

“2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón”

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COMITANCILLO

---

---

## TESIS PROFESIONAL

### TITULADO

EFFECTO DEL TRATAMIENTO CUARENTENARIO CON IRRADIACIÓN  
GAMMA EN LA CALIDAD DE FRUTOS DE RAMBUTÁN *Nephelium*  
*lappaceum* L. CAMPO EXPERIMENTAL ROSARIO IZAPA, CHIAPAS.

### QUE PRESENTA

MARÍA ISABEL CASTILLO SÁNCHEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO CON ESPECIALIDAD EN FITOTECNIA

SAN PEDRO COMITANCILLO, OAX. JUNIO DEL 2015.



RSGC 247  
Sector Nace: 36  
Terminación: 2014.07.13  
Alcance: Proceso Educativo

“2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón”

San Pedro Comitancillo, Oax. **12/junio/2015**

**No. DE OFICIO. 188-15**

**C. MARÍA ISABEL CASTILLO SÁNCHEZ**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE**  
**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**  
**P R E S E N T E**

Habiendo analizado la Tesis Profesional denominada: **“EFECTO DEL TRATAMIENTO CUARENTENARIO CON IRRADIACIÓN GAMMA EN LA CALIDAD DE FRUTOS DE RAMBUTAN *Nephelium lappaceum* L. CAMPO EXPERIMENTAL ROSARIO IZAPA, CHIAPAS”** que presenta ante la comisión revisora y previo dictamen de la misma, para obtener el título de Ingeniero Agrónomo con Especialidad en Fitotecnia, comunico a usted que dicho documento cubre satisfactoriamente los requisitos de forma y contenido, por lo que se autoriza su edición.

**ATENTAMENTE**  
“ESPÍRITU TECNOLÓGICO, REFLEJO DE TRABAJO Y LIBERTAD”



SEP THIM  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE COMITANCILLO  
DEPTO. DE DIVISIÓN DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES

**ING. JESÚS SANTOS OSORIO**  
**JEFE DEL DEPTO. DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

C.c.p. Coordinación de Titulación  
C.c.p. Archivo.

JSO/ccm



ESTA TESIS FUE APROBADA POR LA COMISIÓN REVISORA DE TITULACIÓN DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COMITANCILLO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA SUSTENTAR EL EXAMEN PROFESIONAL DE **MARIA ISABEL CASTILLO SANCHEZ**, PARA LA CARRERA DE:

**INGENIERÍA EN AGRONOMIA CON ESPECIALIDAD EN FITOTECNIA**

PREVIA REVISIÓN DE FORMA Y CONTENIDO POR EL COMITÉ DE ASESORÍA DESIGNADO CON ANTERIORIDAD POR LA DIRECCIÓN DEL PLANTEL

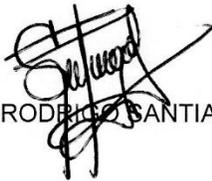
**COMISIÓN REVISORA**



M.C. PEDRO MARQUEZ CASTILLO



M.C. MEINARDO BAUTISTA RUIZ



ING. RODRIGO SANTIAGO CABRERA



M.C. IRMA PAULINA E. RIVERA NUÑEZ



Vo. Bo.

**M.C. IRMA PAULINA E. RIVERA NUÑEZ**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS**

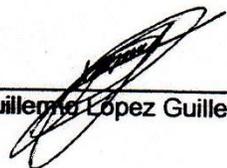


**Firma de asesores**

ASESOR INTERNO

\_\_\_\_\_  
Pedro Márquez Castillo.

ASESOR EXTERNO

  
\_\_\_\_\_  
Guillermo López Guillen

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a:

Dios por darme tantas bendiciones en mi vida, especialmente mi familia y la oportunidad de concluir satisfactoriamente mis estudios.

A mi amada abuela la Sra. Eneida Hernández Girón por apoyarme en todo momento, ser mi motivación e inspiración para lograr todos mis propósitos.

A mis padres Sr. Estanislao Castillo Ruiz y la Sra. Lourdes Sánchez Hernández por confiar en mí en todo momento y brindarme su apoyo incondicional.

A mi tipo el Sr. Ángel Sánchez Hernández por confiar en mí en todo momento, apoyarme económica y moralmente.

