilmente incluso en estibas. Este tratamiento no es térmico por lo que el gradiente de temperatura al iniciar el proceso hasta el final de este es de apenas unos cuantos grados (2°C) y por último no deja residuos.

Robert (2014) menciona que algunas ventajas de tratar los alimentos bajo este proceso se encuentran:

- El proceso es versátil.
- Muy eficaz y eficiente (tiene amplio espectro de eficiencia contra todas las bacterias, insectos y muchas plagas).
- Es un proceso en frío (ventajoso para muchos alimentos).
- Penetrante (El alimento puede ser tratado en su empaque final, los microorganismos objetivos no son protegidos por el empaque, la distribución del producto es relativamente poco importante y el tratamiento en tarimas es posible).
- El tratamiento no utiliza productos químicos o residuos químicos.
- El proceso es relativamente fácil de controlar (usualmente depende solamente de la velocidad de la banda transportadora y del poder/actividad de la fuente de irradiación).



- La comida tratada puede ser rápidamente distribuida inmediatamente en la cadena de suministro.

Desafortunadamente cuenta con mala imagen, siendo que personas incluso preparadas en el tema desconfían de la técnica. El costo de toda la instalación así como del material para irradiar es elevado, por último se puede perder micronutrientes como la vitamina A y C.

2.7.3.5 Normas para la comercialización extranjera

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 que otros métodos en inocuidad, calidad nutricional y organoléptica, hacen que esta tecnología de avanzada esté adquiriendo perfiles relevantes. Garantiza la producción y comercialización de productos mexicanos hospederos de moscas de la fruta de las especies *Anastrepha ludens*, *A. obliqua*, *A. striata* y *A. serpentina*. Es trascendental diseñar las medidas de mitigación de riesgo de estas plagas de interés cuarentenario que se pretenden exportar a los Estados Unidos con tratamiento fitosanitario a base de irradiación (Normex, 2016).

En México se contaba con la: NOM – 033 SSA1 – 1993, Bienes y servicios. Irradiación de alimentos. Dosis permitidas en alimentos materiales primas y aditivos alimentarios, la cual tenía como objetivos el establecer las dosis permitidas para la irradiación de alimentos, materias primas y aditivos alimentarios, así como aclarar parámetros como sanidad del alimento e instalaciones, formas de muestreos, etiquetado de los productos irradiados, envases y empaque pertinentes así como su transporte. Sin embargo en septiembre del 2005 fue emitido un aviso de cancelación de dicha norma, por lo que México debe ajustarse y apoyarse de las normas más importantes para comercialización extranjera, las cuales fueron emitidas por la CODEX, la FDA y la unión económica europea.

La FDA (Food and Drug Administration) es un organismo estadounidense que regula la exportación de todo tipo de alimentos, entre ellos los que han sido irradiados. Por



su parte la FDA es más estricta con sus dosis, ya que dependiendo del fin que se persiga, establece dosis máximas de KGy en diferentes productos (tabla 7).

Tabla 7. Dosis de irradiación gamma propuestas por FDA para diversos usos

• Alimento	Propósito	Dosis
Carne de puerco fresca, sin procesar termicamente	Control de <i>Trichinella spiralis</i>	0.3 kGy mínimo a 1 kGy máximo
Fruta fresca	Inhibición del crecimiento y maduración	1kGy máximo
Alimentos	Desinfección de artrópodos	1 kGy máximo
Preparados enzimáticos secos o deshidratados	Desinfección microbiana	10 kGy máximo
Especies/ condimentos secos o deshidratados	Desinfección microbiana	30 kGy maximo
Productos avícolas crudos, frescos o congelados	Control de patógenos	3 kGy maximo
Carnes congeladas envasadas (únicamente NASA)	Esterilización	44 kGy minimo
Productos cárnicos crudos refrigerados	Control de patógenos	4.5 kGy maximo
Productos cárnicos crudos congelados	Control de patógenos	7 kGy maximo
Huevo fresco con cáscara	Control de <i>Salmonella</i>	3 kGy maximo
Germinación de semillas	Control de patógenos microbianos	8 kGy maximo
Moluscos frescos o congelados	Control de especies de <i>Vibrio</i> y otros patógenos transmitidos por alimentos.	5.5 kGy maximo

Fuente: FDA (2016)



De igual manera, la FDA exige que los alimentos irradiados contengan el símbolo internacional de irradiación. El símbolo de Radura (Figura 13 a) junto con la declaración “manipulada con radiación” o “manipulada con irradiación” en la etiqueta del producto. Los productos a granel, deben estar etiquetados de forma individual o tener etiquetas al lado del envase de venta. De igual manera la FDA no exige que los ingredientes individuales en los alimentos que contienen múltiples ingredientes como las especias, sean etiquetados (FDA, 2014).



Figura 13: (a) Símbolo de alimentos irradiados (b) ejemplo a granel
Fuente: (a) FDA, 2014 (b) Beattie Sam, 2010

El CODEX STAN 106 – 1983, REV.1 – 2003, puede considerarse como la norma mundial, a la cual cualquier país que quiera aplicar esta tecnología debería cumplir, esta norma establece cosas como la fuente de irradiación, dosis, condiciones y control del proceso, higiene, requerimientos tecnológicos, de irradiación, verificación y etiquetado. Dentro de esta norma se puede mencionar puntos relevantes como:

- Párrafo 2.2: “La dosis máxima absorbida transmitida a un alimento no debe exceder de los 10 kGy, excepto cuando sea necesario para lograr una finalidad tecnológica legítima.”
- Párrafo 4.1: “La irradiación de alimentos sólo se justifica cuando responde a una exigencia tecnológica y/o beneficio para la protección de la salud del consumidor. No debe usarse como sustituto de una buena higiene y buenas prácticas de fabricación o de las buenas prácticas agrícolas.”



- Párrafo 4.2: “Las dosis aplicadas deberán ser proporcionales a los fines de salud pública y tecnológica a alcanzar y deben estar de acuerdo con las buenas prácticas de tratamiento por irradiación. Alimentos a ser irradiados y sus materiales de embalaje deberán ser de calidad adecuada, condiciones higiénicas aceptables y apropiados para este fin y se manipularán, antes y después de la irradiación, de acuerdo con las buenas prácticas de fabricación, teniendo en cuenta las necesidades particulares de la tecnología del proceso.”

Mientras tanto, la comunidad europea ha liberado su propia norma, la Directiva 1999/2CE del parlamento europeo y de consejo de 22 de febrero de 1999. Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre alimentos e ingredientes alimentarios tratados con radiaciones ionizantes. En dicha directiva en sus diferentes artículos abarca temas como condiciones de la materia prima, dosis pertinentes, etiquetado, documentación, instalaciones, exportación hacia terceros, envases, así como las obligaciones que tienen los Estados miembros con respecto al proceso. Esta directiva establece cómo medir la dosis media absorbida, la cual no debe de exceder los 10 kGy a menos de que esté totalmente justificada (CODEX STAN 106–1983, REV.1–2003).



Objetivos





3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general.

OBJETIVO GENERAL. Evaluar el efecto de los tratamientos de irradiación gamma e hidrotérmico sobre la calidad del mamey para alargar la vida útil y cumplir requisitos fitosanitarios de exportación.

3.1.1 Objetivos particulares

Objetivo Particular 1. Evaluar el efecto de los tratamientos hidrotérmicos (40 °C por 120 y 150 minutos y 55 °C por 60 y 90 minutos) sobre los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, acidez, pH, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO₂) y químicos (carotenoides) del mamey con el propósito de seleccionar las condiciones más adecuadas para su implementación como tratamientos postcosecha para cumplir con los requisitos fitosanitarios para la exportación.

Objetivo Particular 2. Evaluar el efecto que tiene la irradiación gamma (0.15 y 1.0 KGy) sobre los de parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, acidez, pH, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO₂) y químicos (carotenoides) del mamey, para seleccionar la dosis más adecuada para su implementación como tratamientos postcosecha y así cumplir con los requisitos fitosanitarios para la exportación.

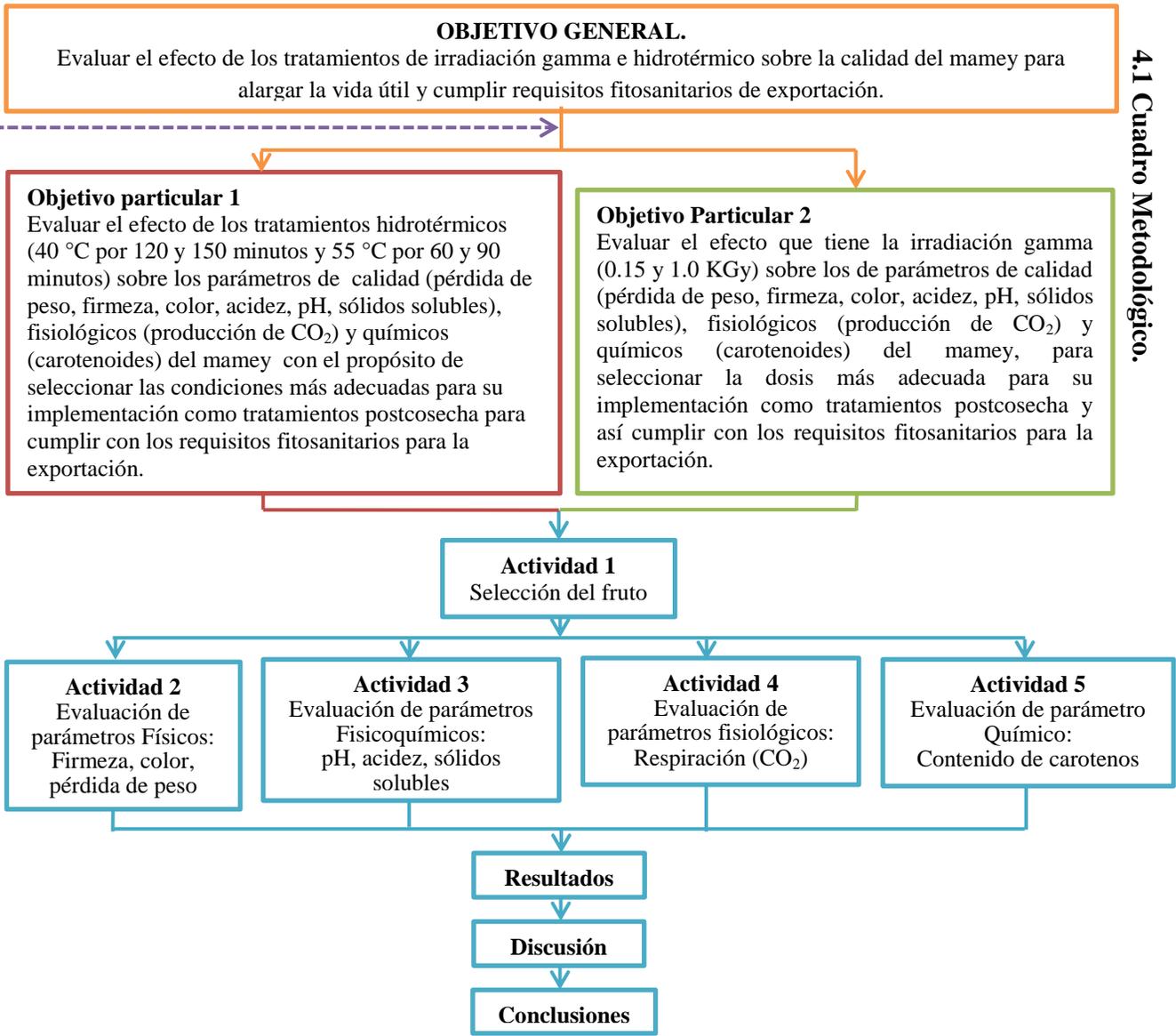
Metodología Experimental





4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1 Cuadro Metodológico.





4.2 Material biológico

Mamey (*Pouteria sapota*) de primera calidad se utilizó para evaluar el efecto de la aplicación de los tratamientos bajo estudio. Los frutos se adquirieron en la Central de abastos Tultitlán, Estado de México (figura 14).



Figura 14. Material biológico: Mamey *Pouteria sapota*

4.3 Selección de la materia prima

Los frutos se seleccionaron de acuerdo al tamaño para tratar de tener lotes homogéneos, desechando aquellos con daños visibles como golpes, cortadas, picado entre otros. Para el tratamiento hidrotérmico se ocuparon 105 frutos y el tratamiento gamma ocupó 66 mameyes en total.

4.4 Reproducción de la mosca *anastrepha serpentina*

- **Infestación controlada**

Para comprobar la efectividad de los tratamientos como medida de contención fitosanitaria, se procedió a crear una colonia de la mosca a partir de mameyes infestados naturalmente. Las larvas y pupas permanecieron bajo condiciones controladas de laboratorio. Se colocaron en jaulas de madera (figura 15) con paredes hechas de tela para mosquitero, un cubo con dimensiones de 30 cm. Dentro de la caula se colocó agua, comida



para las moscas y los frutos fueron puestos en tierra para que las larvas pudieran pupar cómodamente.



Figura 15. Jaula de madera, comida para la mosca y mameyes infectados

- **Infestación natural**

La infestación natural consistió en conseguir frutos infestados naturalmente y ser sometidos a los tratamientos propuestos en este trabajo para así poder observar la efectividad del proceso al garantizar que el estado de pupa de la mosca no pueda alcanzar el estado de maduras (mosca) o ver si este podía directamente matar al estado larvario.

4.5 Tratamiento hidrotérmico

Antes de realizar el tratamiento definitivo, se seleccionaron 3 frutos por condición, (40 °C durante 120 y 150 minutos y 55 °C por 60 y 90 minutos) en un baño maría (cuyas especificaciones se describen más adelante). Esto con el fin de evaluar la cinética de penetración de calor en todas las condiciones para alcanzar el centro térmico de los mameyes, y de esta manera establecer el tamaño y peso general que debería de cumplir todos los mameyes. Se colocaron dos termopares, uno monitoreando el agua y el segundo incrustado hasta tocar la semilla del fruto (figura 16).



Figura 16. Arreglo de termopares para pruebas preliminares.

Una vez obtenidos los resultados preliminares, se procedió a realizar el tratamiento a los mameyes que serían estudiados, en el mismo equipo. De igual manera las condiciones fueron: 40 °C durante 120 minutos, 40 °C por 150 minutos, 55 °C por 60 minutos, 55 °C por 90 minutos y un lote de control, al cual no se le aplicó tratamiento alguno. Se dividieron los mameyes en 5 lotes de 21 mameyes cada lote (figura 17). Se realizaron 3 repeticiones por día de muestreo, para cada condición.



Figura 17. Lotes formados para los tratamientos térmicos.



Para realizar el tratamiento hidrotérmico se utilizó un baño maría marca Riossa (figura 18 a) el cual cuenta con agitación para poder garantizar la homogeneidad de la temperatura, así como contar con un panel (figura 18 b) para poder controlar la temperatura que se quiera alcanzar, así como un interruptor de encendido/apagado del aparato y una malla metálica que impide en todo momento que el fruto esté en contacto con la fuente de calentamiento, aparte de contar con aislamiento térmico.

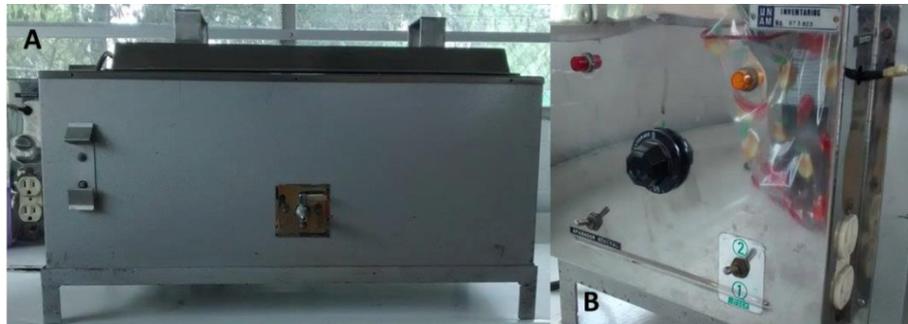


Figura 18: (a) Baño maría, (b) panel.

El tratamiento térmico se realizó a diferentes condiciones de experimentación para lograr los objetivos antes mencionados. Antes de la aplicación de los tratamientos a los mameyes fueron sometidos a prueba de flotación con una disolución de agua con Cloruro de Sodio al 9 % (prueba subjetiva que puede indicar el estado de madurez); con el objetivo de seleccionar frutos con similar estado de madurez. Posteriormente se sumergieron al agua a las condiciones ya establecidas (figura 19a). Estos frutos se enfriaron en un recipiente con agua a ± 21 °C durante 15 minutos (figura 19b) y finalmente almacenados. Los frutos fueron almacenados y se evaluaron los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, acidez, pH, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO₂) y químicos (carotenoides) los días 0, 5, 10, 15 y 20 de acuerdo a las técnicas descritas más adelante.



Figura 19. (a) Tratamiento hidrotérmico, (b) Enfriamiento con agua a ± 21 °C.



4.6 Tratamiento gamma

Los mameyes fueron irradiados con una fuente de Co^{60} a dos diferentes dosis, 300 y 1000 Gy en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. Los tratamientos se realizaron colocando los mameyes en cajas de cartón con dimensiones 27 x 30 x 11.5 cm, las cuales fueron identificadas al ser forradas de color azul (figura 20). Los frutos se distribuyeron en lotes de 22 frutos para cada tratamiento: control (sin tratamiento), 300 y 1000 Gy. Después de la exposición a la irradiación, los mameyes permanecieron refrigerados a una temperatura aproximada a $\pm 14^\circ \text{C}$, estando almacenados durante todos los 20 días que duro el seguimiento experimental. Los frutos fueron almacenados y se evaluaron los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, acidez, pH, sólidos solubles), fisiológicos (producción de CO_2) y químicos (carotenoides) los días 0, 5, 10, 15 y 20 de acuerdo a las técnicas descritas más adelante. Teniendo 3 repeticiones por día.



Figura 20. Mameyes listos para ser irradiados.

4.7 Técnicas analíticas

4.7.1 Parámetros químicos

4.7.1.1 Carbohidratos

Se determinó por el método volumétrico de Lane–Eynon que se basa en la determinación del volumen de una disolución de la muestra, que se requiere para reducir completamente un volumen conocido del reactivo alcalino de cobre. El punto final se



determina por el uso de un indicador interno, azul de metileno, el cual es reducido a blanco de metileno por un exceso de azúcar reductor (NMX-F-312-1978).

4.7.1.2 Contenido de carotenos

Los carotenoides son normalmente extraídos con solventes orgánicos miscibles en agua como acetona, metanol o etanol. La muestra es macerada con acetona fría, para aumentar la extractabilidad de algunos tejidos resistentes a la penetración del solvente. Los carotenoides son transferidos a éter de petróleo o hexano (a veces con éter etílico), preferencialmente de forma suave y gradual para evitar la formación de emulsión, la cual es difícil de deshacer y ocasiona pérdidas de carotenoides que pasan para la fase acuosa. Una vez separadas las fases, se descarta la inferior. La fase de éter de petróleo con los carotenoides fue medida con ayuda del espectrofotómetro Thermo Spectronic (Genesys 10 UV) (figura 21) a 454 nm (Rodríguez, 2015). Los resultados se expresaron en mg/100 g de masa fresca del fruto.

4.7.2 Parámetro de calidad

4.7.2.1 Pérdida de peso

La pérdida de masa fresca se determina restando el peso de cada día de muestreo de la masa inicial de cada réplica, que sería el día cero de la experimentación. Los resultados se expresaron en % (Terrazzan y col., 2006).

4.7.2.2 Firmeza

Este método se basa en la medición del esfuerzo necesario para vencer la resistencia que presenta la pulpa a la introducción de un émbolo de metal, la fuerza requerida se mide en Newtons (N), usando un émbolo de 8 mm para penetrar la pulpa desnuda del mamey, (figura 22) (NMX-FF-058-SCFI-2006). Los resultados se expresaron en Newtons



Figura 21. Espectrofotómetro Thermo Spectronic (Genesys 10 UV) usado para la determinación de carotenos



Figura 22. Penetrómetro usado para determinar firmeza

4.7.2.3 Sólidos solubles

Se utilizó el método de refracción el cual se basa en el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación. Dicho cambio de velocidad se da cuando en el lente lector del equipo (figura 23) se coloca unas gotas de la solución de mamey (NMX-F-103-1982). Los resultados se expresaron en ° Brix.



Figura 23. Refractómetro digital (Atago Pal-BX/RI)

4.7.2.4 Acidez titulable y pH

Se pesaron 10 gramos de mamey para ser licuados y mezclados con 90 mL de agua destilada y posteriormente fue filtrado. Una vez que se obtiene el filtrado se toman 10 mL y se determinó la acidez por titulación con hidróxido de Sodio al 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador (figura 24a). Los resultados se expresaron en %. Mientras tanto el método que se utilizó para determinar el potencial de hidrógeno se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH (Figura 23b) (NMX-F-102-S-1976).