A mis hermanos Luis Ángel, José Antonio, Estanislao, Eneidalyn, Víctor Manuel, Alejandro y Yazmín, que mis logros les sirva de ejemplo para continuar con sus metas, gracias por su cariño, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

A todos ellos, gracias por todo!!!

Atte: Maria Isabel

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Campo Experimental Rosario Izapa perteneciente al INIFAP por la oportunidad de desarrollar la presente tesis.

A la planta MOSCAFRUT por brindarme las instalaciones y equipos necesarios para el desarrollo de las actividades.

Al Dr. Guillermo López Guillen investigador del C.E. Rosario Izapa por la asesoría en el presente trabajo, por brindarme su confianza, apoyo, paciencia, dedicación y compartir sus conocimientos en la elaboración de la presente investigación, además de proporcionarme los materiales necesarios para la realización del experimento.

Al M. C. Pedro Márquez Castillo, por la asesoría y revisión de la presente tesis.

A los productores Ing. Rubén Joo y Sr. Ángel Barrios por proporcionar los frutos de rambután necesarios para la realización del experimento.

Al M.C. Meinardo Bautista Ruiz, Ing. Rodrigo Santiago Cabrera y M.C. Irma Paulina E. Rivera Núñez por la revisión, observaciones y recomendaciones para el mejoramiento del presente trabajo.

Al M. C. Yeudiel Gómez Simuta por su amabilidad y brindarme el apoyo incondicional durante mi estancia en la planta MOSCAFRUT, además de facilitarme los materiales e instalaciones para la realización del experimento.

Al Dr. Moisés Alonso Báez, por su amistad y por compartir sus conocimientos en la parte estadística del experimento.

A la I.Q. Marisol Aceituna Medina y a la I.Q. Arseny Escobar personal de la planta MOSCAFRUT por la asesoría en la realización del experimento y facilitarme tanto las instalaciones así como los instrumentos de laboratorio.

Al personal del INIFAP principalmente a Seydi Pérez García y de igual forma al personal de MOSCAFRUT especialmente a Héctor y Jesús por apoyarme en cada uno de los días en laboratorio para la realización del experimento.

Al M. C. Javier de la Rosa y C.P. Martin por su amistad, amabilidad y apoyarme cuando fue necesaria su ayuda durante mi estancia en el C.E. Rosario Izapa.

Y cada una de las personas que de alguna forma me brindaron su ayuda incondicionalmente.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Página

ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	viii
SUMMARY .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO II. OBJETIVOS .....	13
2.1 Objetivo general .....	13
2.2 Objetivos específicos .....	13
2.3 Hipótesis .....	13
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	14
3.1 Importancia del cultivo .....	14
3.2 Generalidades .....	17
3.2.1 Origen y distribución .....	17
3.2.2 Clasificación taxonómica .....	19
3.2.3 Descripción botánica .....	19
3.2.3.1 Árbol .....	19
3.2.3.2 Flor .....	20
3.2.3.3 Fruto .....	21
3.3 Variedades .....	22
3.4 Selecciones locales .....	24
3.5 Requerimientos .....	25
3.5.1 Climáticos .....	25
3.5.2 Edáficos .....	25
3.6 Composición del fruto y usos .....	25
3.7 Cosecha .....	27
3.8 Control de calidad de rambután .....	28
3.9 Tratamientos cuarentenarios .....	29
3.10 Irradiación postcosecha .....	31
CAPÍTULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
4.1 Ubicación y descripción del área de estudio .....	33
4.2 Material biológico .....	33
4.3 Diseño experimental .....	34
4.4 Variables evaluadas .....	35
4.4.1 Variables físicas .....	35
4.4.1.1 Pérdida fisiológica de peso .....	35
4.4.1.2 Peso de fruto .....	35
4.4.1.3 Longitud de fruto .....	36
4.4.1.4 Diámetro de fruto .....	36
4.4.1.5 Color .....	36
4.4.1.6 Firmeza de pulpa o arilo .....	37
4.4.1.7 Peso de cáscara .....	37
4.4.1.8 Peso de arilo .....	38
4.4.1.9 Peso de semilla .....	38