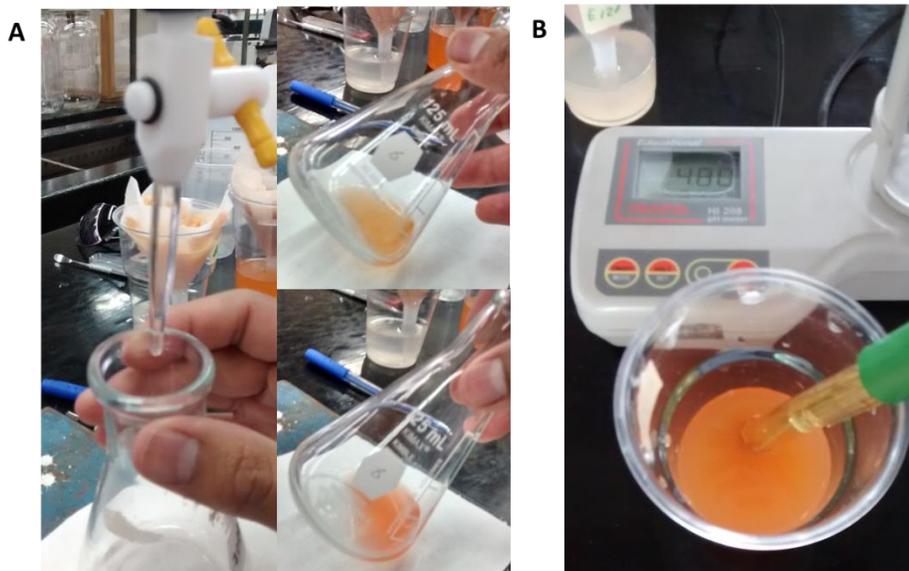


Figura 24. (a) Titulación ácido – base para determinar acidez y medición, (b) potenciómetro digital portátil para determinar pH



4.7.2.5 Color

La determinación de este parámetro se llevó a cabo utilizando un colorímetro Konica Minolta modelo CM – 600D: el cual (Figura 25) utiliza una fuente de luz para iluminar la el mamey. La luz reflejada fuera del objeto pasa a través de unos filtros de vidrio rojo, verde y azul para simular las funciones del observador para un iluminante en particular. Un fotodetector ubicado más allá de cada filtro detecta la cantidad de luz que pasa por el filtro. Estas señales se muestran como valores X, Y, y Z. Estos parámetros se pueden cambiar a otros mediante relaciones matemáticas establecidas para obtener parámetros directamente como L, a y b. E color al ser muy cambiante dependiendo de la zona de la muestra, por lo cual se determinó varias veces en diferentes puntos de la misma pulpa. Una vez cortado el fruto, con la pulpa claramente expuesta, se procedió a poner en contacto el lente del aparato y la pulpa para proceder a tomar la medición del color. Los resultados se expresaron en Luminosidad, ° Hue (para tono) y cromaticidad



Figura 25. Colorímetro Konica Minolta modelo CM – 600D y medición.

4.7.3 Parámetros fisiológicos

4.7.3.1 Intensidad respiratoria

La intensidad de respiración de los frutos fue determinada por medio de la producción de CO₂, en donde el fruto se coloca dentro de un frasco de vidrio (figura 26) de



volumen conocido durante una hora. Transcurrido ese tiempo se registró la lectura de CO_2 del aire durante un minuto, para directamente después tomar la lectura de CO_2 dentro del frasco, proporcionada por el analizador de gases por infrarrojo (ANALYZER Nitec, LLC) dejando un minuto hasta que se estabilizó la lectura. Los resultados se expresaron en $\text{mgCO}_2/\text{kg h}$.



Figura 26. Analizador de gases y forma de medir el CO_2 producido

4.8 Análisis estadístico

Para determinar el efecto que tuvieron los diferentes tratamientos sobre los parámetros de calidad y nutricionales del mamey se usó un diseño factorial simple con un análisis ANOVA simple. Ambos tratamientos se realizaron en el programa estadístico SPSS de IBM, aplicando pruebas de rango múltiple Duncan y Turkey, con un intervalo de confianza del 95 %, determinando así si existe diferencia significativa o no entre los parámetros analizados.

De igual manera, para la discusión de los resultados se comparan las medias obtenidas de cada día de experimentación entre condiciones y teniendo a los controles como el comportamiento ideal a seguir.



Resultados y discusión





5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con forme a la metodología explicada en el apartado anterior se experimentó durante todo el seguimiento de los tratamientos que fueron aplicados al fruto, a continuación se describen los resultados obtenidos.

5.1 Efectos de los tratamientos hidrotérmicos en los parámetros de calidad, fisiológicos y químicos del mamey

.Entre los tratamientos cuarentenarios, la aplicación del tratamiento hidrotérmico se ha mostrado eficaz contra plagas y patógenos en general (Petit y col., 2009). Los tratamientos de agua caliente son menos costosos y fáciles de aplicar a escalas comerciales, en particular en tratamientos cortos. El tratamiento por calor también puede tener efectos positivos en la calidad de la fruta tales como extender la vida útil y la comercialización, mediante la retardación de la madurez (Min y Gun, 2015). La respuesta de los productos agrícolas a los tratamientos con calor está influenciada por la especie, el tipo de cultivo, las condiciones prevalecientes durante el desarrollo del cultivo en el campo, la madurez, la aplicación de los tratamientos y el método utilizado para la aplicación de calor (Corrales y Umaña, 2015). Es por esto que el estudio preliminar del comportamiento de la fruta a este tratamiento es vital para comprender los efectos que tiene sobre la fruta y así poder desarrollar procesos más confiables y eficientes.

5.1.1 Parámetros de calidad

5.1.1.1 Firmeza

En la figura 27 se muestran los resultados de la firmeza obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos de mamey que fueron sometidos a los tratamientos hidrotérmicos de 40 °C por 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Se puede observar que en general la firmeza tiene una tendencia a disminuir con respecto al tiempo de almacenamiento. Para el día 0 los frutos de mamey del tratamiento a 40 °C durante 150 minutos presentaron una media de firmeza con valor de 7.8 N que fue



significativamente menor que los valores promedios de los tratamientos restantes, que fluctúan entre el rango de 148 N para los frutos a 55 °C durante 60 minutos, 154 N para los frutos de 90 minutos y 164 N para los mameyes del control, los cuales no mostraron diferencia significativa. Para el día 10 de almacenamiento, los valores promedio de firmeza de los diferentes frutos de los tratamientos fueron menores, en comparación al día 0, sin ser diferentes significativamente, a excepción de los frutos sometidos a 40 °C durante 150 minutos y el control. El tratamiento a 40 °C durante 150 minutos presentó un aumento significativo en sus valores de firmeza, en comparación al día 0, con una media de 22 N. Por su parte, el control disminuyó significativamente comparado con el día 0, ya que en este día presentaba una media de 164 N, disminuyendo su firmeza a 6.1 N (una disminución del 96 %). Los frutos del tratamiento de 40 °C durante 120 minutos no tuvieron cambios significativos en su media. Finalmente, para el día 20 de almacenamiento, los valores promedios de firmeza para los diferentes tratamientos fueron significativamente menores que los valores de firmeza de los días previos de almacenamiento, observando que los frutos bajo el tratamiento de 55 °C durante 90 minutos fueron los que menos disminuyeron, presentando un promedio de 110 N, que fue significativamente mayor a los valores promedio de los otros tratamientos.

Se pensaría entonces que entre más firme sea el fruto mejor será la comercialización, ya que conserva sus propiedades iniciales, pero en los frutos climatéricos el comienzo de la maduración está marcado por una producción autocatalítica de etileno (endógeno) acompañada por un aumento en la tasa respiratoria que induce a todos los cambios asociados a la maduración tales como la pérdida de firmeza (ablandamiento), pérdida de color verde, pérdida de acidez, desarrollo de aromas y finalmente la senescencia de forma irreversible (Calvo, 2007). La pérdida de firmeza es parte de la maduración ya que las células de los frutos son cada vez más permeables, porque la integridad de los compuestos de las paredes celulares se pierde; por acción del etileno se activan una serie de enzimas hidrolíticas (poligalacturonasa y celulosa), que rompen los enlaces entre los polisacáridos de la pared (Asenjo y col., 2013). Por lo tanto se puede entender que la pérdida de firmeza en el fruto es inevitable y habla de un proceso natural de envejecimiento. Ramos y col. (2009) realizaron un estudio del mamey sometido a atmósferas modificadas, donde sus frutos del lote control iniciaron con una firmeza de 92.1



N y terminó en 1.9 N a los 16 días que duró su experimentación. Mientras que los controles de esta experimentación iniciaron con 164 N y terminaron al día 20 con valores de 2 N de firmeza, por lo cual se puede descartar algún tipo de variable no controlada en los mameyes con respecto a este parámetro. Alia-Tejacal y col. (2005) aseveran que los valores de consumo comercial para el mamey son de 12 a 1 N, por lo que el control y los mameyes del tratamiento a 40 °C a ambos tiempos, alcanzaron dicha firmeza pero los frutos sometidos a 55 °C no cumplen con esto, siendo que a 90 minutos los frutos presentaron una firmeza de 110 N y los mameyes con un tiempo de 60 minutos terminaron con 27 N. Esto implica que al día 20 los frutos sometidos a 55 °C en ambos tiempos no se encuentran listos para ser comercializados, lo cual es contraproducente.

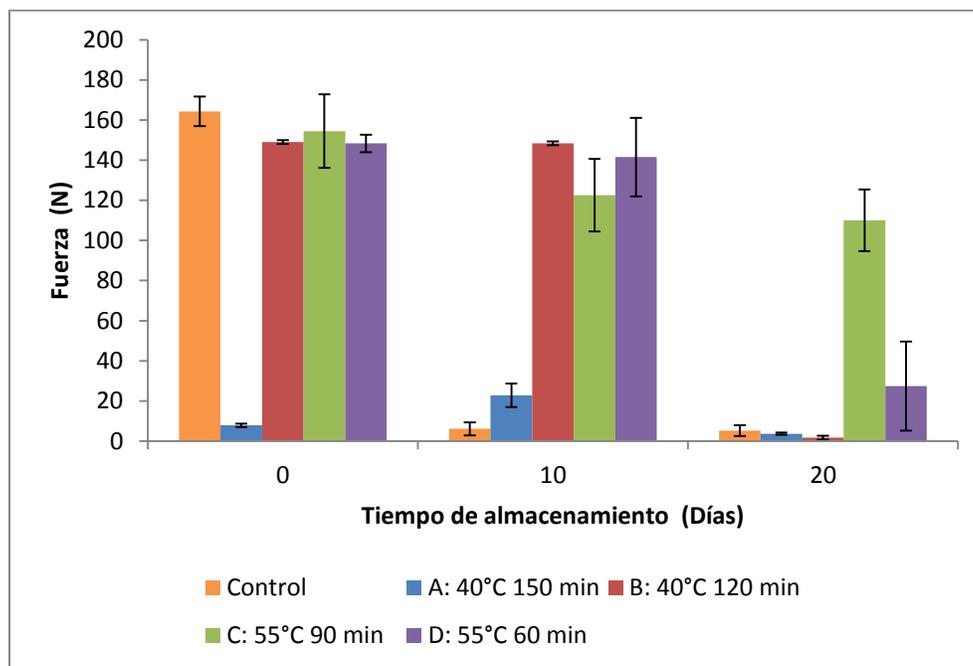


Figura 27. Firmeza de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

En general, el efecto del tratamiento térmico sobre la maduración del fruto puede provocar un retraso en los cambios en los parámetros relacionados con la fisiología del fruto (producción de etileno y tasa de respiración) (Valero y Serrano, 2010), es precisamente por esto que los mameyes sometidos a temperaturas de 55 °C no consiguieron seguir con una maduración normal, afectando la firmeza del fruto, lo cual es especialmente importante para este fruto al ser climatérico.



5.1.1.2 Color

Los tres aspectos principales para la aceptación de un alimento son el sabor, textura y color siendo éste último la propiedad más importante en los alimentos. Muchos expertos opinan que el color es el parámetro más importante, puesto que si un producto no tuviese una buena presencia colorimétrica, el consumidor no podría llegar a juzgar los otros dos aspectos (Cajamar, 2014a). Teniendo esto en cuenta, se evaluaron los parámetros pertinentes a la colorimetría durante los 20 días de experimentación, siendo luminosidad, Tono °Hue y Cromaticidad.

- **Luminosidad**

La coordenada acromática *L es la luminosidad o claridad y representa si un color es oscuro, gris o claro, variando desde cero para el negro y hasta 100 para un blanco total (Calvajar y col., 2011).

En la figura 28 se muestran los resultados de luminosidad obtenidos, durante el periodo de almacenamiento de 20 días, de los mameyes sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 40 °C por 120 y 150 minutos y a 55 °C durante 60 y 90 minutos. Se puede observar en general una tendencia a disminuir en la luminosidad con respecto al tiempo. Para el día 0 los mameyes de los tratamientos de 40 °C durante 150 minutos y los frutos de 55 °C durante 90 minutos empiezan con valores de luminosidad menores al resto, ($L=60$), mientras que los frutos de las demás condiciones reportan valores de 62 de luminosidad, sin mostrar diferencias significativas. Para el día 5, los frutos del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 60 minutos, muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ellos, disminuyendo sus valores de luminosidad promedio a 53 y 54 de luminosidad respectivamente. En el día 10 este comportamiento se deja atrás, ya que los frutos en los diversos tratamientos no muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellos y tampoco muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en comparación al día 5. Para el día 15 los valores promedio de los tratamientos de 40 °C a ambas condiciones no disminuyen y se muestran significativamente diferentes al resto, con valores de 59 de luminosidad para el tratamiento a 150 minutos y 60 para los frutos a 120 minutos. En comparación, los frutos de los tratamientos a 55 °C en ambas condiciones presentaron valores de 55 de luminosidad



y el control presentó valores promedio de 54 de luminosidad. Finalmente para el día 20 los tratamientos a 40 °C en ambas condiciones presentaron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en comparación al control, con valores promedio de 53 de luminosidad para el tiempo de 120 minutos y 52 para el tiempo de 150 minutos; de igual forma ambos tratamientos a 55 °C presentaron medias significativamente mayores al control, con valores de 59 de luminosidad para el tiempo de 90 minutos y 60 de luminosidad para el tiempo de 60 minutos.

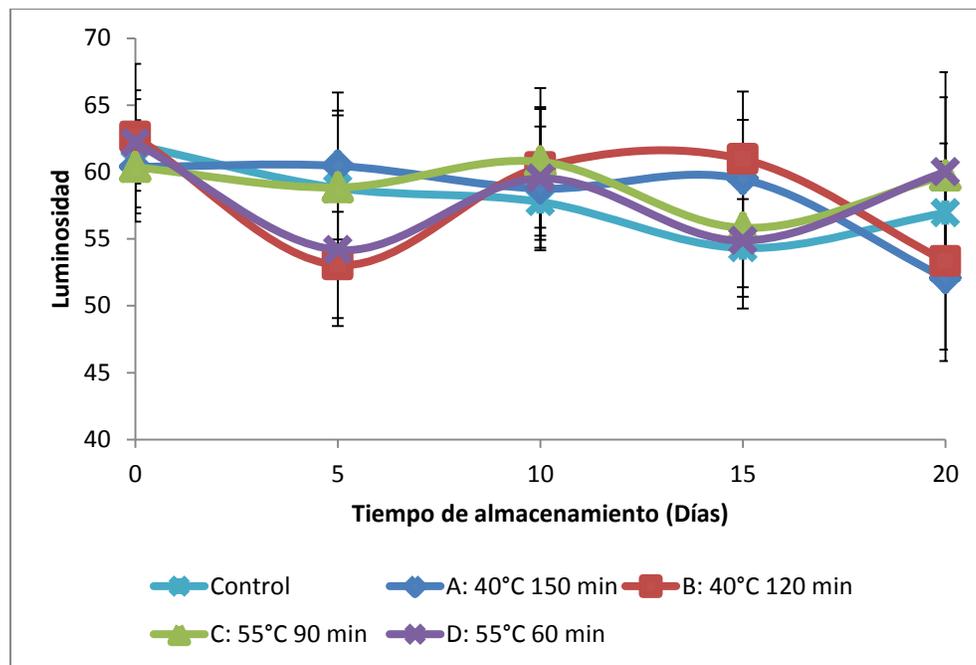


Figura 28. Luminosidad de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Díaz -Pérez y col. (2000) asevera en su estudio de refrigeración a 10, 20 y 27 °C en mameyes, que estos frutos tienen una luminosidad de un rango que va de 70 a 60 al principio de su experimentación, reduciéndose hasta obtener un color más oscuro: el marrón, con una luminosidad de 50, esto debido al proceso gradual de pardeamiento y altas concentraciones de compuestos fenólicos en la fruta. Este comportamiento tan característico de los mameyes se cumple para el tratamiento a 40 °C, teniendo una media al inicio de 60 para el tiempo de 150 minutos y 62 de luminosidad para el tiempo de 120 minutos; disminuyendo a 52 para 150 minutos y 53 para 120 minutos. De igual manera el control empieza en el día 0 con valores de 62 de luminosidad y termina en el día 20 con 56



de luminosidad. Pero si bien los mameyes tratados a 55 °C a ambas condiciones empezaron con medias aceptables de 60 de luminosidad a 90 minutos y 62 de luminosidad para 60 minutos, terminaron por encima de lo sugerido por Díaz-Pérez y col. (2000), ya que para los frutos de 90 minutos sólo disminuyó a 59 de luminosidad (solamente un 1.6 %) y para los mameyes a 60 minutos redujeron sus valores a 60 de luminosidad (3.2 % menos). Como se dijo anteriormente, el decremento del parámetro es natural ya que habla de una maduración, en cambio los mameyes sometidos a 55 °C no disminuyeron acorde con esto, por lo que el proceso de maduración se vio afectado debido a los tratamientos, esto implica que el tratamiento hidrotérmico tuvo afectaciones negativas en este parámetro a temperatura de 55 °C.

- **Tono (° Hue)**

Por su parte, el tono (° Hue) es un atributo visual que nos indica en cual región nos encontramos, en uno de los colores percibidos como el rojo, amarillo, verde y azul, o a una combinación de ellos (amarillo mas rojo es igual a naranja, etc.) (Montesinos, 2003). Es precisamente este parámetro el que da una idea de qué color es la pulpa del mamey y si ésta ha sufrido daño.

En la figura 29 se muestran los resultados del tono obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a tratamientos hidrotérmicos a condiciones de 40 °C durante 120 y 150 minutos y a 55 °C durante 60 y 90 minutos. Se puede observar una pequeña variación en el tono de los frutos, pero en general tienden a disminuir con el tiempo. En el día 0 los mameyes de la temperatura a 40 °C empiezan siendo significativamente mayores al resto de condiciones, teniendo medias de 52 ° hue para ambos tiempos, en comparación las condiciones de 55 °C tienen medias de 47 ° hue para el tiempo de 90 minutos y 49 ° hue para el tiempo de 60 minutos, y el control reporta una media de 48 ° Hue. En el día 5, el tono de los frutos del tratamiento a 55 °C durante 90 minutos muestran ser significativamente mayor a los demás mameyes, teniendo una media de 53 ° Hue. Este comportamiento continuó para el día 10, donde el tono del tratamiento siguió siendo significativamente mayor al resto, con valor de 59 ° Hue. En el día 20 los mameyes del control se vuelven significativamente menor, con valores de media



de 46 ° Hue; los frutos de los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 60 minutos se diferencian estadísticamente ($P \leq 0.05$) del control, con valores de media de 50 ° hue para ambos; por su parte los tratamientos de 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 90 minutos se diferencian estadísticamente ($P \leq 0.05$) presentando medias mayores al resto; por su parte los frutos a 40 °C durante 120 minutos mostraron media de 53 ° hue y los mameyes sometidos a 55 °C durante 90 minutos exhibieron una media de 56 ° hue.

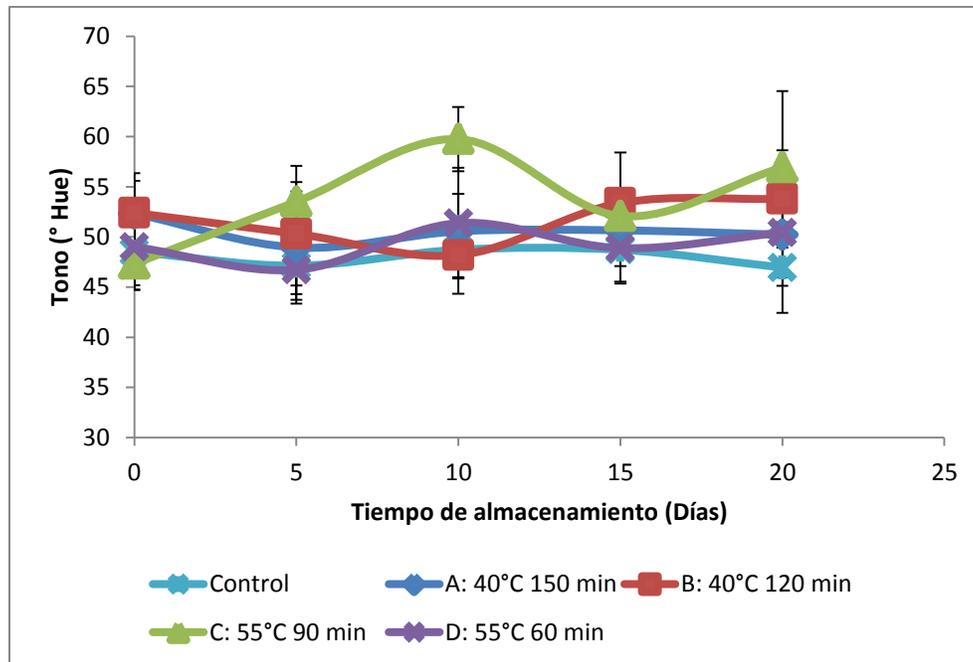


Figura 29. Tono (° Hue) de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Díaz-Pérez y col. (2000) mencionan que el color de un mamey fresco se encuentra entre el amarillo o rosa pálido, que tienen un ángulo hue de 55 y para la fruta ya madura, con su característico color rojo, debe tener valores cercanos a los 47 ° Hue. En el presente trabajo los únicos frutos que al principio cumplen con esta condición son los del grupo de 40 °C al tener 52 ° hue, mientras que los demás, aunque sus valores son todavía altos a los 47 ° hue, están por debajo de lo sugerido por Díaz-Pérez y col. (2000). Para el final de la experimentación (20 días postcosecha) el único grupo de mameyes que llega a las condiciones sugeridas fue el control, ya que disminuyó el tono hasta los 46.9 ° hue, mientras que todos los demás presentaron valores arriba de los 50 ° hue, siendo el caso más drástico el grupo de 55 °C durante 90 minutos terminando con 56.9. Díaz-Pérez y col.



(2001) realizaron un estudio donde sometieron a frutos mameyes a tratamientos de agua caliente (40, 45, 50 y 60 °C) y ellos aseveran que los tratamientos de agua caliente a frutos del mamey pueden llegar a dañar la pulpa afectando la colorimetría. Esto sin duda es perjudicial para la comercialización, ya que el color característico del mamey es vital para su comercialización.

- **Cromaticidad**

El parámetro croma nos describe lo llamativo o lo apagado de un color, en otras palabras, que tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro (X-Rite, 2002). La cromaticidad un parámetro que se debe de considerar y en esta experimentación se monitoreo durante los 20 días de almacenamiento.

En la figura 30 se muestran los resultados obtenidos de parte de los mameyes sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 40 °C por 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Se puede observar una disminución de este parámetro con respecto al tiempo, siendo más notable para los frutos del tratamiento a 55 °C durante 90 minutos, seguido del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos. En el día 0 todos los mameyes de los diferentes tratamientos empezaron con valores cercanos, eso hizo que no mostraran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) comparados entre ellos. Es en el día 5 es donde los mameyes a 40 °C durante 120 minutos disminuyen significativamente, con un valor medio de 44 de croma, de igual manera los frutos bajo el tratamiento a 55 °C durante 90 minutos disminuyen su media a 39 de cromaticidad, siendo significativamente menor al resto de los tratamientos en el mismo día y a los del día 0. Para el día 10 se observa un aumento de la cromaticidad de los frutos sometidos a 40 °C durante 120 minutos, ya que su media aumenta a 50 de cromaticidad, el mismo valor para los frutos de la condición a 40 °C durante 150 minutos y el control; sin embargo los frutos mameyes a 55 °C durante 60 minutos disminuyeron significativamente ($P \leq 0.05$) su media a valores de 42 de cromaticidad, de igual manera la los frutos a la condición de 55 °C durante 90 minutos disminuyeron significativamente ($P \leq 0.05$) presentando una media de 32 de cromaticidad, este fue el cambio más drástico durante el periodo de 20 días de almacenamiento ya que fue significativamente menor en comparación a los primeros 2 días iniciales. En el día 15 de



almacenamiento los frutos bajo el tratamiento de 55 °C durante 60 minutos aumentaron sus valores medios de cromaticidad a 40, no mostrando diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con respecto a los frutos del tratamiento de 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 60 minutos, con valores de cromaticidad medios de 45 y 44 respectivamente, sin embargo los frutos del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos y del control se mantienen significativamente mayores, con valores de 48 de cromaticidad para los 150 minutos y de 50 para los frutos del control. Para finalizar, en el día 20 los valores medios de los mameyes bajo la condición de 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 90 minutos disminuyeron significativamente en comparación al resto, ya que terminaron con valores medios de 37 de cromaticidad para los frutos sometidos a 40 °C durante 120 minutos y a 40 de cromaticidad para los mameyes a 55 °C durante 90 minutos.

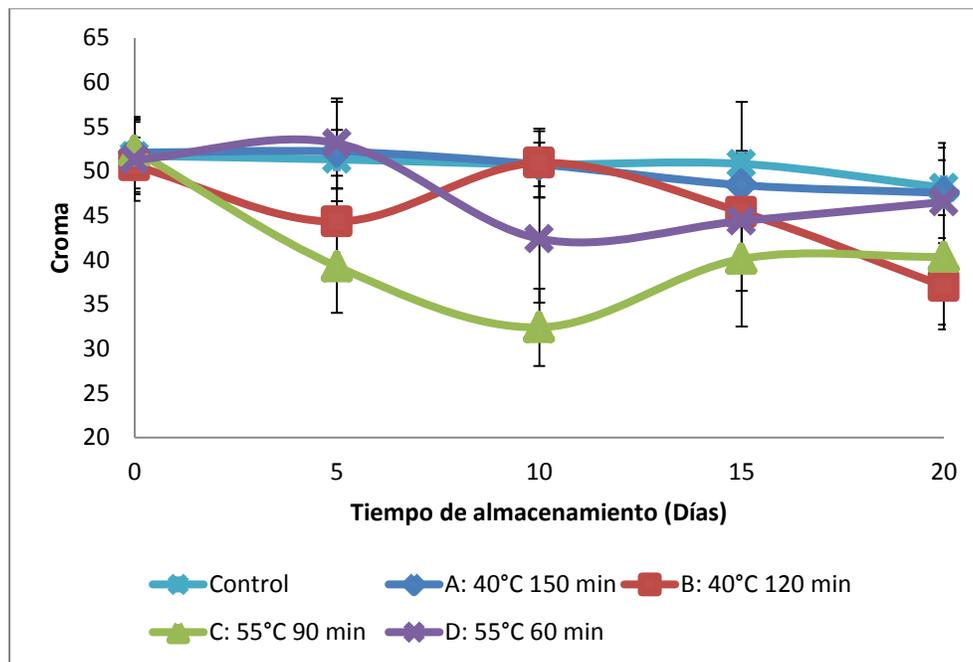


Figura 30. Cromaticidad de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Díaz-Pérez y col. (2000) realizaron un estudio sobre el almacenamiento de mameyes a refrigeración (10, 20 y 27 °C) durante 25 días, ellos mencionan que en general no existen cambios drásticos en este parámetro durante el almacenamiento y que es totalmente normal la disminución durante la maduración. De igual manera, Ramos y col. (2009) en su estudio de atmósferas modificadas para mamey, reportan que no existen



cambios significativos de este parámetro durante la maduración y obteniendo valores al inicio de su experimentación cercanos a 50 y al término (día 16) datos mayores a los 45. Si bien todos los mameyes de las distintas condiciones de este trabajo al principio de la experimentación se encuentran con un valor medio de ± 51 (cumpliendo lo sugerido por Ramos) sólo los mameyes de los tratamientos de 40 °C durante 150 minutos, 55 °C durante 60 minutos y el control demuestran tener un decremento de este parámetro menor al 10 %, terminando con valores de 47, 46 y 48 de cromaticidad. En cambio el tratamiento de 40 °C durante 120 minutos disminuyó de 50 a 37 de cromaticidad (un 26.7 %) mientras que el tratamiento de 55 °C durante 90 minutos disminuyó de 52 a 40 de cromaticidad (un 22.9 %). Esto nos sugiere que el matiz del color característico del mamey se vio afectado acercándose más al gris por el tratamiento térmico a estas dos condiciones, podría entonces indicar algún tipo de anomalía en su desarrollo lo cual es perjudicial para el comercio de los frutos.

Por tanto, se puede aseverar que si bien, los tratamientos hidrotérmicos pueden tener cierta afectación sobre el mamey, en estos tres parámetros se observó en general que la temperatura de 55 °C durante 90 minutos tuvo un efecto negativo en todos los parámetros, esto es de vital importancia ya que el conservar los parámetros de color del mamey es vital para su comercialización. En cambio los tratamientos a 40 °C mostraron mejor comportamiento, siendo el tiempo de 150 minutos el mejor en comparación.

5.1.1.3 Pérdida de peso

Las pérdidas de peso en los frutos se incrementan como consecuencia de la transpiración después de la cosecha y significa una disminución de su calidad y aceptabilidad (Cáceres, 2003). Teniendo esto en cuenta cualquier tratamiento postcosecha tratará de disminuir dichas pérdidas, es por eso que en este trabajo se monitoreó el parámetro durante 20 días de almacenamiento después de haber aplicado el tratamiento hidrotérmico.

En la figura 31 se muestran los resultados de pérdida de peso de los frutos de mamey que fueron sometidos a tratamientos hidrotérmicos con condiciones de 40 °C por 120 y 150 minutos y a 55 °C durante 60 y 90 minutos. Se puede apreciar que hubo un aumento en la pérdida de peso conforme pasó el tiempo de almacenamiento en todos los



frutos. Para el día 5 los frutos del mamey tratados a 40 °C durante 150 minutos reportan una pérdida significativa mayor en comparación a los frutos del control, con valores de 2.4 %, mientras los demás tratamientos no muestran tener diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre ellos. Para el día 10 el tratamiento a 40 °C durante 150 minutos deja de ser significativamente mayor, en cambio el tratamiento a 55 °C durante 90 minutos es significativamente menor, experimentando una pérdida promedio de 1.5 %. Para el día 15 los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 90 minutos muestran tener diferencia significativa ($P \leq 0.05$) al ser menores en sus medias, en comparación a los demás tratamientos, con valores de 3.5 % de pérdida de peso para 40 °C durante 150 minutos y 3.7 % de pérdida de peso para los mameyes sometidos a 55 °C durante 90 minutos. Este comportamiento se mantiene hasta el día 20, donde de nuevo las condiciones de 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 90 minutos son significativamente menores con valores de 4.6 % de pérdida de peso para ambas condiciones. De igual manera, la condición a 55 °C durante 60 minutos disminuye su pérdida de peso significativamente, llegando a valores finales de 5.3 %.

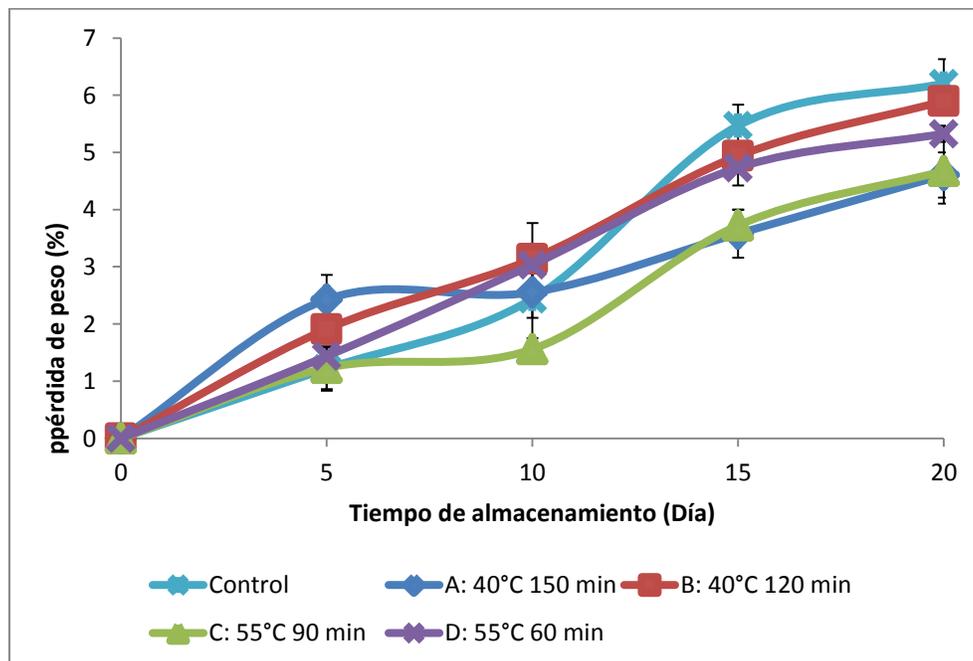


Figura 31. Pérdida de peso para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.



Es importante aclarar, en orden de no crear confusiones, que los mameyes de esta experimentación fueron almacenados a 13 ± 1 °C, ya que la pérdida normal de peso reportada por Alia-Tejagal y col. (2005) indican que los mameyes que no son conservados por refrigeración reportan pérdida de peso de 1.02 % por día. Pérez-Tello y col. (2009) reportan pérdidas de peso de mameyes sometidos a una refrigeración de 10 °C, al día 20, superiores al 5 % e inferiores al 8 %: estos porcentajes de pérdida son similares a los valores obtenidos en esta experimentación, ya que los mameyes sometidos a 40 °C durante 120 minutos presentaron valores de 5.8 %, mientras que los frutos sometidos a 55 °C durante 60 minutos reportaron una pérdida total de 5.3 % y para los frutos del control una pérdida total de 6.2 %. Díaz-Pérez (2000) explica que la baja pérdida de peso del mamey en refrigeración puede deberse a la diferencia de presión de vapor que rodea a la fruta.

Los mameyes tratados a 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 90 minutos experimentaron una pérdida total de 4.6 %, con respecto a su peso original, podría pensarse entonces que estos tratamientos al tener menos variación en la pérdida de peso durante el almacenamiento son mejores para preservar la calidad de los frutos, pero la transpiración y, en menor medida, el consumo de sustratos son la razón de la pérdida de peso en los frutos durante la maduración en postcosecha (Manica y col., 2000). Esto indica que la pérdida de peso es normal durante la maduración del fruto por lo que estas condiciones del tratamiento hidrotérmico pudieron haber influido en la maduración normal del fruto, disminuyendo su calidad.

5.1.1.4 pH

La medida potenciométrica se puede considerar como la más importante utilizada en la industria agroalimentaria y se puede relacionar con el contenido de ácidos presentes, la calidad de proliferación microbiana en conservación (valores bajos permitirán una vida de anaquel más amplia) puesto que actúan a nivel fisiológico en los frutos como barrera fisiológica natural frente a la acción microbiana (Cajamar, 2014b). Es por esto que durante la experimentación se monitorea este parámetro durante los 20 días de almacenamiento después de ser aplicado el tratamiento hidrotérmico.



En la figura 32 se puede observar los resultados del pH obtenidos durante el periodo de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 40 °C durante 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Se puede observar que en general la tendencia de este parámetro tiende a disminuir con respecto al tiempo. Tanto en el día 0 como en el día 5 los frutos no muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos y el control e incluso en comparación con los días. En el día 10 los frutos bajo los tratamientos a 40 °C ambos tiempos y los mameyes tratados a 55 °C durante 90 minutos demuestran tener medias significativamente mayores en comparación al control, teniendo las tres condiciones valores de 6.4 de pH, mientras los mameyes del control y el tratamiento a 55 °C durante 60 minutos presentaron medias de 6.1. En el día 15 los frutos a 40 °C durante 150 minutos disminuyen significativamente, reportando medias de 5.8 de pH, diferenciándose de los frutos del control, con valores promedio de 6.2 de pH y al resto de tratamientos. Finalmente, en el día 20 de almacenamiento, los mameyes tratados a 40 °C en ambos tiempos se diferencian significativamente ($P \leq 0.05$) al resto, siendo que los mameyes bajo el tiempo de 150 minutos aumentaron significativamente, reportando una media de 6.2 de pH, mientras que los frutos sometidos a 120 minutos disminuyeron significativamente, arrojando valores de 5.5 de pH. Mientras que los frutos del control y los sometidos a 55 °C en ambos tiempos, reportan valores medios de 5.9 de pH.

Díaz-Pérez y col. (2001) realizaron estudios hidrotérmicos en mameyes y reportan en su trabajo que entre más alta son las condiciones de temperatura y tiempo del tratamientos, los mameyes tienden a reportar valores más bajos de este parámetro. Esto no se cumple del todo para el presente trabajo, ya que los mameyes bajo el tratamiento a 40 °C durante 120 minutos fueron los más bajos (5.52 de pH) y a su vez los frutos que terminaron con valores más altos de pH fueron los sometidos a 40 °C durante 150 minutos (6.29 de pH) manteniendo su valor de pH con respecto al día 0, donde reportó un pH medio de 6.2. Mientras que los frutos con el tratamiento a 55 °C disminuyeron su pH, siendo para el caso de 90 minutos una disminución con valores de media de 6.3 a 5.9 de pH; y el tiempo de 60 minutos disminuyó de 5.9 a 5.8 de pH. Como se observa, entre los mameyes tratados a 55 °C el tiempo determina cuanto disminuirá este parámetro, entre más tiempo más disminuye, cumpliendo con lo sugerido por Díaz-Pérez, aunque esto no se cumple



para el tratamiento a 40 °C. Por su lado el control sólo disminuyó un 1.4 %, lo cual no representa un cambio severo desde las condiciones de iniciales.

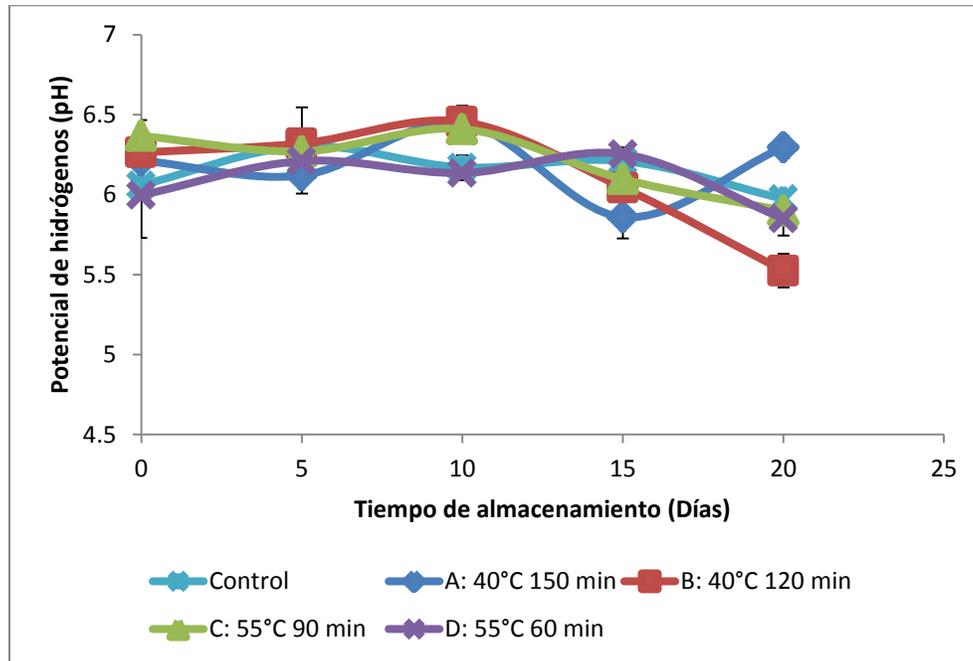


Figura 32. Cambio en el pH de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

La conservación del pH de los mameyes por parte del tratamiento a 40 °C durante 150 minutos puede ser atractivo, ya que como sugiere la empresa Cajamar (2014-b) un pH más ácido involucra una vida de anaquel más larga y por tanto una mejor calidad. Sin embargo el tratamiento a 40 °C durante 120 minutos muestra una disminución en el pH, lo cual podría dar paso a disminución de la calidad del fruto por parte de diversos microorganismos.

5.1.1.5 Acidez

A medida que avanza la maduración, los ácidos orgánicos son convertidos en azúcares, disminuyendo su contenido. Ácidos como el málico, succínico y cítrico, se encuentran en la mayoría de los frutos. La modificación del contenido de ácidos orgánicos es de gran importancia a nivel bioquímico, ya que esto condiciona la activación de un gran número de enzimas responsables de los sucesos claves (ablandamiento, color, etc.) asociados a la maduración (Hernández y col. 2012).



En la figura 33 se observan los resultados de acidez obtenida durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 40 °C durante 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Se puede observar que en general la tendencia de las medias es a disminuir con respecto al tiempo. Para el día 0 los frutos de los diferentes tratamientos no muestran diferencia significativa de acidez ($P \geq 0.05$) en comparación con el control. Es en el día 5 donde los frutos del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos muestran ser significativamente mayor, con valores medios de $53.76 \times 10^{-3} \%$ de acidez, en comparación con el control que tiene valores medios de $20.48 \times 10^{-3} \%$ de acidez. Para el día 10 los frutos no muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los diferentes tratamientos y el lote control. Este comportamiento se muestra igual para el día 15 ya que tampoco los frutos muestran diferencias significativas ($P \geq 0.05$). Finalmente, en el día 20 los frutos de las condiciones a 40 °C durante 150 minutos y a 55 °C en ambos tiempos aumentan significativamente en comparación al control, ya que el tratamiento a 55 °C durante 90 minutos aumenta su media a $34.56 \times 10^{-3} \%$ de acidez, mientras que la condición a 55 °C durante 60 minutos aumenta a $30.72 \times 10^{-3} \%$ de acidez, por su parte el tratamiento a 40 °C durante 150 minutos reportó una media de $25.6 \times 10^{-3} \%$ de acidez.

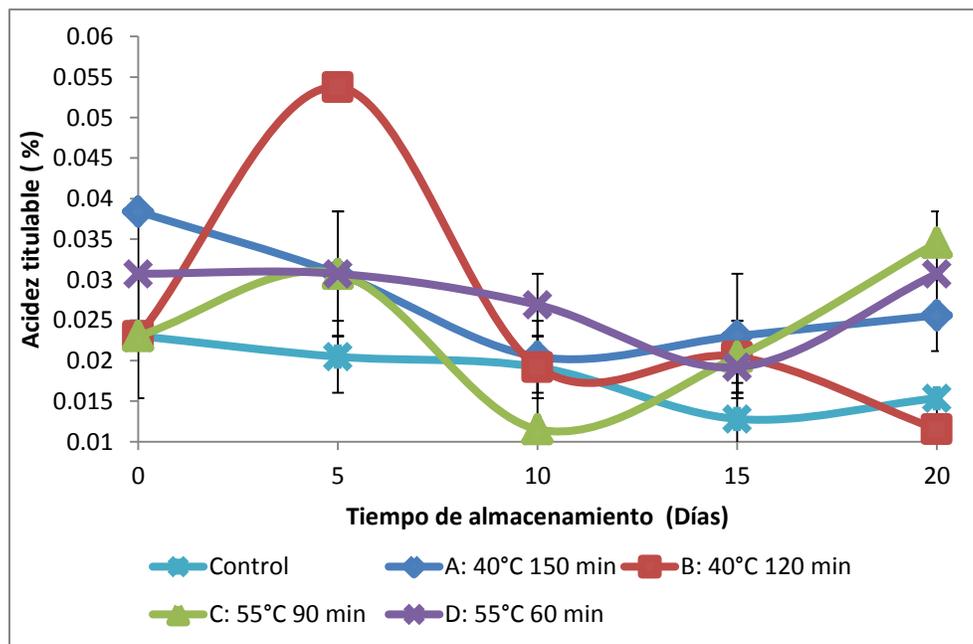


Figura 33. Acidez titulable de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.



Como ya se mencionó anteriormente, la acidez es un parámetro con variabilidad debido a que los ácidos orgánicos contenidos en el fruto verde (inmaduro) se van transformando o degradando a medida que el fruto respira (Quintero y col. 2013), por lo que en este proceso es totalmente normal la degradación de ácidos orgánicos durante la maduración; el ácido dominante en el mamey es el ácido ascórbico (40 mg/100 g), esto se ve reflejado en los mameyes del control, que cambian de 23.04×10^{-3} a 15.36×10^{-3} % de acidez durante la experimentación, de igual manera los frutos sometidos al tratamiento a 40 °C durante 150 minutos disminuyeron de 38.4×10^{-3} a 25.6×10^{-3} % su acidez y, los mameyes a condiciones de 40 °C durante 120 minutos disminuyeron de 23.04×10^{-3} a 11.52×10^{-3} % su acidez.