4.4.2 Variables químicas .....	39
4.4.2.1 Sólidos solubles totales .....	39
4.4.2.2 pH.....	39
4.4.2.3 Acidez titulable .....	40
4.5 Análisis estadístico .....	41
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
5.1 Observaciones generales .....	42
5.2 Variedad “Jetlee” .....	42
5.2.1 Pérdida fisiológica de peso .....	42
5.2.2 Peso de frutos .....	43
5.2.3 Longitud de fruto .....	44
5.2.4 Diámetro de fruto .....	45
5.2.5 Color.....	46
5.2.6 Firmeza de la pulpa.....	48
5.2.7 Peso de cáscara, arilo y semilla .....	49
5.2.8 Sólidos solubles totales.....	50
5.2.9 pH .....	52
5.2.10 Acidez titulable .....	53
5.3 Variedad “Adelita” .....	53
5.3.1 Pérdida fisiológica de peso .....	53
5.3.2 Peso de frutos .....	55
5.3.3 Longitud de frutos .....	56
5.3.4 Diámetro de frutos.....	56
5.3.5 Color.....	57
5.3.6. Firmeza de la pulpa.....	59
5.3.7. Peso de cáscara, arilo y semilla .....	61
5.3.8. Sólidos solubles totales.....	62
5.3.9 pH .....	64
5.3.10. Acidez titulable .....	65
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66
6.1 Conclusiones .....	66
6.2 Recomendaciones.....	68
CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA .....	69

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Origen y características del fruto de los cultivares de rambután ( <i>N. lappaceum</i> Linn) en el sureste Asiático.....	23
2	Composición química de 100 g de arilo de una fruta fresca de rambután.....	26
3	Criterio de cosecha de algunas variedades seleccionadas de rambután introducidas por la FHIA mediante PROEXAG.....	28
4	Dosis de irradiación aprobada para insectos y grupos de insectos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, y Servicio de Inspección Sanidad Animal y Vegetal (USDA-APHIS).....	30
5	Tono, saturación y luminosidad ( $\pm$ EE) del color del pericarpio de frutos en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluados durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma con fuente de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.....	47
6	Peso de cáscara, arilo y semilla ( $\pm$ EE) en frutos de rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.....	50
7	Tono, saturación y luminosidad ( $\pm$ EE) del color del pericarpio de frutos en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluados durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma con fuente de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.....	59
8	Peso de cáscara, arilo y semilla ( $\pm$ EE) en frutos de rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Producción de rambután en el continente Asiático.....	15
2	Superficie sembrada de rambután en México.....	16
3	Producción de rambután en diferentes municipios del estado de Chiapas.....	17
4	Distribución geográfica del rambután partiendo del país de origen a los países de introducción.....	18
5	Tipos de flores de rambután: flor estaminada de planta masculina; flor hermafrodita y funcionalmente masculina; flor hermafrodita y funcionalmente femenina.....	21
6	Morfología del fruto de de rambután ( <i>N. lappaceum</i> Linn): 1) oval, 2) ovoide y 3) elipsoide.....	22
7	Selecciones de rambután ( <i>N. lappaceum</i> Linn): cultivadas en el Soconusco, Chiapas, México.....	24
8	a) Frutos de rambután preparados para irradiación. b) cámara de irradiación.....	34
9	a) Frutos de rambután etiquetados; b) balanza analítica; y c) peso de fruto.....	35
10	a) Longitud y b) diámetro del fruto.....	36
11	Colorímetro.....	37
12	a) Corte de frutos; b) parte media del fruto; c) penetrometro.....	37
13	Separación de la cascara, arilo y semilla en frutos de rambután.....	38
14	Peso de cáscara y arilo de rambután.....	38
15	Refractómetro Atago – Pal 3, para °Brix.....	39
16	Proceso para obtener las muestras de arilo para tomar pH y acidez titulable.....	40

17	a) Gotas de fenofaleína en las muestras a titular; b) titulación de arilo con NaOH.....	40
18	Pérdida fisiológica de peso (PFP) (%) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	43
19	Peso de frutos (g) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	44
20	Longitud de frutos (mm) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	45
21	Diámetro de frutos (mm) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	46
22	Firmeza de la pulpa (g/cm <sup>2</sup> ) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	49
23	Solidos solubles totales (°Brix) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0,	