Lo que no concuerda con lo anterior son los frutos sometidos a una temperatura de 55 °C, ya que no disminuyeron significativamente su acidez desde el comienzo hasta el final de la experimentación, mostrando que no hubo una disminución para los frutos sometidos al tiempo de 60 minutos, presentando valores de 30.72 al comienzo y final del tiempo de almacenamiento, mientras que los mameyes bajo el tiempo a 90 minutos aumentaron desde 23.04×10^{-3} a 34.56×10^{-3} % de acidez. Esto sugiere que la madurez se vió afectada drásticamente por dichas condiciones de temperatura. De igual manera, Alia-Tejagal (2002) afirma, en su estudio de almacenamiento de mameyes, que es normal la disminución de la acidez en este fruto durante la maduración.

Díaz-Pérez y col. (2001) sostiene, es su estudio de mameyes sometidos a tratamientos hidrotérmico, que la acidez no se ve afectada en los tratamientos de baja temperatura (40, 45 y 50 °C) durante un tiempo de 20 minutos. Sin embargo, los mameyes sometidos a 60 °C durante 60 minutos experimentaron un aumento en la acidez, lo cual concuerda con los mameyes que fueron sometidos a 55 °C durante 90 minutos en esta experimentación ya que aumentaron su acidez. Esto habla de una afección de la madurez a la condición de 55 °C, lo cual puede mermar la comercialización de este fruto.

5.1.1.6 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles totales son sinónimo de calidad interna, presenta correlación positiva con el contenido de azúcares, por tanto, generalmente es aceptado



como una característica importante de la calidad del fruto (Montaño y Méndez, 2009). Es precisamente por su uso, como indicador de calidad, que se monitoreó esta condición durante los 20 días de experimentación. En la figura 34 se muestran los resultados del contenido de sólidos solubles obtenidos de los frutos mamey que fueron sometidos a los tratamientos hidrotérmicos de 40 °C durante 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Se puede observar que en general existe una fluctuación de los sólidos solubles con una ligera tendencia a aumentar durante el periodo de almacenamiento notándose un mayor aumento al final del almacenamiento para todos los frutos. Para el día 0 los sólidos solubles de los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos fueron significativamente mayores al resto de los frutos, presentando valores medios de 23.5 ° Brix, por su parte los mameyes del lote control fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) al resto de las condiciones, reportando una media de 19.5 °Brix; por su parte los frutos bajo las condiciones de 40 °C durante 120 minutos y los frutos sometidos a 55 °C en ambos tiempos, reportaron tener un valor inicial de 14 °Brix. En el día 5 se puede observar que los frutos tratados a 55 °C durante 90 minutos disminuyen significativamente los valores de sólidos solubles en comparación a los otros frutos, presentando una media de 12.5 ° Brix, mientras que el resto de frutos se mantuvieron en un rango de 24 a 26 °Brix. En el día 10 se mantiene este comportamiento por parte de los frutos tratados a 55 °C durante 90 minutos, ya que vuelven a ser significativamente menores al resto, con valores de media de 17 °Brix. En el día 15 los frutos de los tratamientos a 55 °C en ambos tiempos presentan una diferencia significativa ($P \leq 0.05$), siendo menores en comparación al resto, ya que presentan una media de 10 ° Brix para el tiempo de 60 minutos y 12.3 °Brix para el tiempo de 90 minutos. Finalmente, en el día 20 los sólidos solubles de los frutos del lote control y del tratamiento a 40 °C durante 150 minutos son significativamente mayores al resto de condiciones, con valores medios de 30.5 °Brix para el control y de 27.6 °Brix para los frutos a 40 °C durante 150 minutos. Mientras tanto los frutos de las condiciones a 55 °C se vuelven significativamente mayores (en comparación al día anterior de muestro) y sus medias igualan a la condición de 40 °C durante 120 minutos, terminando con valores de 23 °Brix para los frutos de estas 3 condiciones.

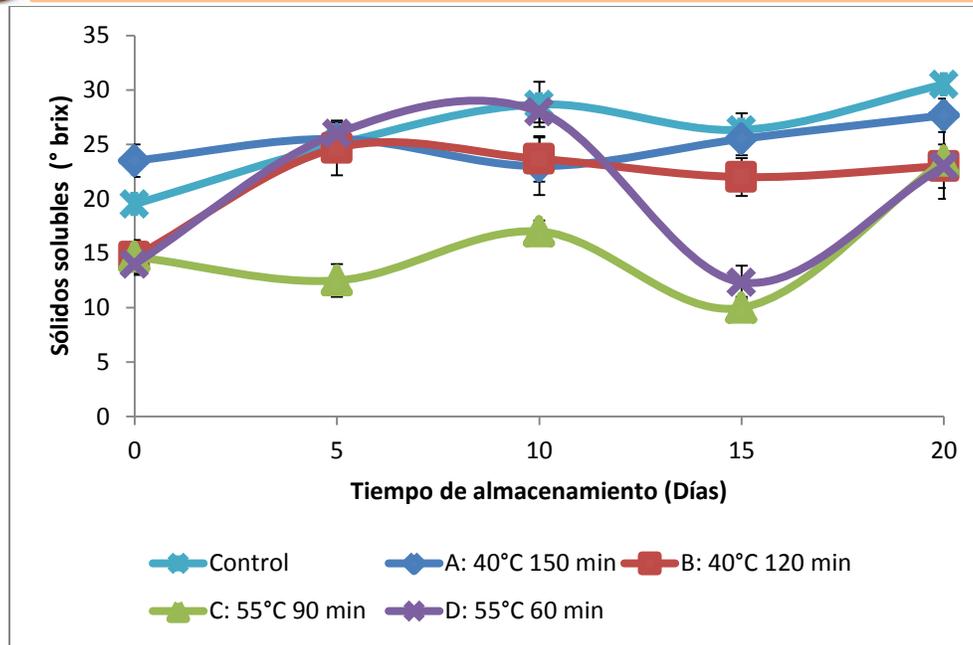


Figura 34. Sólidos solubles (° Brix) de frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los sólidos solubles totales incrementan durante la maduración como consecuencia de la hidrólisis del almidón; la glucosa y fructosa son los principales monosacáridos que los constituye y la sacarosa el principal disacárido (Ballinas-Díaz y col. 2013). Teniendo esto en cuenta, se puede aseverar que la degradación del almidón nativo en la fruta inmadura fue realizada, ya que todos los mameyes de los diferentes tratamientos aumentaron sus sólidos solubles totales: 40 °C durante 150 minutos paso de 23.5 a 27.6 °Brix, 40 °C durante 12 minutos aumentó de 14.6 a 23 ° Brix, 55 °C durante 90 minutos de 14.6 a 23.5 °brix, 55 °C durante 60 minutos paso de 14 a 23 °Brix, y el control de 19.5 a 30.5 °Brix. Cruz-Viloria y col. (2009) realizaron un estudio de atmosferas modificadas a baja temperaturas a mameyes, donde reportan valores de 15.2 ° Brix al comienzo de su experimentación para los frutos control de su trabajo. Estos valores son muy aproximados a los iniciales presentes en este trabajo.

Díaz-Pérez y col. (2001) reportan que en mameyes a temperaturas de 40, 45 y 50 °C durante 20 minutos no afecta el contenido de sólidos solubles totales, mientras que a 50 y 60 °C durante 60 minutos los valores de este parámetro tienden a disminuir con respecto al control. Tomando lo anterior en cuenta, el contenido de solido solubles no se vio afectado para los tratamientos a 40 °C en ambos tiempos, ya que aumentaron con respecto al tiempo,



sin embargo los mameyes a 55 °C durante 90 minutos se mantuvieron significativamente menores en la mayoría del tiempo de almacenamiento, lo cual concuerda con lo anteriormente sugerido por Díaz-Pérez y col. (2001). Aún así los mameyes de este estudio a 55 °C experimentaron una ganancia de azúcares, pudiendo deberse a que a esta condición de temperatura, los frutos se ven dañados y son sometidos a un gran estrés, por lo que para tratar de reparar los daños generados por estas condiciones, los frutos requieren más disponibilidad de energía rápidamente, lo cual acelera el proceso de la degradación del almidón.

5.1.2 Parámetros fisiológicos

5.1.2.1 Intensidad de respiración

La respiración es el proceso mediante el cual reservas orgánicas (carbohidratos, proteínas, grasas) son degradadas a productos finales simples con una liberación de energía. El oxígeno (O₂) es usado y el dióxido de carbono (CO₂) es producido en este proceso. La pérdida de las reservas del material orgánico en el producto durante la respiración significan: 1) una aceleración de la senescencia conforme las reservas que mantienen vivo al producto se agotan, 2) una reducción en el valor nutritivo (valor energético) para el consumidor, 3) pérdida en la calidad de sabor, especialmente la dulzura, y 4) pérdida del peso seco vendible, especialmente importante en productos destinados a la deshidratación (Kader, 1992). Teniendo esto en cuenta, se monitoreó durante un periodo de 20 días este parámetro en los mameyes sometidos a tratamiento hidrotérmico

En la figura 35 se muestran los resultados de la intensidad respiratoria obtenidos por los mameyes tratados a 40 °C durante 120 y 150 minutos y a 55 °C durante 60 y 90 minutos. Para el día 0 se puede observar que la intensidad respiratoria de los frutos de los tratamientos a 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 60 minutos son significativamente mayores, en comparación a los mameyes del resto de condiciones, reportando valores medios de respiración de 1014.5 y 758 mgCO₂/kgh respectivamente. En el día 5, los mameyes de los tratamientos a 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 60 minutos disminuyeron su intensidad respiratoria significativamente (presentando valores de 206.4 y 212.8 mgCO₂/kgh respectivamente) en comparación al día 0, agrupándose con el



resto de los frutos tratados hidrotérmicos para no presentar diferencia significativa ($P \geq 0.05$). En cambio la intensidad respiratoria de los frutos del control se volvió significativamente mayor, presentando medias de 403.8 mgCO₂/kgh. En el día 10 este comportamiento se acentúa, ya que los frutos del control son significativamente mayores al resto y a la media reportada en el día 5, llegando a valores medios de 562.6 mgCO₂/kgh. Para el día 15 los frutos del control disminuyen significativamente, en comparación al día 10, llegando a reportar una media de 203 mgCO₂/kgh para no mostrar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con los frutos de los demás tratamientos: a 40 °C ambos tiempo y 55 °C durante 60 minutos. Sin embargo la condición de 55 °C durante 90 minutos es significativamente menor en comparación al control, presentando valores de 19.4 mgCO₂/kgh. Para el día final de almacenamiento, en el día 20, los frutos de la condición a 55 °C durante 90 minutos son significativamente menores en comparación a todos los demás lotes de frutas, presentando valores medios de 26.3 mgCO₂/kgh; por su parte el lote de frutos pertenecientes al control son significativamente mayores al resto de condiciones, presentando una media de 341.8 mgCO₂/kgh.

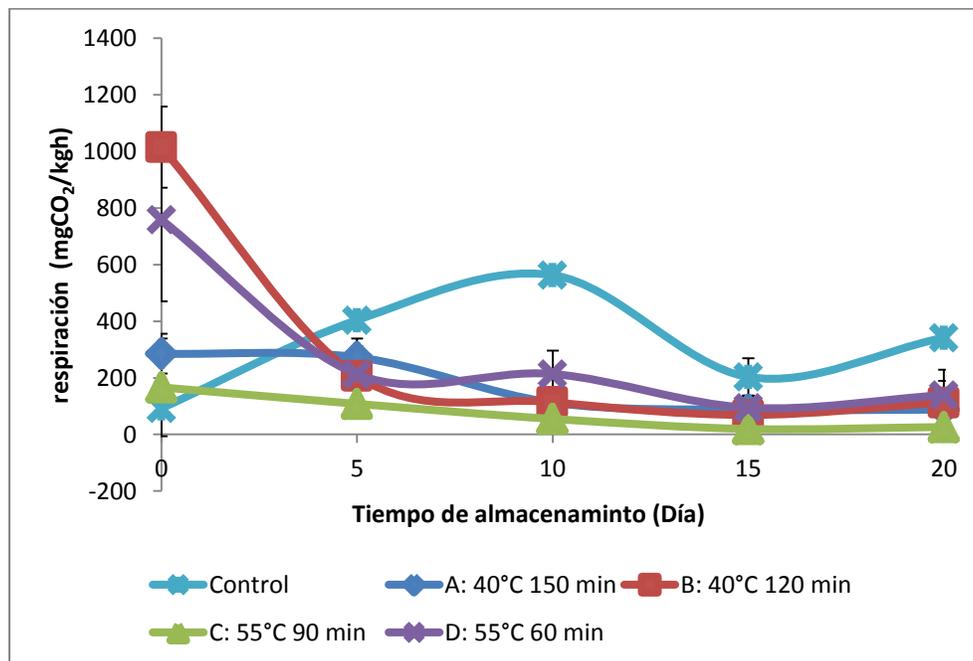


Figura 35. Intensidad respiratoria para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.



La tasa de respiración de los frutos durante el proceso de maduración determinará si son frutos climatéricos o no climatéricos. Un fruto climatérico permitirá ser cosechado y manipulado en estado preclimaterico, para luego ser madurado durante su comercialización y transporte, preservando sus características de calidad para el consumidor final. En términos botánicos, el climaterio de los frutos corresponde a un periodo de aumento significativo de la actividad respiratoria asociada al final del proceso de maduración, este periodo de respiración climatérica es una fase de transición entre la maduración y la senescencia (Manrique, 2001). Yahia y Gutiérrez–Orozco (2011), Ergun y col. (2005), Martínez –Morales y col. (2008), Pérez–Tello y col. (2009), expresan que el fruto mamey es de carácter climatérico, lo cual conlleva a tener que observar un punto climaterio, y este sólo se puede observar claramente en los frutos pertenecientes al control, en el día 10 de almacenamiento, y ligeramente en los mameyes de los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos, en el día 5, y el tratamiento a 55 °C durante 60 minutos, en el día 10 de la experimentación.

Paull y Jung (2000) reportan que los frutos suelen aumentar su tasa de respiración al inicio del tratamiento, debido a la exposición a temperaturas más altas. Esto explicaría por qué los mameyes del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos y 55 °C durante 60 minutos reportan valores iniciales de respiración más elevados en comparación con el control, pero no explica por qué los mameyes bajo las condiciones de 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 90 minutos no experimentaron cambios en su respiración en comparación con el control. De igual manera Díaz – Pérez y col. (2001) reportan que en su trabajo, los mameyes sometidos a 50 y 60 °C en este tratamiento hidrotérmico suelen tener valores más bajos de intensidad respiratoria, esto lo atribuye a que los tratamientos térmicos pueden alterar la senescencia de la fruta mediante la reducción de las tasas de producción de etileno, la respiración, la síntesis de proteínas y el ablandamiento (esto último puede también explicar los resultados de firmeza discutidos en la el apartado “5.1.1.1 Firmeza”), esto puede explicar por qué todos los mameyes de los diferentes tratamientos presentaron menor intensidad de respiración en comparación con el control, siendo más drástico el caso de 55 °C durante 90 minutos, ya que incluso se puede aseverar que la maduración se vio severamente afectada para este tratamiento, lo cual conlleva a una pérdida grave de la calidad del fruto.



5.1.3 Parámetros químicos

5.1.3.1 Contenido de carotenoides

El consumo de frutas y verduras ha demostrado su efectividad en la prevención de algunas enfermedades en los seres humanos. Las hortalizas, frutas y sus semillas han demostrado ser ricas en vitaminas como C y E, β -Caroteno y polifenoles como proantocianidinas y antocianinas. Estos compuestos podrían proteger los organismos contra lesiones causadas por radicales libres (Santacruz y col., 2012). Es por esto que se determinó, en el presente trabajo, si el tratamiento hidrotérmico tiene algún efecto adverso en el contenido de carotenos en el mamey.

En la figura 36 se muestran los resultados del contenido de carotenoides obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a los tratamientos hidrotérmicos de 40 °C por 120 y 150 minutos y a 55 °C por 60 y 90 minutos. Para el día 0 se muestra que los valores medios de carotenos de los frutos bajo la condición de 55 °C durante 90 minutos son significativamente bajos (en comparación a los frutos de los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos, 55 °C durante 60 minutos y control) reportando valores medios de 189.21 mg/100 g, por su parte, la condición de 40 °C durante 150 minutos comienza siendo significativamente mayor, reportando valores medios de 352.62 mg/100 g. Para el día 5 se observa que el contenido de carotenos de los frutos del control son significativamente mayores en comparación al día 0 y a los demás tratamientos, reportando medias de 835.76 mg/100 g, de igual manera, los frutos del tratamiento a 40 °C durante 120 minutos presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en comparación al resto de condiciones, reportando valores de 365.71 mg/100 g de media. Para la mitad del almacenamiento, el día 10, los valores medios de los frutos bajo el tratamiento a 40 °C durante 120 minutos aumentan significativamente ($P \leq 0.05$) en comparación al muestreo anterior, para ser significativamente diferente al resto de tratamientos térmicos, presentando valores medios de 763.43 mg/100 g, pero no hay diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en comparación a los frutos del control, con valores medios de 624.35 mg/100 g. De igual manera, en este día 10, se puede apreciar un aumento significativo de los valores medios de contenido de carotenoides (500.33 mg/100 g) en los frutos a 55 °C durante 60 minutos, en comparación al día 5, pero no es significativamente mayor a las condición de 40 °C durante



150 minutos y 55 °C durante 90 minutos para este mismo día. En el día 15, los frutos bajo los tratamientos a 40 °C durante 150 minutos y 55 °C durante 90 minutos, se vuelven significativamente menores al resto, presentando valores de 255.41 y 193.50 mg/100 g de carotenoides respectivamente. Por su parte, los frutos bajo el tratamiento a 55 °C y los frutos del control se vuelven significativamente mayores, presentando medias de 519.09 y 561.71 mg/100 g de carotenoides respectivamente. Finalmente, en el día 20 de almacenamiento los frutos del control se vuelven significativamente mayores a los frutos bajo tratamiento térmico, terminando con una media de 490 mg/100 g de carotenoides. Por su parte la condición a 55 °C por ambos tiempos, termina siendo significativamente menor al resto, con valores de 200.1 mg/100 g para el tiempo de 60 minutos y 155.73 mg/100 g de carotenos para el tiempo de 90 minutos. Cabe recalcar que, los frutos sometidos a 55 °C durante 90 minutos fueron los que, en general, presentaron más bajo contenido de carotenoides durante los 20 días de almacenamiento.

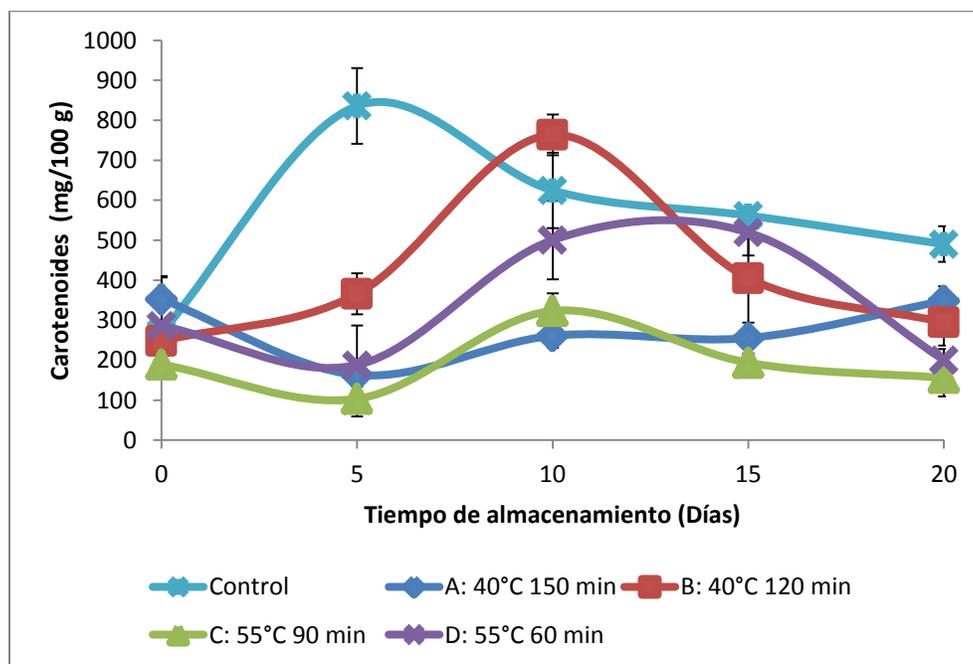


Figura 36. Contenido de carotenoides para frutos mamey sometidos a diferentes tratamientos hidrotérmicos y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Dependiendo del autor, se reportan valores muy diferentes de carotenos presentes en el mamey, ya que Yahia y Gutiérrez – Orozco (2011) reportan valores de 13 mg/100 g de carotenos presente en el mamey, mientras que Alia – Tejacal y col. (2002) reportan valores



de hasta 6960 mg / 100 g de producto fresco en frutos maduros, por lo que el contenido de carotenos varía mucho entre el estado de maduración, almacenamiento e incluso lugar de procedencia del mamey. De cualquier forma, los valores de este trabajo fueron desde el más alto de 490.06 mg/100 g de producto fresco (para el control) hasta valores de 155.73 mg/100 g (mameyes a 55 °C durante 90 minutos), por lo que se consideran dentro del rango citado.

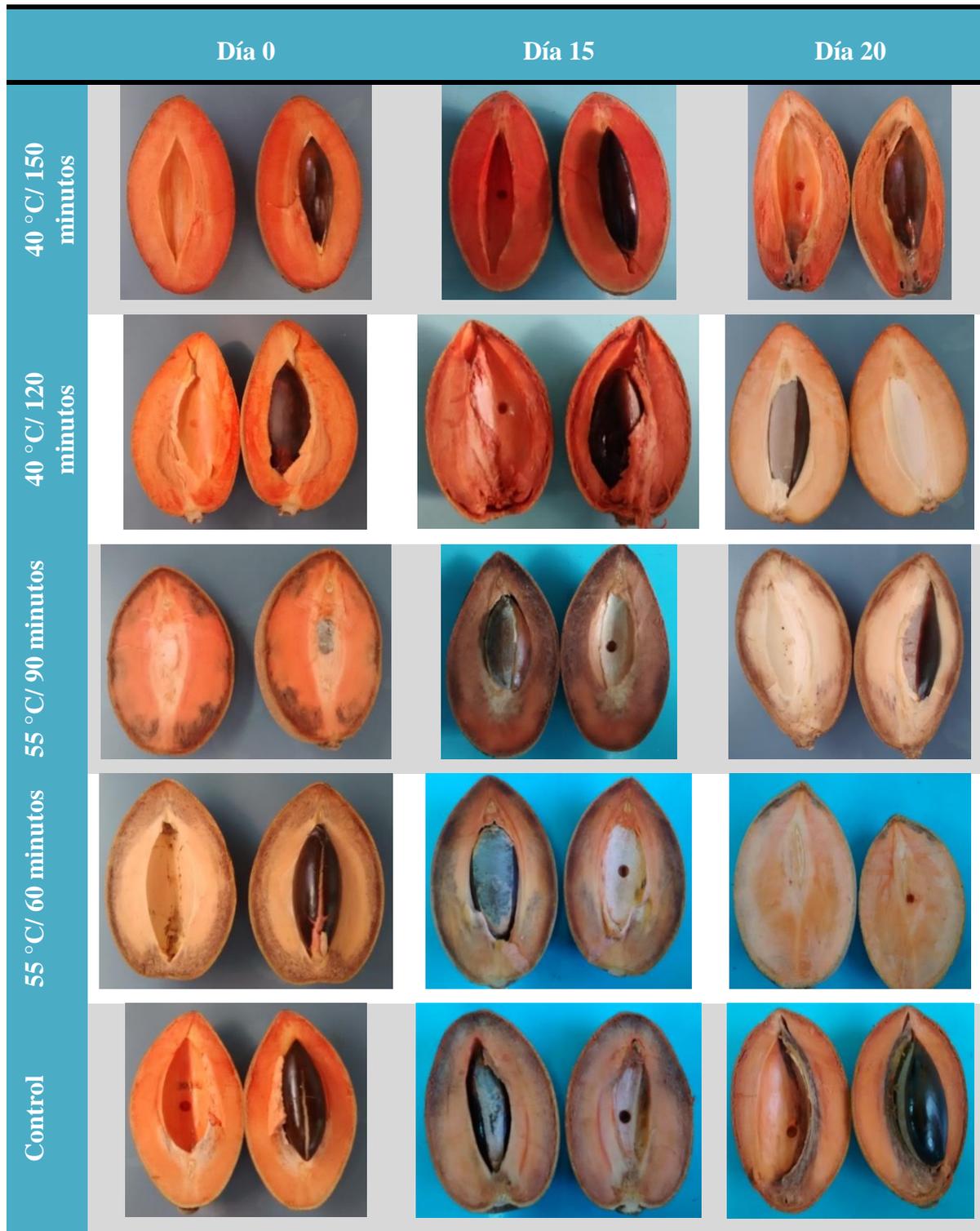
Por último, Paull y Jung (2000), realizaron estudios sobre los efectos del tratamiento térmico a diversas frutas como el mango la manzana, la naranja etc. Ellos citan en su trabajo que la síntesis de carotenoides se ve inhibida por temperaturas mayores a 30 °C, esto último explica el comportamiento de las medias de contenido de carotenoides en los frutos mamey de este trabajo, ya que los frutos a 40 °C no sólo están por debajo del contenido de carotenoides presentados por los frutos del control, sino que no cambian significativamente ($P \geq 0.05$) su contenido de carotenos, ya que el tiempo de 120 minutos empezaron con valores de 248.06 mg/100 g y termina con 294.76 14 mg/100 g, igualmente los frutos bajo el tiempo de 150 minutos empezaron con valores de 352.62 mg/100 g y terminaron en 348.48 mg/100 g su contenido de carotenoides. En cambio los frutos bajo las condiciones de 55 °C disminuyeron su contenido en carotenos iniciales, con valores medios de 286. 16 mg/100 g para el tiempo a 60 minutos y de 189. 21 mg/100 g para el tiempo a 90 minutos, terminando con valores de 200.10 mg/100 g para el tiempo de 60 minutos y 155.73 mg/100 g para el tiempo de 90 minutos. Esto indica que entre mayor sea la temperatura del medio, menor será el desarrollo de carotenoides en el mamey.

5.1.4 Seguimiento visual del tratamiento hidrotérmico

En la figura 37 se observa el seguimiento visual realizado a los mameyes sometidos a tratamientos térmicos. Se puede observar los cambios que sufrió el mamey después de ser aplicado el tratamiento hidrotérmico.



Figura 37. Seguimiento visual a mameyes sometidos a tratamientos hidrotérmicos



Para los frutos sometidos al tratamiento de 40 °C, tanto como a 150 minutos y 120 minutos podemos observar una coloración normal de los mameyes, no presentando ningún



tipo de pardeamiento anormal en ningún punto de la pulpa. En cambio los frutos sometidos a la condición de 55 °C en ambos tiempos se observan una coloración más oscura que se propaga en el mamey de afuera hacia adentro, esto sugiere que la transferencia de calor pudo perjudicar a los mameyes, de igual manera la pulpa de los frutos se ven para el día 20 de almacenamiento más oscuras que en comparación a los días anteriores. Dicho daño también se vería reflejado en los parámetros evaluados en este trabajo, ya que estos mameyes reportan, en la mayoría de los parámetros, medias alejadas del control. Entonces, se puede concluir que el tratamiento a 55 °C daña severamente la coloración y desarrollo del mamey.

5.1.5 Efectos del tratamiento térmico en el control de la mosca de la fruta

Se inicio con 2 mameyes que contenían más de 50 especímenes vivos de los cuales 48 pasaron a la etapa de pupa (figura 38). Desafortunadamente muy pocos adultos emergieron y presentaban defectos de nacimientos severos como el no desarrollar alas o incluso abdomen, por lo que morían a las pocas horas después de emerger.

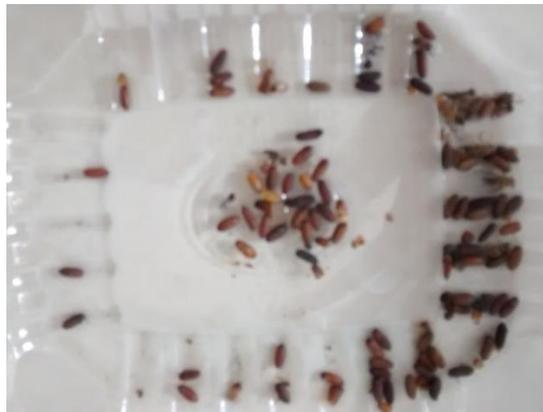


Figura 38. Pupas totales de la primera colonia de *anastrepha serpentina*

Se procedió a crear una segunda colonia la cual se mantuvo en condiciones más estrictas de humedad y temperatura para favorecer su crecimiento. Desafortunadamente las moscas que emergieron también presentaron daños morfológicos severos que las llevó a la muerte. Por estas razones para el tratamiento térmico no se pudo contar con una infestación natural de la mosca.



5.2 Efectos de los tratamientos de irradiación gamma en los parámetros de calidad, fisiológicos y químicos del mamey

La irradiación de alimentos puede ser usada para controlar la infestación de insectos, reducir el número de microorganismo patógenos o de descomposición y retrasar o eliminar los procesos biológicos naturales, tales como la maduración, la germinación o aparición de brotes en los alimentos frescos (Food Safety, 2003). Esta tecnología ha sido estudiada en múltiples alimentos pero no existe un estudio específico para el mamey, por lo que este trabajo se enfoca en el monitoreo de los efectos que tiene el tratamiento sobre la vida útil del fruto de mamey por un periodo de 20 días post tratamiento.

5.2.1 Parámetros de calidad

5.2.1.1 Firmeza

En la figura 39 se muestran los resultados de firmeza obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos de mamey que fueron sometidos a irradiación gamma con unas dosis de 300 y 1000 Gy. Se puede observar que en general la tendencia de la firmeza es a disminuir con respecto al tiempo. Para el día 0 se observa que los frutos bajo la dosis de 1000 Gy mostraron una media del valor de firmeza más elevada al resto, con valor de 27.2 N, sin embargo no demuestran diferencia significativa con las medias de los demás frutos, ya que los frutos de la dosis a 300 Gy presentan una firmeza de 20.8 N, mientras que los frutos del control muestran una media de 23 N. Este comportamiento por parte de los mameyes irradiados a 1000 Gy desaparece en el día 5, donde las medias de los mameyes de las diversas condiciones disminuyen sin presentar diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellos pero si existe diferencia significativa con sus medias del día cero. Para los días 10, 15 y 20 de almacenamiento, los frutos no muestran diferencia significativa entre ellos ($P \geq 0.05$), ni entre sus medias presentes en los días previos, terminando en el día 20 con valores similares, 0.8 N (96.1 % de pérdida) para los frutos de la dosis de 300 Gy, 1.2 N (95.5 % de pérdida) para la dosis de 1000 Gy y 0.99 N (95.7 % de pérdida) para los frutos del control.

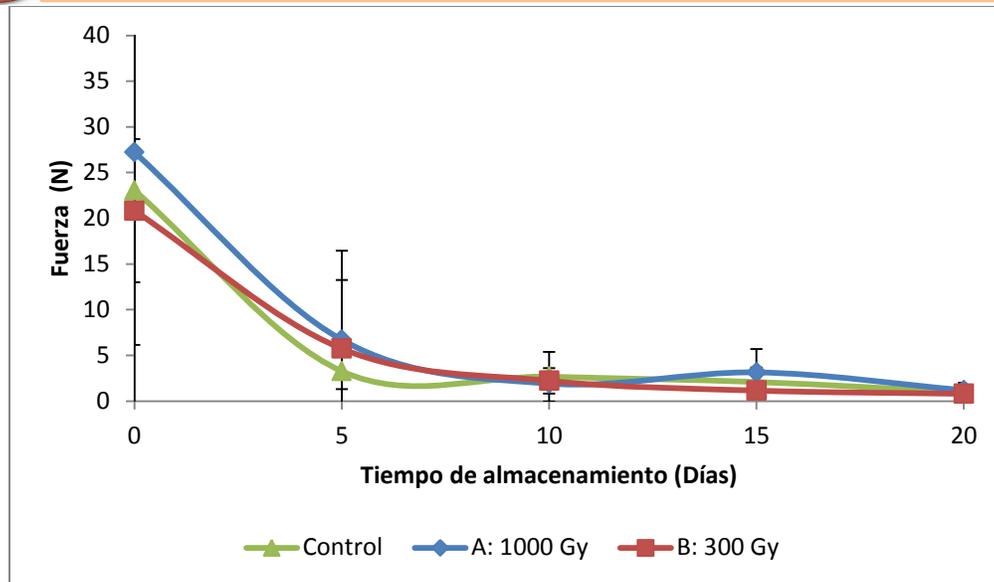


Figura 39. Firmeza para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de radiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Alia-Tejagal y col. (2005) publicaron en su estudio de almacenamiento de mamey, que el rango de firmeza para el consumo comercial de frutos está entre los valores de 1 a 12 N, por lo que se puede observar que a partir del día 5, hasta el final de la experimentación, los valores medios de firmeza de los mameyes entraron en dicho rango de valores sugeridos, por lo que el tratamiento de irradiación gamma a estas dosis no tuvo efecto en el proceso de ablandamiento natural del fruto. De igual manera Maldonado (2011) realizó un estudio variando las dosis de irradiación gamma y temperaturas de almacenamiento, para ver sus efectos sobre parámetros de calidad del mango ataulfo, obteniendo al final de su experimentación que no se observó efecto significativo entre las dosis de irradiación en la firmeza del fruto, por lo que los resultados de esta experimentación concuerdan con lo anterior reportado.

En comparación con los frutos del tratamiento hidrotérmico, podemos observar que el proceso natural de ablandamiento por la maduración no se ve afectado en ninguna de las dosis aplicadas a los mameyes en el tratamiento gamma, en cambio los frutos tratados hidrotérmicamente si demostraron tener efectos sobre este parámetro, siendo más severo en los frutos sometidos a temperaturas de 55 °C en ambos tiempos. Los mameyes bajo el tratamiento de 40 °C, en ambos tiempos, no demostraron tener diferencia con respecto al



control al final de la experimentación, de igual manera no se muestra diferencia entre los mameyes sometidos a las dosis del tratamiento gamma y el control al final de la experimentación, por lo que los frutos sometidos a 40 °C durante 120 y 150 minutos y los mameyes sometidos a la irradiación gamma, en dosis de 300 y 1000 Gy pueden ser viables para el tratamiento cuarentenario del fruto mamey.

5.2.1.2 Color

- **Luminosidad**

En la figura 40 se muestran los resultados de luminosidad obtenidos de la pulpa del mamey durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a dosis de irradiación gamma de 300 y 1000 Gy. Se observa que, en general, la luminosidad de los frutos tiende a disminuir ligeramente conforme pasa el tiempo de almacenamiento. Se puede observar que en el día 0, que los frutos bajo la condición de 1000 Gy comienzan siendo significativamente más bajos, con valores de 49.8 de luminosidad, en comparación a los frutos de 300 Gy, con valores medios de 54.5 y de 55.8 de luminosidad para los frutos control. Para el día 5, los valores medios de los frutos bajo la dosis de 1000 Gy dejan de ser diferentes significativamente ($P \geq 0.05$). No existe diferencia significativa entre los frutos irradiados y el control en los días 10 y 15. Es, finalmente, en el día 20 donde los frutos del tratamiento a 300 Gy muestran ser significativamente mayores con valores medios de 43.6 de luminosidad, en comparación al resto de condiciones, que reportan 37.3 de luminosidad para los frutos de 1000 Gy y 37.2 para los frutos control.

Pérez-Gómez y Ramírez (2010) reportan en su estudio a mangos “manila” que no presentaron diferencia en la luminosidad del control y los diferentes tratamientos gamma a los que fueron sometidos (150, 575 y 1000 Gy), esto último concuerda con los datos obtenidos en el presente trabajo ya que, si bien al final las medias de los frutos varían en el tratamiento a 300 Gy en general durante todo el seguimiento de este parámetro no varió significativamente.

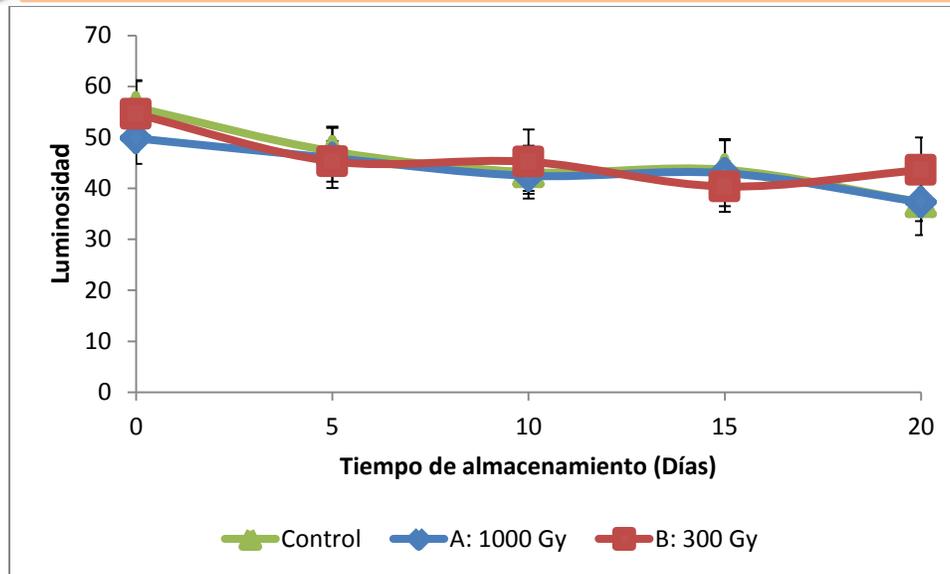


Figura 40. Luminosidad de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de radiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Por su parte Díaz-Pérez y col. (2000) reportaron en su estudio que el fruto mamey tiene luminosidad de 70 a 60 al principio del almacenamiento, y conforme se va dando el proceso de maduración éste va cambiando su color a “marrón” lo cual conlleva a que el mamey reporta valores de 50 de luminosidad, esto debido al pardeamiento gradual del fruto y a las concentraciones elevadas de compuestos fenólicos. Dicho cambio de luminosidad podría indicar que el mamey al principio de esta experimentación ya se encontraba en un periodo avanzado de maduración ya que reporta valores de luminosidad cercanos a los 50, teniendo al final valores inferiores a este límite, de 37.3, 43.6 y 37.29, para los frutos a las dosis de 1000 Gy, 300 Gy y control respectivamente. La poca variación en la luminosidad de la dosis de 300 Gy, que va desde los 54.57 de luminosidad en el día 0 y termina en el día 20 con valores de 43.6 de luminosidad, puede indicar que dicha dosis en particular ayudó a mantener de mejor manera este parámetro con respecto al tiempo.

A pesar de que los mameyes reportan valores bajos de luminosidad desde el principio de la experimentación, su poca variación estadística en comparación con el control y las dosis de irradiación, demuestra que en general este parámetro no se ve seriamente afectado y que incluso la dosis de 300 Gy puede ayudar a mantener este parámetro. Situación diferente en comparación a los frutos sometidos al tratamiento



térmico, que a la condición de 40 °C en ambos tiempos mostraron valores más bajos de luminosidad en comparación al control y a las condiciones de 55 °C en ambos tiempos, incluso detuvo el desarrollo normal de este parámetro en el fruto. Se concluye que el parámetro de luminosidad, el tratamiento de irradiación gamma muestra ser mejor que el tratamiento hidrotérmico.

- **Tono (° Hue)**

En la figura 41 se muestran los resultados del tono obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a irradiación gamma con dosis de 300 y 1000 Gy. Para el día 0 los frutos del tratamiento a 1000 Gy mostraron valores de tono significativamente menores en comparación al tono de los frutos de la otra dosis de irradiación y a los frutos del control, con valores medios de 41.3 ° Hue. Para el día 5 los frutos sometidos a irradiación gama muestran tener diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en comparación al control, presentando medias más bajas, con valores de 44.1 para ambas dosis, que en comparación el control presenta medias de 48.5 ° Hue. Para el día 10 no se muestra diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los frutos sometidos al tratamiento de irradiación y el control. En el día 15 los frutos de la dosis de 300 Gy muestran ser significativamente mayores al control, presentando una media de 46.4 ° Hue, mientras que los frutos del control reportan una media de 41.3 ° Hue. Finalmente, en el día 20 los frutos de la dosis a 300 Gy muestra ser mayor significativamente hablando, en comparación al resto de condiciones, mostrando valores medios de 51.1 ° Hue.

Díaz-Pérez y col. (2000) hacen mención en su trabajo con mameyes que los frutos presentan un color entre amarillo o rosa pálido en los primeros días posteriores a la cosecha, estos mameyes reportan valores de 55 ° Hue. Mientras tanto para las frutas con sus características ya desarrolladas presentan valores aproximadamente de 47 ° Hue. Para el inicio de esta experimentación, los mameyes reportaban valores aproximados a los 47 ° Hue, lo cual refuerza la idea, discutida anteriormente en luminosidad, de que estos frutos ya se encontraban en un estado de maduración avanzado. El tratamiento gamma aumentó los valores de los frutos, los mameyes de la dosis de 300 Gy presentaron un aumento, con valores de 46.2 ° Hue al inicio y 51.1° Hue al día 20, (un 10.7 % más elevado), mientras



que los mameyes a dosis de 1000 Gy reportaron un aumento que va desde los 41.3 ° Hue a los 44 ° Hue, (un 6.43 % más), aún así el análisis estadístico no se muestra diferencia significativa en los valores de los tratamientos en comparación al inicio y final del periodo de almacenamiento. Dicho comportamiento contradice a lo expuesto por Díaz-Pérez y col. (2000), ya que ellos sugieren que en el desarrollo del mamey este parámetro tiende a disminuir, el único que cumple con lo sugerido es el control, ya que presenta valores medios de 47.3 ° Hue al principio de la experimentación y termina con valores medios de 42.6 ° Hue (disminuye un 9.94 %). Esto puede deberse al desarrollo de la pigmentación natural del mamey, el cual se da por la presencia de carotenos. La relación del color con los carotenos se discutirá más adelante, pero es debido a eso que los datos de ° Hue pueden ser afectados. Esto indica que en los frutos se presenta un matiz que tiende a ir hacia lo amarillo, que sin duda afectaría la comercialización del producto en fresco.

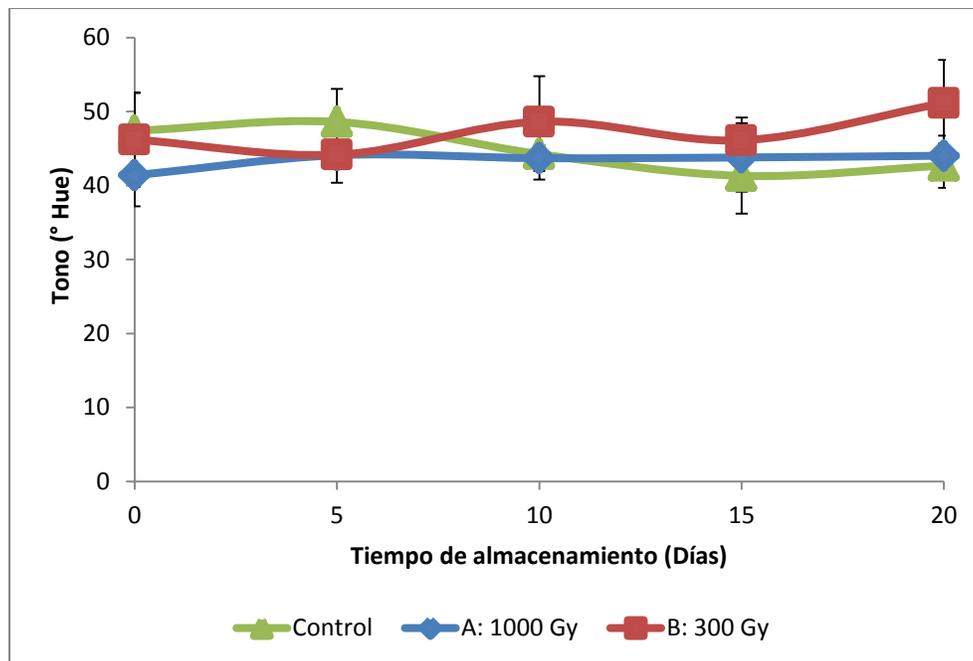


Figura 41. Tono (° Hue) de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Tanto los frutos bajo el tratamiento de irradiación gamma como los frutos del hidrotérmico tienden a elevar los valores de °Hue en los mameyes, ya que sólo los frutos pertenecientes a los controles disminuyen dicho parámetro, por lo que no existe una diferencia en el cuidado de este parámetro por los dos tratamientos; sin embargo, los



mameyes bajo la condición de 40 °C durante 150 minutos fueron los únicos que reportaron disminuciones, por tanto, si se trata de cuidar este parámetro, se recomienda que ésta sea la condición con la que se debe trabajar a los frutos del mamey.