	50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	51
24	pH en (+EE) rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	52
25	Acidez titulable (ácido cítrico %) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).....	53
26	Pérdida fisiológica de peso (%) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	54
27	Peso de frutos (g) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	55
28	Longitud de fruto (mm) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	56
29	Diámetro de fruto (mm) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0,	

	50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	57
30	Firmeza de la pulpa (g/cm <sup>2</sup> ) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	60
31	Sólidos solubles totales (°Brix) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	63
32	pH (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	64
33	Acidez titulable (ácido cítrico %) (+EE) en rambután ( <i>N. lappaceum</i> ) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co <sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).....	65

## RESUMEN

El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es un fruto tropical nativo de Asia, el cual se cultiva ampliamente en la región Soconusco, Chiapas. Los frutos para su exportación deben estar libres de plagas y enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación sobre la calidad fisicoquímica y vida de anaquel de frutos de rambután de dos variedades: “Jetlee” y “Adelita”. Se irradiaron los frutos a 0 Gy, 50 Gy, 150 Gy, 300 Gy y 400 Gy. Se midió la pérdida fisiológica de peso, el peso de fruto, longitud y diámetro de fruto, color, firmeza de la pulpa, peso de cáscara, peso de arilo, peso de semilla, sólidos solubles, pH y acidez titulable. Los resultados mostraron que los frutos de rambután de la variedad “Jetlee” y “Adelita” conservaron su calidad hasta los 4 y 6 días de almacenamiento, respectivamente. La pérdida fisiológica de peso de los frutos para ambas variedades mostró cambios significativos debido a la dosis de irradiación con los días de almacenamiento. Tanto el peso de los frutos como el diámetro para la variedad “Jetlee” fue afectada por los días de almacenamiento con la dosis de irradiación pero en “Adelita”, únicamente por la dosis de irradiación. Las dos variedades mostraron cambios en ciertos parámetros del color de los frutos debido a la irradiación. La longitud, pH y acidez titulable de los frutos no fue afectada por la irradiación en ambas variedades. La firmeza de la pulpa presentó cambios por la irradiación en ambas variedades, observándose una tendencia a disminuir conforme avanzaron los días de almacenamiento. El peso de cáscara de la variedad “Jetlee” no fue afectada por la irradiación, sin embargo, el peso de arilo y semilla sí fueron afectados; no obstante, en la variedad “Adelita” el peso de la cáscara sí fue afectado por la irradiación y días de almacenamiento, en tanto que el peso de arilo y semilla no resultó afectado por la irradiación. Los sólidos solubles en la variedad “Jetlee”, presentaron cambios debido a la dosis de irradiación y los días de almacenamiento, sin embargo, en la variedad “Adelita” los grados Brix fueron afectados sólo por los días de almacenamiento.

**Palabras clave:** Irradiación gamma, rambután, calidad fisicoquímico, días de almacenamiento.

## SUMMARY

Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) is a tropical fruit native from Asia, which is widely cultivated in the Soconusco, Chiapas. The fruits for export must be free of pests and diseases. In this study we evaluate the effect of different doses of irradiation on the physicochemical quality and shelf life of rambutans of two varieties: "jetlee" and "Adelita". Fruits were irradiated at 0 Gy, 50 Gy, 150 Gy, 300 and 400 Gy. Physiological weight loss, fruit weight, fruit diameter and length, color, pulp firmness, weight shell, aryl weight, seed weight, soluble solids, pH and titratable acidity was evaluated. The results showed that rambutan fruits of the variety "jetlee" and "Adelita" maintained their quality until 4 and 6 days of storage, respectively. Physiological weight loss of the fruits for both varieties showed significant changes due to the irradiation dose with days storage. Weight and diameter for the variety "jetlee" was affected by storage days with the dose of irradiation but "Adelita" only by the irradiation dose. Both varieties showed changes in certain parameters of the color of the fruit due to irradiation. The length, pH and titratable acidity of the fruit were not affected by irradiation in both varieties. The flesh firmness presented changes by irradiation in both varieties, showing **a tendency to decrease as the** days progressed storage. The shell weight in the variety of "jetlee" was not affected by irradiation, however, the weight of aryl and seed itself were affected; however, shell weight in variety "Adelita" was affected by irradiation and storage days, while the aryl and seed weight was not affected by irradiation. The soluble solids in variety "jetlee" showed changes due to irradiation dose and storage days, however, in the range Brix were affected it only for the days of storage "Adelita".

Keywords: gamma irradiation, rambutan, physicochemical quality, storage days.

## INTRODUCCIÓN

El rambután *Nephelium lappaceum* L., es un árbol de Malasia e Indonesia que pertenece a la familia Sapindaceae. Esta especie, es originaria del Archipiélago Malayo, pero está ampliamente distribuida en el sureste de Asia, y es cultivada en Tailandia, Malasia, Vietnam, Filipinas, India y Sri Lanka. Los frutos de rambután en dichos países se usan principalmente para el consumo de fruta fresca y para procesos industriales de enlatado (Morton, 1987; Watson, 1988). En México, el cultivo del rambután se introdujo al municipio de Tuxtla Chico, Estado de Chiapas, entre los años de 1950 a 1960. A partir de entonces, se generó material vegetal propagado por semilla, aunque actualmente la mayoría de las plantas propagadas y comercializadas son por injerto. En esta región, el fruto de rambután cada día es más conocido, debido a que en la actualidad se cultiva en más de 200 hectáreas a nivel de plantaciones frutícolas comerciales, mientras que a nivel de traspatio existen aproximadamente 50,000 árboles; además, se considera una alternativa económica para la transformación ecológica de zonas frutícolas y cafetaleras en altitudes entre los 100 y los 700 m (Pérez y Jürgen, 2004).

De acuerdo con las estadísticas de la FAO en el año 2009, se obtuvo una producción total de rambután en el mundo de 1806.9 ton, dicha producción fue obtenida principalmente en el continente Asiático. Los principales países productores fueron Indonesia, Tailandia, Vietnam, Malasia, Sri Lanka, Filipinas y China (FAO, 2011).

Según cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación (SAGARPA), en México durante el año 2013, los principales estados productores de rambután fueron Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Michoacán y Nayarit. En el estado de Chiapas, la superficie sembrada de rambután fue de 184.00 ha, de las cuales se cosecharon 174.00 ha, con una producción obtenida de 1,666.37 ton, con un rendimiento promedio de 0.95 ton por hectárea. Dicha producción se concentró en los municipios de Tapachula, Cacahoatán, Metapa de Domínguez, Frontera Hidalgo, Huehuetán y Tuzantán (SIAP/SAGARPA, 2014).

Los frutos de rambután son no climatéricos y son cosechados cuando presentan calidad comestible y apariencia visual óptima (Tindall, 1994). Existen varios factores que limitan severamente su vida de almacenamiento. Aunque el fruto parezca razonablemente resistente, las espinas suaves (*spinterns*) son fácilmente dañadas, es la primera parte del fruto en deteriorarse. Una vez que esto ocurre pierde su apariencia o presentación principal y el valor para su consumo se reduce considerablemente. Tiene una corta vida de anaquel y el fruto se deteriora rápidamente después de la cosecha (O'Hare, 1992). El fruto se convierte en un producto altamente perecedero, lo que trae como consecuencia pérdidas fuertes, cuando no se comercializan después de 3 días de cosechados (Wijeratnam *et al.*, 1998).

Con el fin de alargar el tiempo de vida útil de productos agrícolas mínimamente procesados y asegurar que están libres de plagas, en los últimos años se han estudiado tecnologías postcosecha y tratamientos cuarentenarios, tales como atmósfera modificada, aplicación de ozono, recubrimiento comestibles, radiación gamma, radiación UV-C, y otras (Andrade *et al.*, 2010; Hossain *et al.*, 2011). Entre las tecnologías postcosecha, las radiaciones ionizantes a dosis moderadas se han mostrado eficaces como tratamientos fitosanitarios para el control de plagas y prolongando en general la vida útil de frutas y hortalizas

(Kader, 1986). Diversos estudios han demostrado que dosis por debajo de 300 Gy es requerida para la esterilización de la mayoría de los insectos, mientras que la dosis requerida para un control efectivo de las pudriciones son frecuentemente mayores de 1, 000 Gy. La mayoría de las frutas toleran valores de dosis superiores a los 150 Gy, por ejemplo, la papaya, el kiwi, entre otras, se pueden irradiar a dosis de 1 kGy o más (Kader, 2002). La eficacia de la irradiación ionizante depende en gran medida a una combinación de varios factores, incluyen el lugar de origen del producto, cultivo, práctica de manejo y condiciones locales (Prieto, 1997).