- **Cromaticidad**

En la figura 42 se muestran los resultados de la cromaticidad obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a el tratamiento de irradiación gamma a dosis de 300 y 1000 Gy. Se puede apreciar que en general la cromaticidad tiende a disminuir con respecto al tiempo. En el día 0 los valores medios de las condiciones de 300 y 1000 Gy no muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con respecto a los frutos del control (con una media de 53 de cromaticidad), presentando valores medios de 54 de cromaticidad para los frutos de la dosis de 300 Gy y de 55.2 de cromaticidad para los mameyes sometidos a 1000 Gy. De igual manera que el día 0 los frutos bajo el tratamiento de irradiación gamma en los días 5 y 10 no muestran diferencia significativa en comparación a los frutos del control. Es en el día 15 donde los frutos bajo la dosis de 1000 Gy muestran ser significativamente menores en comparación al resto de condiciones, reportando medias de 36.4 de cromaticidad; mientras que los demás frutos muestran valores medios de 46.4 de cromaticidad para la dosis de 300 Gy y de 45.8 para los frutos del control. Por último, en el día 20, los frutos de las diferentes dosis de irradiación gamma y el control no muestran diferencia significativa ($P \geq 0.05$), aunque los frutos del control presenten una media más baja de 32.5 de cromaticidad.

Tanto Díaz-Pérez y col. (2000) como también Ramos y col., (2009) sugieren en sus respectivos estudios sobre el mamey que este parámetro no tiende a cambiar drásticamente en el tiempo de almacenamiento. Los mameyes en la presente experimentación tuvieron cambios en dicho parámetro desde su almacenamiento en el día 0 hasta el final de la experimentación, siendo en menos drástico en los frutos de la dosis a 300 Gy, con cromaticidad de 29.38 % más bajo, seguido por los mameyes sometidos a la dosis de 1000 Gy que disminuyó su cromaticidad un 32.95 %. En cambio los frutos del control fueron los que más disminuyeron su luminosidad un 38.63 %, lo cual sugiere que las dosis de



irradiación gamma son efectivas para poder prolongar la calidad de este parámetro en el fruto.

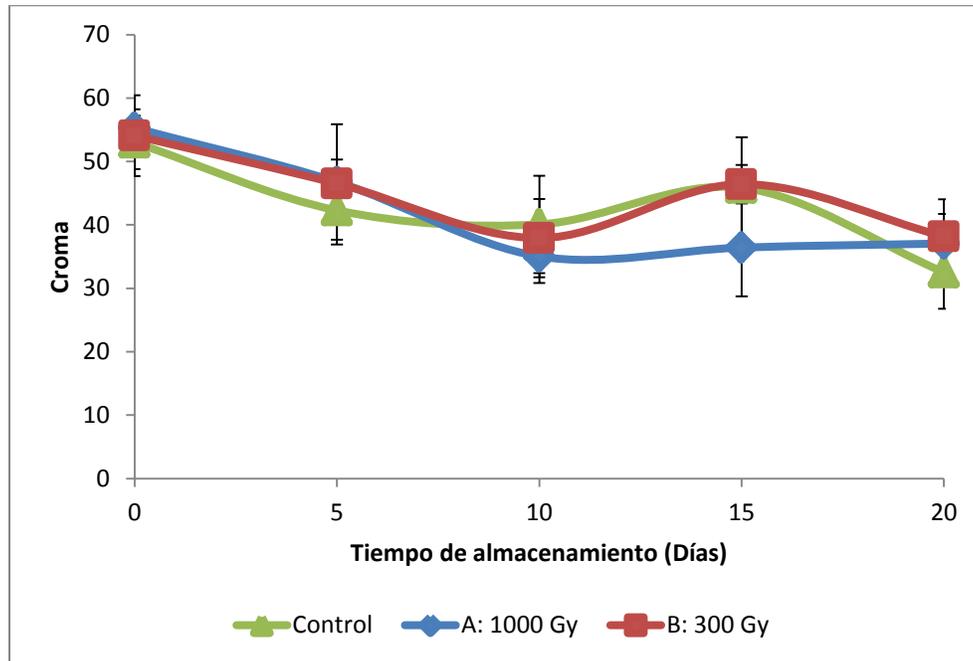


Figura 42. Cromaticidad para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Los frutos pertenecientes al control del tratamiento hidrotérmico presentaron menor cambio en la cromaticidad en comparación con los frutos del control de irradiación gamma, teniendo esto en cuenta, se puede aseverar que todos los frutos bajo los tratamientos térmicos disminuyeron su cromaticidad en comparación a su control, que fue el que mayor cromaticidad tuvo al final de la experimentación; en cambio, en los mameyes que fueron irradiados presentaron mayor conservación de este parámetro en comparación a su control, por lo que se puede decir que el tratamiento de irradiación gamma tiene mejores efectos en los mameyes que el tratamiento hidrotérmico para el cuidado de su cromaticidad durante el periodo de almacenamiento.

Por último, cabe recalcar que el tratamiento de irradiación gamma sólo afectó al parámetro de tonalidad, conservando la cromaticidad y luminosidad del fruto, dejando ver que es una buena opinión (en las condiciones que se trabajaron en el presente proyecto y



comparándolo con el tratamiento hidrotérmico) para poder alargar la calidad del color en este fruto.

5.2.1.3 Pérdida de peso

En la figura 43 se muestran los resultados porcentuales de pérdida de peso obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mameyes posterior a la aplicación de irradiación gamma, en dosis de 300 y 1000 Gy. Se puede observar que la pérdida de peso aumenta conforme pasa el tiempo de almacenamiento del fruto. En el día 5 los frutos del mamey no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los diferentes tratamientos. Este comportamiento es similar para el día 10, ya que nuevamente no presentan diferencia significativa ($P \geq 0.05$) los frutos de las diferentes condiciones, aún así, se puede observar un aumento de la pérdida de peso por parte de los frutos bajo el tratamiento de irradiación gamma, presentando medias de 3.5 % de pérdida para ambas condiciones, mientras que los frutos del control sólo reportan una pérdida de 2.8 % de su peso. Para el día 15, los frutos del tratamiento a 300 Gy aumentan significativamente su pérdida de peso, en comparación al control (con media de 3.9 %), presentando una media de 5.2 % de pérdida de peso. En el día 20 no se presenta diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los frutos irradiados y los frutos del control. Sin embargo, las pérdidas de peso reportadas en este día por los frutos irradiados son numéricamente superiores al control, con medias de 6.5 % para la dosis de 300 Gy y de 6.2 % para la dosis de 1000 Gy, mientras que los frutos del control solamente presentan una pérdida del 5.5 % en su peso.

Pérez–Tello y col. (2009) realizaron un seguimiento de diferentes parámetros en el mamey sometido a refrigeración (10 °C), donde reportan que los mameyes suelen perder peso entre un 5 a 8 % al término de su experimentación (20 días). Dicho comportamiento de los datos concuerdan con lo obtenido en esta experimentación, ya que las pérdidas de peso fueron menores.

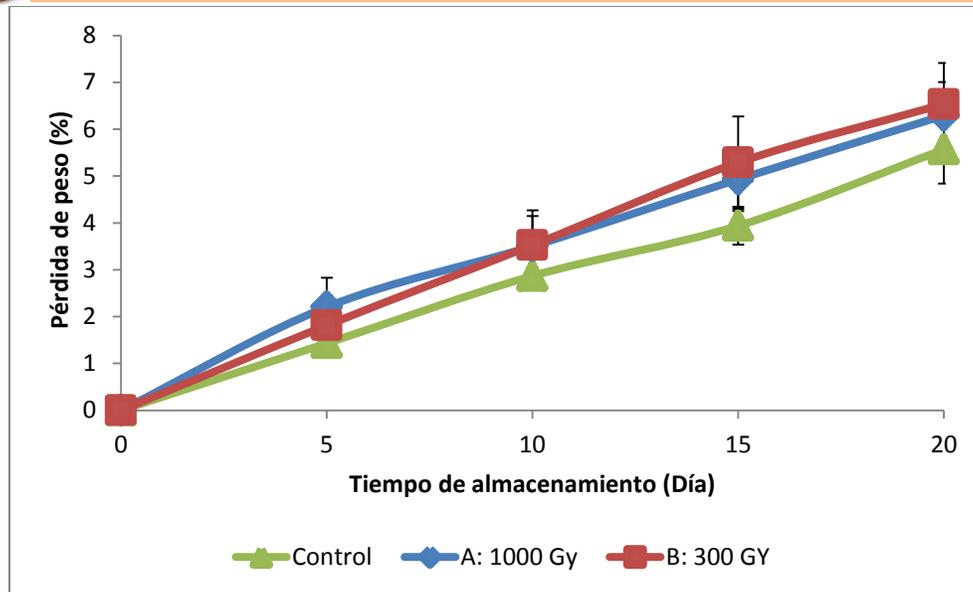


Figura 43. Pérdida de peso para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

A pesar de que no existe diferencia estadística ($P \geq 0.05$) entre los datos al final de la experimentación, se puede observar que en general los mameyes sometidos a irradiación gamma reportan mayores pérdidas de peso en comparación al control. Al-Bachir (1999) efectuó un seguimiento de diversos parámetros a dos tipos de uvas: Baladi y Helwani, encontrando que la uva Baladi irradiada a 500 y 1000 Gy obtuvo mayores pérdidas de peso en comparación con su control, lo cual se asemeja a lo obtenido en esta experimentación. Esta pérdida de peso puede deberse a una afectación no severa de la senescencia del fruto por causa del tratamiento de irradiación gamma, ya sea que las paredes celulares pudieron verse afectadas, contribuyendo a que el agua intracelular se desprendiera de una manera más fácil, aumentando ligeramente las pérdidas reportadas por los mameyes irradiados. Esto último está sujeto a comprobación experimental.

En comparación con los frutos del tratamiento hidrotérmico, el tratamiento de irradiación gamma no tuvo afecciones severas en este parámetro en los mameyes. En general las pérdidas de peso reportadas por los frutos irradiados son más cercanas a su control, que en comparación con las pérdidas de peso reportadas por los mameyes del tratamiento hidrotérmico, en comparación a su propio control, donde algunos valores de frutos se separan considerablemente del control. En cambio los frutos sometidos a 40 °C



durante 120 minutos reportaron valores más cercanos a su control pero presentando valores por debajo de éste, por lo que se puede afirmar que esta baja pérdida en peso contribuyó a conservar de mejor manera este parámetro. Sin embargo, el que no haya diferencia significativa entre los frutos irradiados y su control reitera la viabilidad del tratamiento de irradiación gamma, bajo las condiciones de este trabajo, como tratamiento postcosecha para el mamey.

5.2.1.4 pH

En la figura 44 se muestran los valores de pH obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron irradiados a 300 y 1000 Gy. Observando que en el día 0 no hay diferencia significativa entre los valores medios de los frutos irradiados y el control, iniciando con medias de 6.1 pH para la dosis de 300 Gy y de 6.3 de pH para los frutos irradiados a 1000 Gy y el control. En el día 5 los frutos de la dosis a 300 Gy muestran tener valores medios mayormente significativos, en comparación al control, reportando valores de 6.5 de pH. Finalmente, tanto para el día 10, 15 y 20 no se muestran diferencias significativas entre los valores medios de los frutos irradiados y de los frutos control. Los frutos terminan con un pH de 5.9 para la los frutos bajo la dosis de 300 Gy, 5.5 de pH los frutos a 1000 Gy y de 6 de pH los mameyes del control.

Mitchell y col. (1992) realizaron estudios de dosis bajas de irradiación gamma a más de una decena de diferentes frutos, observando que en general este tratamiento no tiene efectos significativos sobre el pH de los frutos y que incluso se mantiene constante. Esto último concuerda con los datos obtenidos en el desarrollo de la presente experimentación, ya que a pesar de que se presentó una disminución en comparación del día inicial al día 20, no fue significativa.

El tratamiento hidrotérmico tuvo afecciones al pH de lo mameyes durante su desarrollo, ya que en general las medias de estos tratamientos fueron menores al pH presentado por su control. En cambio el tratamiento de irradiación gamma no demostró tener efectos adversos sobre el parámetro en los mameyes. Por consiguiente, se puede aseverar que el tratamiento de irradiación gamma, bajo las condiciones trabajadas en este proyecto, tiende a conservar de mejor manera el pH de los frutos mamey.

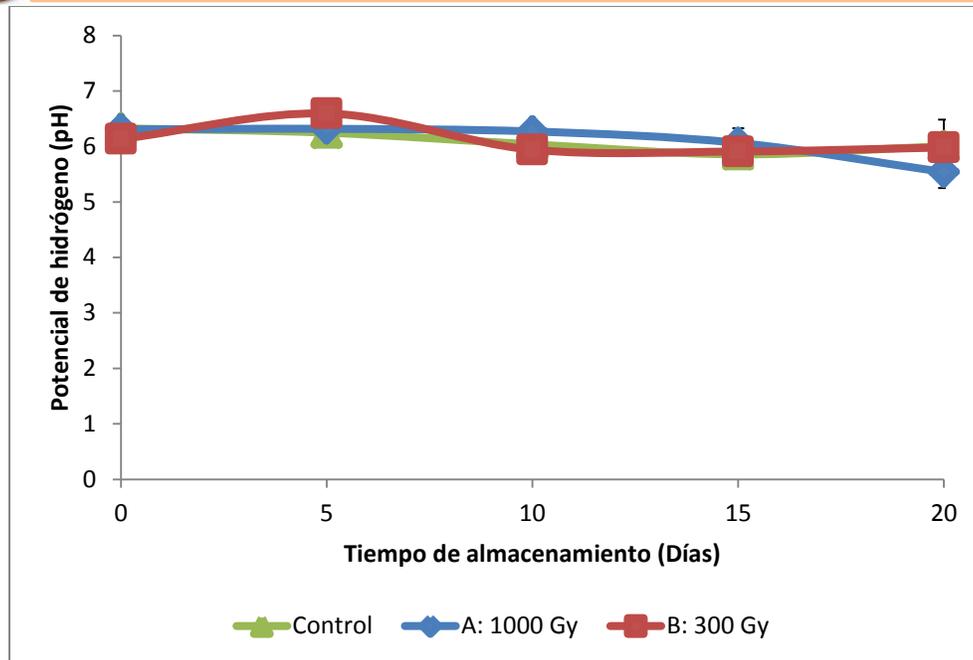


Figura 44. Cambios en pH de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

5.2.1.5 Acidez

En la figura 45 se reportan los resultados de la acidez obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a las dosis de irradiación de 300 y 1000 Gy. Se puede observar que, en general, la acidez tiende a aumentar conforme pasa el tiempo de almacenamiento. Para el día 0 los frutos de mamey de la dosis de 300 Gy comienzan siendo significativamente mayor, en comparación al control, presentando media de 22.18×10^{-3} % de acidez, mientras que los frutos de la dosis de 1000 Gy comienzan con valores de 15.36×10^{-3} % de acidez y 12.8×10^{-3} % de acidez para el control. Para el día 5, 10, 15 y 20 no se muestran diferencias significativas en comparación de los frutos irradiados, en ambas dosis, y los frutos del control.

En general se puede decir que no existe diferencia significativa de acidez entre los mameyes sometidos a las dosis de irradiación gamma en comparación en, esto concuerda con los datos obtenidos por Gina y col. (2014), quienes trabajaron con uvas de mesa, donde ellos en general no encontraron diferencia significativa entre sus dosis de irradiación (400, 600 y 800 Gy) y su control. Sin embargo la acidez de los mameyes aumenta desde el



almacenamiento hasta el final de la experimentación, dicho comportamiento también es estudiado por Youssef y col. (2002), donde sus mangos irradiados presentaron un aumento de este parámetro durante el almacenamiento. Ellos atribuyen este comportamiento a la inactivación de algunas enzimas y/o al efecto de la flora microbiana presente en el fruto durante el almacenamiento.

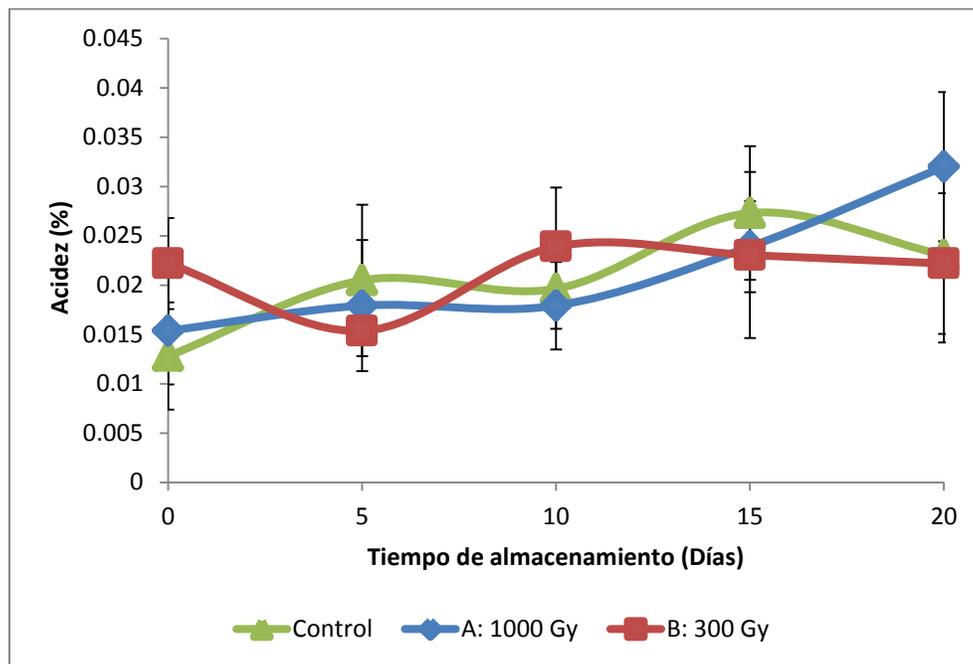


Figura 45. Cambio de ácido ascórbico para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Las dosis de irradiación gamma no tuvieron efectos significativos en la conservación de este parámetro en los frutos, mientras que los tratamientos a 40 °C, en ambos tiempos, fueron capaces de conservar con mesura la acidez presente en los mameyes, dicho esto, sí la prioridad es el cuidado de la acidez del fruto, el uso del tratamiento hidrotérmico a 40 °C y tiempos de 120 y 150 minutos, es más adecuado para conservar la acidez del fruto mamey.



5.2.1.6 Sólidos solubles

Los sólidos solubles nos indican el estado de madurez del fruto, es por esto que se monitoreo durante 20 días de almacenamiento. En la figura 46 se muestran los resultados de los sólidos solubles de los frutos mamey que fueron sometidos a un tratamiento gamma con dosis de 300 y 1000 Gy. En el día 0 se puede observar que los frutos de la dosis a 1000 Gy comienzan siendo significativamente mayores en sólidos solubles, en comparación a las demás condiciones, reportando valores medios de 28.1 ° Brix, mientras que la dosis de 300 Gy empieza con una media de 23.8 ° Brix y el control reporta 21.8 ° Brix en este día. En el día 5, los valores medios de los frutos de mamey bajo la dosis de 1000 Gy sigue siendo significativamente mayores, en comparación al control, reportando una media de 27.4 ° Brix, mientras que el control reporta valores medios de 23.3 ° Brix. Para el día 10 y 15 los frutos no reportan diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre sí. En el día 20 los valores medios de los sólidos solubles de los frutos a dosis de 1000 Gy finalizan siendo significativamente mayores, en comparación a los demás frutos. Los frutos de la condición de 1000 Gy reporta valores medios de 28.3 ° Brix, mientras que los mameyes de la dosis de 300 Gy presentan 22.2 ° Brix y por último los frutos del control 21.8 ° Brix.

Prakash y col. (2002) realizaron estudios de irradiación gamma en rodajas de tomates, reportando que no existió diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles para su control y los tomates irradiados. De igual manera Pandey y col. (2013) encontraron que no existe diferencia significativa del contenido de sólidos solubles entre los frutos lichis sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y su control. Estos trabajos concuerdan con lo obtenido durante esta experimentación, ya que en general el parámetro no cambio desde el principio de la experimentación hasta el final de ésta en los frutos irradiados y su control.

Por último, los frutos del mamey presentan valores elevados de ° Brix para ser el comienzo de la experimentación, esto refuerza la idea, anteriormente discutida, de que se encontraban en un estado avanzado de maduración, en cambio, el tratamiento hidrotérmico si experimentó aumento en los valores medios de dicho parámetro, junto con su control, un comportamiento totalmente común en este fruto. Sin embargo, las condiciones de 55 °C, en ambos tiempos, afectaron al desarrollo de sólidos solubles del mamey, por consecuente, la



irradiación gamma a las dosis estudiadas en este trabajo (1000 y 300 Gy) o el tratamiento hidrotérmico a 40 °C, en ambos tiempos, pueden ser utilizados como tratamiento postcosecha y no dañaran el contenido de sólidos solubles del mamey.

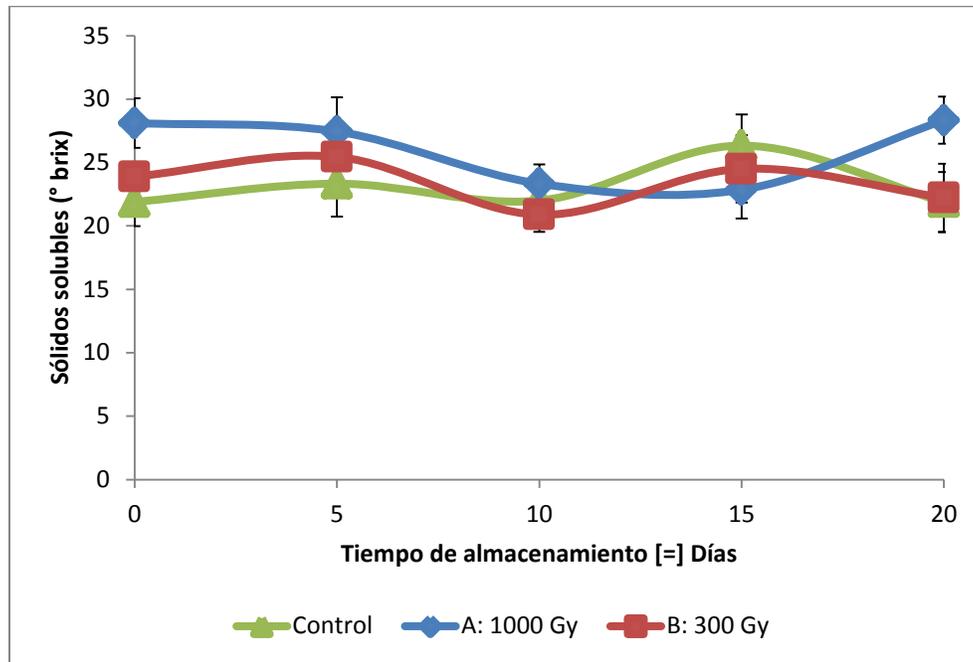


Figura 46. Cambios en sólidos solubles para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

5.2.2 Parámetros fisiológicos

5.2.2.1 Intensidad de respiración

En la figura 47 se muestran los resultados de la intensidad de respiración obtenida durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos al tratamiento de irradiación gamma con dosis de 300 y 1000 Gy. En el día 0 no se muestra diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los frutos irradiados y los frutos del control, reportando medias de 303.98 mgCO₂/kgh para la dosis de 300 Gy, 323.08 mgCO₂/kgh para la dosis de 1000 Gy y 298.31 mgCO₂/kgh para los frutos del control. Para el día 5 los valores medios de las dos dosis de irradiación siguen sin mostrar diferencia significativa ($P \geq 0.05$) en comparación con el control, este comportamiento se mantiene hasta el día 20 donde, finalmente, los mameyes irradiados a 300 Gy reportan medias de 295 mgCO₂/kgh,



por su parte los frutos bajo la dosis de 1000 Gy reportaron medias de 294.8 mgCO₂/kgh y los frutos del control terminan con valores de 313.12 mgCO₂/kgh.

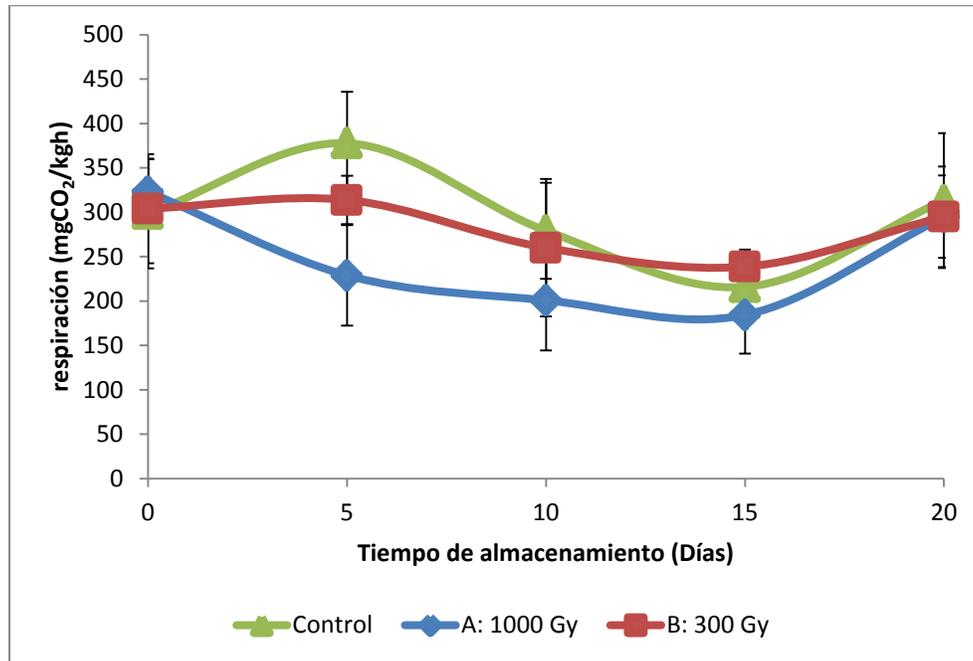


Figura 47. Intensidad respiratoria de frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

A pesar de que durante todo el periodo de almacenamiento de los frutos irradiados no mostraron tener diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre éstos y el control, se puede observar que, la tendencia de los datos de respiración tiende a disminuir conforme aumenta la dosis de irradiación, ya que los valores más bajos, numéricamente hablando, son reportados por los mameyes sometidos a la dosis de 1000 Gy, seguida por los frutos de la dosis de 300 Gy. De igual manera, en general los mameyes irradiados no muestran un punto climatérico, lo cual es común en los mameyes, y que a su vez si está presente en el día 5 para los mameyes que no fueron irradiados, con valores de respiración medios de 377.7 mgCO₂/kgh.

El estudio de las respuestas de diversos frutos al tratamiento de irradiación gamma es de sumo interés por el contraste que puede generar diversas respuestas de diferentes frutos, ya que mientras Paull (1996) en su estudio con papayas menciona que existe un aumento de la respiración conforme aumenta la dosis de irradiación, en cambio en este



estudio resultó ser inverso, y a su vez es apoyado por otros estudios como Sing y Pal (2009) que reportan en la guayaba un decremento de la respiración conforme aumenta la dosis, e incluso esto se ve reflejado en el punto climatérico de las guayabas, atribuyendo dicho comportamiento a un retraso de la maduración de la misma. Se puede decir entonces, que en el caso del mamey irradiado, tiende a bajar su respiración como consecuencia de un retraso en la maduración del fruto.

En comparación con los frutos sometidos al tratamiento hidrotérmico, los mameyes del tratamiento gamma demuestran no tener diferencia significativa en el último día de muestreo, lo cual no pasa en los frutos bajo el tratamiento hidrotérmico, que reporta valores más bajos de producción de CO₂, siendo incluso mucho más bajos para algunas condiciones, por lo que si no se tiene cuidado con el tratamiento hidrotérmico puede llegar a dañar al fruto. Dicho comportamiento no se ve en los frutos irradiados. En comparación de estos dos tratamientos, bajo las condiciones estudiadas en el presente trabajo, el tratamiento de irradiación gamma tiene mejores resultados sobre la respiración del mamey, siendo que a 300 Gy es la mejor dosis. Sin embargo los tratamientos a 40 °C, ambos tiempos, podrían seguir siendo viables.

5.2.3 Parámetros químicos

5.2.3.1 Contenido de carotenos

En la figura 48 se muestran los resultados del contenido de carotenoides obtenidos durante el periodo de 20 días de almacenamiento de los frutos mamey que fueron sometidos a los tratamientos de irradiación gamma bajo las dosis de 300 y 1000 Gy. Para el día 0 los valores medios del contenido en carotenos de los frutos bajo las condiciones de irradiación gamma comienzan siendo significativamente mayores en comparación a los frutos control, presentando valores medios de 371.54 mg/100g de pulpa del mamey irradiados a 300 Gy, mientras que los frutos bajo la dosis de 1000 Gy presentaron 389.8 mg/100g de contenido de carotenos, por su parte los frutos del control expresaron medias de 138.43 mg/100g de contenido de carotenos en su pulpa el cual fue significativamente menor que los demás frutos irradiados.. Para el día 5 valores medios de los frutos a la dosis de 300 Gy siguen siendo significativamente mayores en comparación al control, presentando valores de



348.44 mg/100g de pulpa fresca. Para el día 10 de almacenamiento, los frutos del control aumentan significativamente sus valores medios de contenido de carotenoides, llegando a reportar valores de 426 mg/100g de pulpa fresca, mientras que los frutos irradiados disminuyen sus medias de carotenoides, mostrando valores de 189 mg/100g para la dosis de 300 Gy y de 133.5 mg/100g para la dosis de 1000 Gy. En el día 15 los frutos bajo la dosis de 300 Gy muestran ser significativamente menores, reportando una media de 90.28 mg/100g. Por último, en el día 20 los frutos irradiados muestran ser significativamente menores en comparación con su control, ya que presentaron valores medios de 152.3 mg/100g del contenido de carotenoides, para la dosis de 300 Gy, mientras que los frutos tratados a 1000 Gy presentaron valores de 79.6 mg/100g del contenido de carotenoides; el control es este día reportaron valores de 225.46 mg/100 g de contenido de carotenos en la pulpa del mamey.

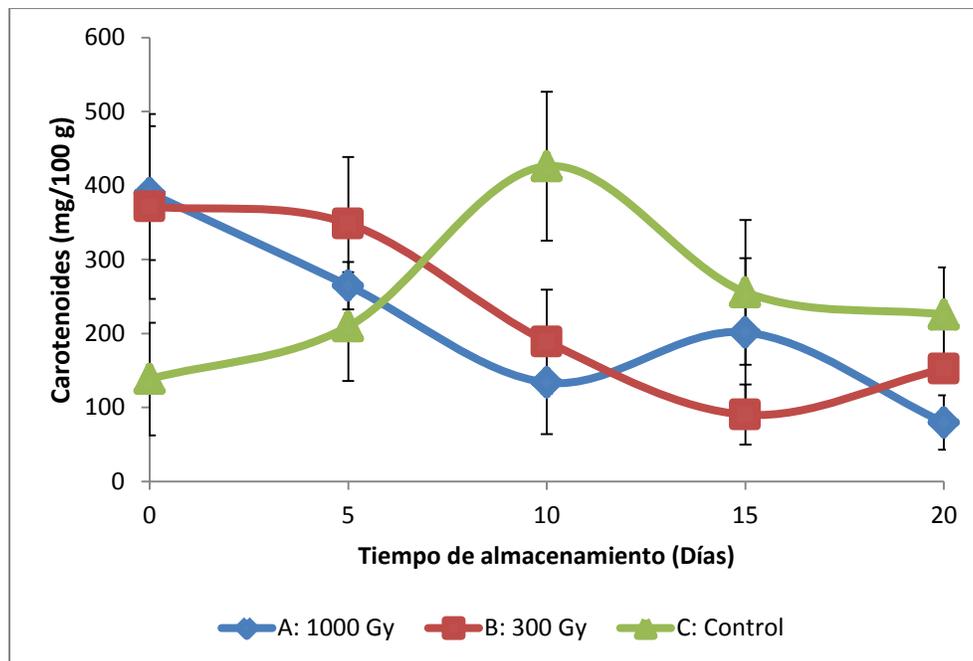


Figura 48. Contenido de carotenoides para frutos mamey sometidos a diferentes dosis de irradiación gamma y almacenados por 20 días post-tratamiento. Las barras verticales representan \pm desviación estándar.

Como se puede apreciar en la figura 48, el contenido en carotenos en los mameyes no irradiados tiende a aumentar, mientras que en los irradiados tienden a disminuir durante el periodo de almacenamiento, esto sin duda expresa que bajo las condiciones en las que se trató el mamey, el tratamiento de irradiación gamma puede dañar el contenido de este



nutriente presente en los mameyes. Sin embargo, como en el caso de la intensidad respiratoria, existen estudios a diferentes frutos que proponen diferentes comportamientos para los diversos frutos irradiados. Hussain y col. (2013) reportan un incremento de los carotenos presentes en los albaricoques secos irradiados, ésto atribuido a una mayor facilidad para extraer los carotenos (provocado por los cambios celulares de las frutas irradiadas). Mientras que Sebastiao y col. (2002) reportan un decremento del contenido en carotenos para el perejil al aumentar la dosis de irradiación gamma, aunque no es significativamente diferente en comparación a su control. De igual manera Topuz y Ozdemir (2003) mencionan que al tratar paprika, deshidratada por el sol, a mayor dosis mayor será la pérdida de este componente. Este decremento se puede atribuir a la absorción de energía por parte de la molécula que la vuelve inestable químicamente, o de igual manera al incremento de reacciones de oxidación que se da lugar debido a la oxidación de los lípidos presentes en el fruto, a los cuales los carotenos son afines.

Desafortunadamente, tanto los mameyes con el tratamiento de irradiación gamma y los frutos del tratamiento hidrotérmico muestran tener valores por debajo del control en cuanto a contenido de carotenos se refiere, por lo que ninguno de estos tratamientos es el más adecuado para lograr mantener sin cambios el contenido de carotenos presente en el mamey. Sin embargo las condiciones de 40 °C, en ambos tiempos, presentaron un menor deterioro del contenido de carotenoides, en comparación con su control, por lo que si se busca a toda costa preservar este parámetro en el mamey, el uso de tratamientos hidrotérmico es más adecuado.

5.2.4 Seguimiento visual del tratamiento de irradiación gamma.

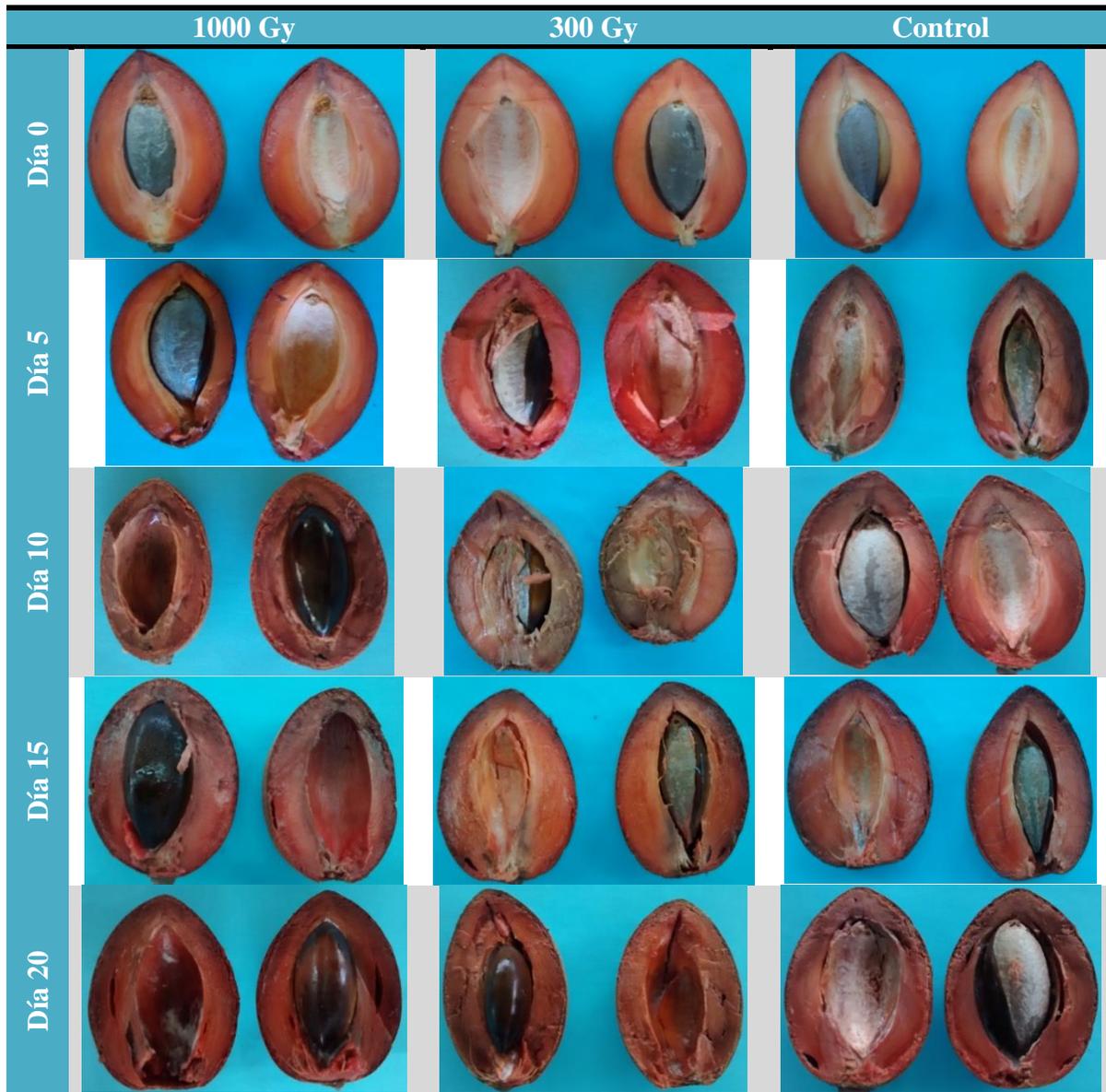
En la figura 49 se muestra el seguimiento visual realizado a los mameyes durante el periodo de 20 días una vez que fueron sometidos al tratamiento de irradiación gamma. En estas fotografías se pueden observar los cambios efectuados por el tratamiento al mamey.

En esta tabla se observa que los mameyes inician con su coloración amarillenta clásica de un estado poco avanzado de madurez, sin embargo, vemos que este estado se deja rápidamente atrás y los mameyes empiezan a madurar rápidamente, llegando al día 20 donde los mameyes muestran claramente encontrarse en un estado de senescencia. De igual



manera podemos observar como los mameyes que fueron sometidos a 1000 Gy muestran más pardeamiento en su pulpa, esto respalda los resultados inusuales obtenidos en el parámetro de color. De igual manera, aunque de forma más tenue, los frutos del tratamiento a 300 Gy muestran una alteración ligera del color. Dicho comportamiento se pueden deber a la alteración que sufrieron los carotenos, pigmento encargado de dar el color característico al fruto.

Figura 49. Seguimiento visual a mameyes sometidos a tratamiento gamma





5.2.5 Efectos del tratamiento de irradiación gamma en el control de la mosca de la fruta

El tratamiento de irradiación gamma mostró algunos frutos infestados de forma natural con la mosca *Anastrepha serpentina* (Figura 50). Se realizaron pruebas para saber si las moscas podían emerger de las pupas, pero no se observó presencia de la mosca, por lo que se puede determinar que el tratamiento no es efectivo para matar al estado larvario, pero el estado adulto no puede ser alcanzado por los sujetos irradiados. Sin embargo, al no haber presencia de larvas en los frutos del control, esto queda sujeto a experimentación.



Figura 50. Infestación natural de mameyes irradiados



Conclusiones y recomendaciones





Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En base en los resultados obtenidos en esta experimentación, se puede concluir lo siguiente:

- ✓ El tratamiento hidrotérmico a 40 °C durante 120 y 150 minutos, aplicado a los mameyes es un proceso tecnológico que no afectó los parámetros de calidad (Firmeza, cromaticidad, pérdida de peso, acidez, sólidos solubles y respiración) sin embargo, la luminosidad, tono, pH y carotenos si se vieron afectados.
- ✓ En cambio, el tratamiento de 55 °C durante 60 y 90 minutos pueden llegar a afectar el proceso de maduración del mamey, siendo más severo entre mayor es el tiempo de exposición, ya que a 90 minutos se vió severamente afectada la maduración del fruto, en donde la pérdida de peso, firmeza y actividad respiratoria fueron los parámetros que más reflejaron este suceso.
- ✓ El tratamiento de irradiación gamma demostró ser, en comparación con el hidrotérmico, el tratamiento más adecuado para el mamey, ya que no afectó los parámetros de calidad, exceptuando el desarrollo natural de los carotenos, ya que este nutriente si se vio afectado entre mayor fue la dosis, afectándose también la cromaticidad en el fruto.
- ✓ El tratamiento de irradiación gamma logró mantener sin alteración la gran mayoría de los parámetros evaluados durante esta experimentación, de igual manera los tratamientos hidrotérmico a 40 °C. Sin embargo, el tratamiento de irradiación gamma demostró ser mejor alternativa para su aplicación como tratamiento portcosecha.
- ✓ Los dos tratamientos aplicados al mamey demostraron tener impacto negativo en el desarrollo de los carotenos, por lo que el valor nutritivo del fruto se ve afectado.



Recomendaciones

- ✓ Proponer pruebas para determinar el estado de madurez del fruto para contar con los lotes homogéneos ya que desafortunadamente las pruebas de tacto y las de flotación con cloruro de sodio al 9 % demostraron no ser eficaces, por lo que se recomienda encontrar un método más efectivo para evaluar la madurez del fruto y que este implique comprometer la pulpa del fruto.
- ✓ Evaluar el tratamiento de irradiación con frutos de mamey infestados por la mosca *Anastrepha serpentina*, para corroborar su eficiencia como tratamiento cuarentenario, en las condiciones establecidas en el presente trabajo.
- ✓ El estudio de algunas otras propiedades importantes en el mamey, como actividad enzimática e índice de peróxidos, sería adecuado para ver cómo éste se ve afectado por los tratamientos.
- ✓ Se recomienda realizar estudios sensoriales para poder evaluar la aceptabilidad del consumidor de los frutos con los diversos tratamientos aplicados en este trabajo, ya que solamente los parámetros de calidad evaluados se limitan a darnos una idea de cómo estas condiciones afectan al fruto.
- ✓ Por último, se recomienda el estudio del uso combinado de estas tecnologías, ya que ambas demostraron tener fortalezas y debilidades. El uso de la menor temperatura posible y de la dosis de 150 Gy podrían ayudar a conservar de mejor manera todos los parámetros estudiados en este trabajo.