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación de rayos gamma de  $\text{Co}^{60}$  sobre la calidad fisicoquímica y vida de anaquel de frutos de rambután de dos variedades.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de diferentes dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$ , en la calidad fisicoquímica de frutos de rambután de dos variedades cultivadas en el Soconusco, Chiapas.

#### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar el efecto de la irradiación en la vida de anaquel de frutos de rambután de dos variedades.

Determinar el efecto de la irradiación en el peso, largo, ancho, firmeza, grados brix, peso de cáscara, peso de arilo, peso de semilla, pH y acidez titulable en frutos de rambután de dos variedades.

#### **2.3 Hipótesis**

Existen diferencias en la vida de anaquel y la calidad fisicoquímica de los frutos de rambután de dos variedades cuando reciben distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$ .

## CAPÍTULO III

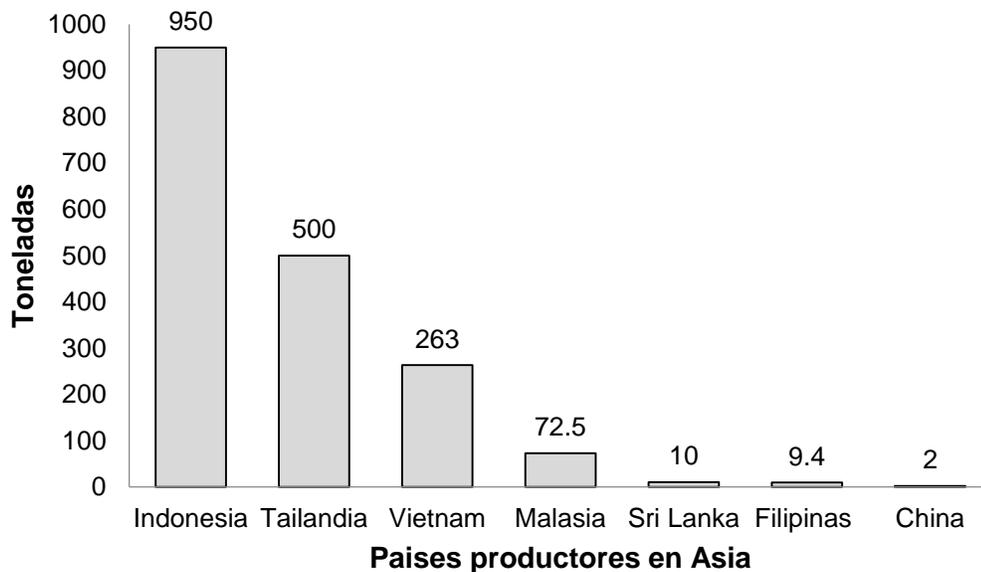
### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Importancia del cultivo

En la familia Sapindaceae, se incluyen más de 150 géneros y cerca de 2000 especies de árboles, arbustos, plantas herbáceas y trepadoras de amplia distribución en los trópicos y zonas cálidas del planeta (FHIA, 2003). El rambután *N. lappaceum*, es de la familia Sapindaceae, a la cual también pertenecen otros frutales importantes, tales como el logan *Dimocarpus longan* Lour, el litchi *Litchi chinensis* Sonn y el pulazán *Nephelium mutabile* B1 (Fraire, 2001). El nombre rambután proviene del vocablo malayo “rambut” que significa "pelo", en referencia a los espinaretes largos y suaves que cubren la superficie del fruto (FHIA, 2003).