Referencias





REFERENCIAS

- 2ESOE (2016). 2ESOE_ldv_2. Fecha de consulta: 21/IV/2016 disponible en: <https://sites.google.com/site/2esoeldv2/>
- Al –Bachir M. (1999). Effect of gamma irradiation on storability of two cultivars of Syria grapes (*Vitis vinifera*). Radiation physics and chemistry. 55: 81 – 85.
- Alcérreca S. M.(2011) Preguntas frecuentes sobre la irradiación gamma. Planta de tratamiento gamma ININ. México
- Alia - Tejacal I.; Colinas León M. T.; Martínez Damián, M. T.; Soto Hernández M. R. (2002) Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapora* Jacq. & stearn) durante postcosecha. Revista Chapingo serie Horticulturas 8: 263 – 271.
- Alia - Tejacal I; Colinas León M. T; Martínez Damián M. T; Soto Hernández R. M. (2005). Daños por frío en zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. Revista Fitotecnia Mexicana, 28: 17 – 24.
- Alia – Tejacal, I., Villanueva Arce, R. Pelayo Zaldívar, C., Colinas Leon, M. T., López Martínez, V. y Bautista Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit. Postharvest Biology and Technology, 45: 285 – 297.
- Alvanitoyannis, I. S. (2010). Irradiation of food commodities. Techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion. Elsevier, Inglaterra: Londres.
- Álvarez Vargas J. E; Chávez Franco S. H; Alia Tejacal I.; Nieto Ángel D.; Valle Guadarrama S (2012). Efecto del ácido 2 – Cloroetil Fosfónico sobre la maduración de frutos de zapote mamey. Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 357 – 370.
- Amjad H., Tariq M. S., Babar M. A., Ahsanul M. H y Sayed H. (2008) Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidation in desi anda



- kabuli chickpea. Nuclear institute for agriculture and biology (NIAB), 40: 10333 – 1041.
- Ariza-Flores, R.; Yahia E.M; Vázquez-García E; Barrios–Ayala. A; Garrido-Ramírez, E.R; Michel–Aceves, A.C; Otero–Sánchez M. A; Alia–Tejacal (2009). Control de *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) y calidad de los frutos de zapote mamey *Pouteria sapota* (Jacq) Moore y Stearn tratados con aire caliente forzado. Revista Chapingo Serie Horticultural. 15(1): 9 – 15.
- Ballinas Díaz E. J; Vela Gutiérrez G. López Zuñiga E. J; Aguilar Nájera O. A; Caballero Roque A; Meza Gordillo P. I; Pérez Jácome A; Flores Guillén L. E; León González J. M. (2013) Mango. Cultivo, tratamiento pre y postcosecha. Propiedades nutrimentales y funcionales. México: UNICACH.
- Beattie Sam. (2010). Riesgos de la irradiación en alimentos. Revista de Investigación y Ciencia (mayo 2010). Fecha de consulta: 11/I/2016. Disponible en: <http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/numero/404/riesgos-de-la-irradiacion-de-alimentos-1452>
- Benkeblia N y Varoquaux P. (2003). Effects of γ irradiation, temperature and storage time on the status of the glucose, fructose and sucrose in onion bulbs *Allium cepa* L. International Agrophysics, 17: 1–5.
- Bushong C. S. Manual de radiología para técnicos. Elsevier MOSBY. Madrid, España. p.p 519.
- Cáceres I., Mulkay T., Rodríguez J. y Paumier A. (2003). Conservación de productos hortofrutícolas. Instituto de investigaciones en fruticultura tropical. Cuba: IIFT.
- Cajamar (2014a). Fichas de transferencia. Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. Grupo cooperativo cajamaer 3: 1-12.
- Cajamar (2014b). Fichas de transferencia. Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. Grupo cooperativo cajamaer 5:1-18.



- Calvo G. (2007). Nuevas técnicas de manejo postcosecha para mejorar la calidad de peras. INTA Alto Valle, Rio Negro.
- Carvajal Herrera J.J, Aristizábal Torres I. D., Oliveros Tascón C. E., y Mejía Montoya J. W. (2011). Colorimetría del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. Revista Facultad Nacional Agrícola Medellín, 64: 6229 – 6240.
- Castilla y Leon. CC.OO. Secretaria de salud laboral. (2006). Guía de radiaciones ionizantes y no ionizantes. Valladolid: ASL.
- Cerón–Carrillo T. G. y Rodríguez –Martínez V. (2007). Atmosferas controladas: principios, desarrollo y aplicación es la tecnología en alimentos. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos. 55 – 65.
- CODEX STAN 106 – 1983, Rev. 1 – 2003. General Standard for Irradiated Foods. 2003.
- CONABIO. *Manikara zapota*. Fecha de consulta: 27/VI/2016 Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/64-sapot4m.pdf
- Condón S. (2012). Posibilidades y limitaciones de las nuevas tecnologías de conservación e higienización de los alimentos. Retos microbiológicos y tecnológicos en globalización alimentaria 183–194.
- Corrales G. V y Umaña G. (2015). Efecto de cera como complemento a la inmersión hidrotérmico sobre la calidad en la fruta de papaya (*Carica papaya*. L Híbrido Pococí). Agronomía Costarricense, 139 (1): 91 – 105.
- Cortés, Y. L. (2014). Dosimetría personal en radiología convencional. Tesis de Licenciatura en Producción de Bioimágenes. Universidad Abierta Interamericana. Argentina.
- Cruz Violoria G; Alia Tejacal I; López Martínez V; Andrade Rodríguez M; Acosta Duran C. M; Villegas Torres O. G; Guillen Sánchez D; Ariza Flores R y Villareal Fuentes J. M. (2009). Atmosferas modificadas y temperatura baja en frutos de zapote



- mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]. Investigación Agropecuaria 6:173–182.
- DESCA (2007). Programa Desarrollo Económico Sostenible en Centroamérica. Zapote. Guatemala: Unión Europea
- Díaz – Pérez J. C., Bautista S. y Villanueva R. (2000). Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology*, 18: 67 – 73.
- Díaz – Pérez J. C., Mejía A., Bautista S., Zarvaleta R., Villanueva R., y López Gómez R. (2001). Response of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] fruit to hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 22: 159 – 167.
- Díaz – Pérez J. C., Bautista S., Villanueva R., López –Gómez R. (2003) Modeling the ripening of sapote mamey[*Poteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] fruit at various temperatures. *Postharvest Biology and technology*, 28: 199 – 202.
- Educar (2015). Los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos y las radiaciones no ionizantes. Fecha de consulta: 13/XII/2015. Disponible en: https://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml_get_49690e2a-e366-41d2-834e-593e89deae06/rni.educ.ar/campos-electromagneticos/diferencia-campos-electromagneticos-no-ionizantes-radacion-ionizante.html
- Ergun, M., Sargent, S. A., Fox, A. J., Crane, J. H. y Huber, D. J (2005). Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1 – methycyclopropene treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 36: 127 – 137.
- Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments. Immersion, rinsing and brushing. *Postharvest Biology and technology*, 32: 125 – 134.
- FDA (2014). Información sobre alimentos. La irradiación de alimentos EE. UU.
- FDA (2016). Packaging for Foods Treated with Ionizing Radiation. Fecha de consulta: 11/I/2016 disponible en:



<http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/IrradiatedFoodPackaging/ucm081399.htm>

Food Safety (2003). Irradiated Food. Irlanda: Food Safety Authority of Ireland.

Francis, J. K. (1989). *Mammea americana* L. Mamey. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. pp. 334 – 337

Fruitipedia (2016). Fecha de consulta: 15/VIII/2016 disponible en: <http://www.fruitipedia.com/Canistel.htm>

Gina C. K; Rakovski C; Caporaso F; y Prakask A. (2014) Low doses irradiation can be used as a phytosanitary treatment for fresh table grapes. *Journal of Food Science* 79: 81 – 91.

Gómez – Jaimes. R; Nieto D.A; Téliz-Ortíz D; Mora-Aquilera A.; Nava-Díaz C.; Martínez-Damián M.T y Vargas-Hernández M. (2012). Manejo Postcosecha de Zapote Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn) y su impacto en la calidad de la fruta. *Revista Chapingo Horticultura*, 18 (2): 235-262.

Gómez Justo, M.R. y Hernández Montes, A. (2009). Irradiación gamma como tratamiento cuarentenario en frutos de Guayaba (*Psidium guajava* L.) y los cambios en su calidad. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1 (1): 55 – 61.

González, B. Q. y López Malo, A. (2014). Tratamientos cuarentenarios no químicos como alternativa en frutos cítricos. Departamento de Ingeniería Química, alimentos y ambiente, Universidad de las Américas Puebla 8: 27 – 33.

González – Sprinberg G. y Rabin – Lema C. (2011) Para entender las radiaciones. CSIC. Montevideo, Uruguay. pp 15.

Hernández Delgado, P. M. y Fernández Galván, D. (2009) El mamey colorado. Canarias: Instituto Canario de Investigación Agraria.



- Hernández Delgado, P. M. y Fernández Galván, D. (2013). El Canistel. Canarias: Instituto Canario de Investigación Agraria.
- Hernández, M. S; Barrera, J y Melgarejo, L. M. (2012). IX. Fisiología poscosecha. Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 167 – 186.
- Hernández, Ortiz. V. (1992). El género *Anastrepha schiner* en México (Díptera: Tephritidae): taxonomía, distribución y sus plantas huéspedes. Instituto de Ecología, Sociedad Mexicana de Entomología. Xalapa, Veracruz. México. 162.
- Hussain, P. H, Chatterjee S. Variyar P. S. Charma A. Dar M. A. y Wani A. M. (2013). Bioactive compounds and antioxidant activity of gamma irradiated sun dried apricots (*Prunus armeniaca* L.) Journal of Food Composition and Analysis, 30: 59 – 66.
- Holman J.P. (1999) Transferencia de calor. CECSA, México, DF.
- International Centre for Underutilized Crops [ICUC] (2005). Tres especies de Zapote en América Tropical. Chichester: ICUC.
- Kader, A. A. (1992). Biología y tecnología de poscosecha: una revisión general. Postharvest technology or horticultural Crops. Cursos de invernadero INCAPA. California USA.
- Landrum. J. T. (2010) Carotenoids: Physical, chemical and biological functions, and properties. Ed. CRC. U.S. p.p ix
- Lopez – Navarrete M. C. (2010). Tratamientos poscosecha en el control de la antracnosis y calidad de frutos de papaya “Maradol”. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgrados. México.
- Lu, J. Vigneault, C., Charles, M.T. y Raghavan, G. S. V (2007). Heat treatment application to increase fruit and vegetable quality. Stewart postharvest review, 3: 47.



- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 14:257-269.
- Magrama. (2016). Empleo de fitohormonas en el tomate. Fecha de consulta: 18/IV/2016.
Disponible en:
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_REA/REA_196_9_05_129_131.pdf
- Maldonado Mandujano, A. A. (2011). Efectos de la irradiación gamma sobre la calidad y perfil aromático en frutos de mango cv “ataulfo”. Tesis de Ingeniería Química en Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Manica I, Icuma I.; Junkeira N. T., Salvador J. O., Moreira A., Malawolta E. (2000) *Fruticultura tropical* 6. Gioava. Portoalegre: cinco continentes. pp 374.
- Manrique Klinge, K. (2001). Noción del manejo de post-cosecha. Departamento de Mejora y Recursos Genéticos. Centro Internacional de la Papa. Lima. Perú.
- Marbella, L. W. (1998). Contribución al estudio de *Pouteria sapota* (JACQ) [Tesis de Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica] Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez – Morales, A., Alia – Tejacal, I. y Colinas – León, T. (2006) Refrigeracion de frutos de zapota mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. *Revista Fitotecnología de México*, 2:51–57.
- Martínez–Morales A., Alia–Tejacal I., Valle–Guadarrama S., Colinas–León M. T., López – Martínez V., Bautista Baños S., Andrade –Rodríguez M., Villegas–Torres O. G. y Guillén Sánchez D (2008). Comportamiento de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en atmósferas con bajo O₂ y moderado CO₂. *Revista Fitotecnología de México*. 3: 53 – 59.
- Matheus Gómez, H (2005). Las moscas de la fruta, *Boletín de sanidad vegetal* 44. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.



- Merce–Raventós, S. (2005). Industria alimentaria. Tecnologías emergentes. Edicions UPC. 101 – 12.
- Mild, K. H (2001). Radiaciones no ionizantes. En Enciclopedia de la OIT. 2; 2. España.
- Min – Sun C. and Gun – Hee K. (2015). Combined effect of hot water dipping and vacuum packaging maintaining the postharvest quality of peeled tero. Hortic. Environ. Biotechnol. 5; 662 – 668.
- Mínguez Mosquera, M. I (1993). Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos. Secretaria de publicaciones de la Universidad de Sevilla: Salamanca.
- Mitchell G. E; McLauchlan, R. L; Isaacs A. R; Williams D. J y S. M. Nottingham. (1992). Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. Journal of Food Composition and Analysis, 5: 291 – 311.
- Montaño Mata, N. J. y Méndez Natera, J. R. (2009) Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. Revista UDO Agrícola 9: 295 – 303.
- Montesinos Azorín, R. (2003). Especificacion cromatica de gamas de colores usadas en la industria del calzado. Universidad de Alicante. Alicante, España.
- Narvaiz, P. (2004). Irradiación de alimentos. Fecha de consulta: 31/V/2015 disponible en: <http://caebis.cnea.gov.ar/aplicaciones/alim/Irra1.html>
- NMX–F–312–1978. Determinación de reductores directos y totales en alimentos. 1978.
- NMX-F-102-S-1976. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. 1976.
- NMX-F-103-1982. Alimentos. Frutas y derivados. Determinación de grados brix. 1982
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. 1978.



- NMX-FF-058-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – fruta fresca – mango (*Mangifera indica* L.), 2006.
- Nolasco, N. y Iannacone, J. (2008). Fluctuación estacional de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Díptera: Tephritidae) en trampas Mcphail en Piura y en Ica, Perú. *Acta Zoológica Mexicana*. 15 (3): 33 – 44.
- NOLDOR (2015). Plantas de irradiación Fecha de consulta: 16/XII/2015. Disponible en: <http://www.noldor.com.ar/noldorweb/detalles/plantas.htm>
- Normex (2016). Irradiación de productos vegetales frescos. Fecha de consulta: 11/I/20016. Disponible en: <http://www.normich.com.mx/irradiacion.html>
- Norrbon, A. L. y K. C. Kim (1988). A list of reported host plant of the species of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae). United States Department of Agriculture (APHIS 81 – 52), Washington, DC.
- NOM – 023 – FITO – 1995. Por la que se establece la campaña Nacional contra la Mosca de la Fruta. 1995.
- NOM – 033-SSA1 – 1993, Bienes y servicios. Irradiación de alimentos. Dosis permitidas en alimentos materiales primas y aditivos alimentarios.1993.
- Núñez M. (2008). Protección radiológica en Medicina Nuclear. Escuela Universitaria de Tecnología Médica UderalR. Montevideo, Uruguay.
- Ordóñez–Pereda, J. A, Juárez – Iglesias, M., Zurera – Cosano, G., y Otero Carballeira, A. (2004) Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos. Opinión del Comité científico de la AESA sobre una cuestión presentada por la Presidencia de la AESA.11 – 43.
- Ospina Meneses S. M y Cartagena Valenzuela J. R. (2008). La atmosfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5 (2): 112 – 123.



- Pandey, N; Joshi, S. K; Singh, C. P; Kumar, S; Rajput, S. y Khandal, R. K. (2013). Enhancing shelf life of litchi (*Litchi chinensis*) fruit through integrated approach of surface coating and gamma irradiation. *Radiation Physics and chemistry*. 85: 197 – 203.
- Paull, R. E. (1996). Ripening behavior of papaya (*Carica papaya* L.) exposed to gamma irradiation. *Postharvest Biology and Technology*. 7: 359 – 370.
- Paull, R. E y Jung –Chen, N. (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21 – 37.
- Pérez Magaña, B. E. (2003). Aislamiento y caracterización de la secuencia génica que codifica para la enzima poligalacturonasa de mamey (*Pouteria sapota*). Tesis de maestría en ciencias en desarrollo de productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Pérez – Tello, G. O., Martínez Téllez, M. A. Vargas Arispuro, I. y Gonzales Aguilar, A. (2009) Chilling injury in mamey sapote fruit (*Pouteria sapota*): Biochemical and physiological responses. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 4: 137 – 145.
- Pérez – Gómez, M. y Ramírez – Orozco, L. A. (2010). Efectos del tratamiento por irradiación gamma en los parámetros de calidad de mango “manila” para exportación. Tesis de ingeniería en alimentos. Universidad Autónoma de México. México.
- Petit, J. D., Bringas – Taddei, E., González – León, A. García – Robles, J. M. y Báez – Sañudo, R. (2009) Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre la ultraestructura de la cutícula del fruto de mango. *Revista UDO Agrícola*. 9: 96 – 102.
- Pillai S y Bogan C. (2014). Ionizing irradiation for phytosanitary applications and fresh produce safety. pp. 223–232. In: Hoorfar J. (ed.) *Global Safety of fresh produce*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited



- Pine Island Nursey (2011). Fecha de consulta: 21/IV/2016. Disponible en: http://www.tropicalfruitnursery.com/fruitproducts_gl.htm
- Prakash, A; Manley, J; DeCosta, S. Caporaso, F y Foley, D. (2002). The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. *Radiation physics and chemistry* 63: 387 – 390.
- Produce de Guerrero, A.C. (2012). Mamey. Guerrero: Agenda de innovación 2012, 152 – 168.
- PROTA4U (2007). *Mammea americana* L. Fecha de consulta 21/IV/2016. Disponible en: <http://www.prota4u.org/protav8.asp?h=M4&p=Mammea+americana+L>.
- Quintero, V. C; Giraldo, G. G; Lucas, A. J y Vasco, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 11 (1): 10 – 18.
- Ramos Ramírez, F. X., Alia Tejacal, I., López Martínez, V., Colinas León, M. T., Acosta Duran, C. M., Tapia Delgado, A., y Villegas Torres, O. (2009) Almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (jacq.) H. E. Moore & Stearn] en atmósferas modificadas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15; 17 – 23.
- Riveras – Pastrana, D. M., Gardea Béjar, A. A., Martínez Téllez, M. A., Rivera – Domínguez, M. y González – Aguilar, G. A (2007). Efectos Bioquímicos postcosecha de la irradiación UV – C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnología México* 30 (4): 361 – 372.
- Robert, P. B. (2014) Food irradiation is safe: Half a century of studies. *Radiation Physics and Chemistry*. pp. 78 – 82
- Roca, M. J. y Almela L. (2004). La irradiación como tratamiento poscosecha. *Revista Horticultura*. 2: 28 – 33.



- Rodríguez Amaya, D. (2015). Análisis de Carotenoides. Fecha de consulta: 01/VI/2015.
Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/Ah833s20.htm>
- Rojas Argudo, C.; Palou, L; Cano, A.; Del Río, M. A.; Gonzáles Mas, M. C.; y Bermejo, A. (2007). Efecto de la aplicación de rayos X a dosis moderadas sobre los componentes bioactivos de mandarina “Clemenules”. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 8(2): 74 – 81.
- Sabelotodo (1999). Zapote verde (*Pouteria viridis* Cronq). Fecha de consulta: 30/V/2015.
Disponible en: <http://www.sabelotodo.org/agricultura/frutales/sapoteverde.html>
- SAGARPA (2004) Programa de sanidad vegetal – SAGARPA – GTO. Celaya Guanajuato
- SAGARPA (2007) – Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agropecuaria. *Anastrepha Serpentina* (Wiedemann). SAGARPA
- SAGARPA (2010) *Anastrepha serpentina* (Wiedemann). Servicio nacional de sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. Dirección de sanidad vegetal. Dirección de moscas de la fruta. México.
- SAGARPA (2012). Comité sistema productivo Mamey de Guerrero, A.C. Guerrero: Sagarpa.
- SAGARPA–SIAP. (2014a). Mamey. Fecha de consulta 28/II/2015 disponible en: <http://www.siap.gob.mx/mamey/>
- SAGARPA–SIAP (2014b). Producción agrícola. Fecha de consulta: 26/VII/2015 disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Santacruz, L., Osorio, C., González Miret, M. L. y Heredia F. J. (2012). Aplicación de la colorimetría triestímulo para evaluar la estabilidad de extractos ricos en antocianinas de frutos tropicales colombianas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. S93



- Sañudo – Barajas, A., Siller – Cepeda, J., Osuna – Enciso, T., Rangel, D. M., López Álvarez, G. y Labavitch, J. (2008) Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1 – metilciclopropeno y ácido 2 – cloroetil fosfórico. *Revista fitotecnia mexicana* 2: 141 – 147.
- Sebastiao, K. I; Almeida – Muradian, L. B; Romanelli, M. F; Massae Koseki, P. y Villavicencio, A. L. C. H. (2002). Effect of gamma irradiation on the level of total and cis/trans isomers of beta – carotene in dehydrated parsley. *Radiation physics and chemistry* 63: 333 – 335.
- SENASICA (2004) Detención y control de la mosca de la fruta. La fecha de consulta: 21/X/2015. Disponible en: <http://comunicacionpmf.blogspot.mx/>
- SENER – INNI (2014). Irradiación Gamma. Fecha de consulta: 1/III/2015 Disponible en: http://www.inin.gob.mx/Transparencia/irradiacion_gamma.cfm
- 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.
- Suárez, R. (2001). Conservación de alimentos por irradiación. *INVENIO*. 85 – 124.
- Téllez Palos, P. (2008). Tratamientos postcosecha para reducir daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E Moore y Stearn) en Alpoyecá, Guerrero [Tesis de Maestro en Ciencias]. Edo. México: Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Universidad Autónoma Chapingo.
- Terrazzan, P.; Saavedra, A.J.; Sichmann, H. L. y Kuge, R. A. (2006) Physicochemical Characterization of Refrigerated Strawberries from conventional and organic crop systems. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 8:33 – 37.
- Topuz, A. and Ozdemir, F. (2003). Influence of γ – irradiation and storage on the carotenoids of sun dried and dehydrated paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 4972 – 4977.



- Umaña Cerros E. (2011). Conservación de alimentos por frío. El salvador: FIAGRO, FUSADES y PROINNOVA.
- USDA. (2016). Agricultural Research Service. Fecha de consulta: 27/VI/2016 disponible en: <http://www.ars.usda.gov/is/graphics/photos/jan08/d966-1.htm>
- Valderrama, K. J.; Fischer, G. y Serrano, M.S. (2005). Fisiología postcosecha en frutos de dos cultivares de feijoa (*Acca sellowiana* O. Berg burret) sometidos a un tratamiento cuarentenario de frío. *Agronomía Colombiana*. 23:276 – 282.
- Valero, D. y Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press. Unidad States of America. p.p 95
- Weems, H. V. (2001). Sapote Fruit Fly, Serpentine Fruit Fly, *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (insect: Tephritidae). University of Florida. 1 – 3.
- X – Rite, Incorporated (2002). Guía para entender la comunicación del color. Michigan: X-Rite.
- Yahia E. M y Ariza – Flores R. (2001) Tratamientos físicos en poscosecha de fruta y hortaliza. *Horticom*. 8: 80 – 88.
- Yahia E. M y Gutiérrez Orozco F. (2011). Mamey sapote (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore y Stearn), p.p 482 – 491. IN:Yahia E. M. (ed.) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Youssef, B. M; Asker A. A; El – Samahy, S. K; y Swailam, H. M. (2002). Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. *Food Research International*. 35: 1 – 13.