El nombre común del rambután cambia de acuerdo al país, por ejemplo, en Francia es *ramboutan* o *ramboutanier*, en Alemania, *ramboetan*, en la India, *ramboostan*, para los chinos *shao tzu*, para los vietnameses *chom chom* o *vai thies* y en Costa Rica mamón chino o rambután (Morton, 1987). El cultivo se ha desarrollado exitosamente con un incremento de su importancia en África, Australia y América Central (Walker 1988; Watson 1988). Según Ochse *et al.* (1976), el rambután es una de las frutas más exquisitas y constituye toda una promesa para las áreas de baja altitud en los trópicos húmedos (Almeyda, 1981).

Según la FAO, en el año 2009 se obtuvo una producción total de 1806.9 toneladas de rambután en el mundo, distribuidos en el continente Asiático. Los principales países productores fueron Indonesia (950 ton), Tailandia (500 ton), Vietnam (263 ton), Malasia (72.5 ton), Sri Lanka (10 ton), Filipinas (9.4 ton) y China (2 ton) (Fig. 1) (FAO, 2011).

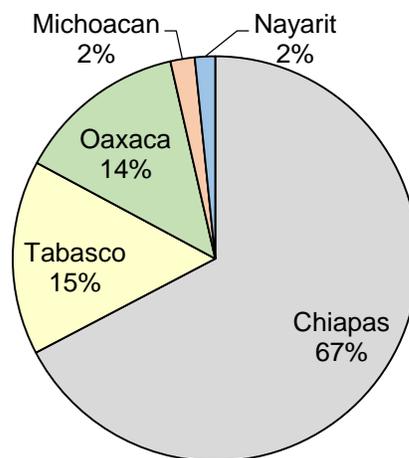


**Figura 1.** Producción de rambután en el continente Asiático (FAO, 2011).

Según el Centro de Inteligencia sobre Mercados Sostenibles (CIMS), las importaciones europeas de rambután oscilan entre 2,500 y 3,000 ton anuales. Los principales importadores de rambután en Europa son Holanda, Reino Unido, Francia, Alemania e Italia; y en América son Estados Unidos y Canadá. Malasia es el principal exportador del mundo, seguido por Tailandia país que es el mayor exportador a Europa. Indonesia, es otro importante exportador para el mercado holandés. Mientras que Madagascar envía casi toda su producción a Francia. Otros países exportadores importantes son Australia, Puerto Rico y recientemente Colombia, Honduras y Panamá (AGEXPORT, 2008). En los últimos 10 años el cultivo de rambután ha tenido una notable expansión en la región centroamericana, especialmente en Honduras, Guatemala y Costa Rica, y en menor proporción en Nicaragua y el Salvador (Artiles, 2006).

En México, el fruto es muy poco conocido, pero con potencial para que se incremente su consumo, su establecimiento y desarrollo en el trópico húmedo y subhúmedo, en función de las condiciones agroclimáticas que requiere su cultivo. El rambután fue introducido en nuestro país a los estados de Chiapas y Veracruz; en donde se estima que existen alrededor de 250 hectáreas plantadas, de las cuales, 100 ha, se encuentran en producción y cuya fruta obtenida se destina a los mercados de México, E. U.A., Canadá y Japón (De la Garza, 2006). Actualmente se cultiva también en los estados de Nayarit y Tabasco (Pérez y Pohlen, 2004).

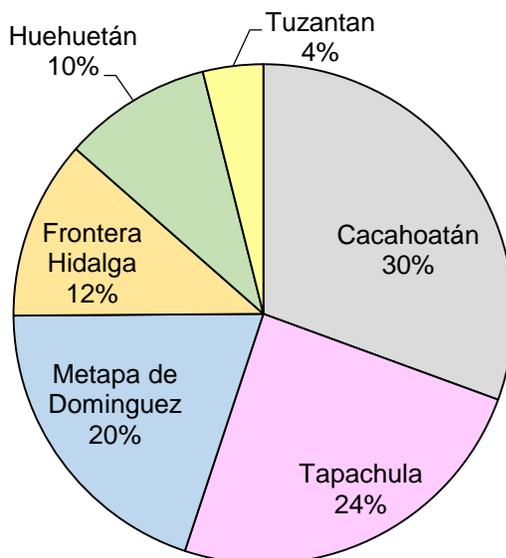
El SIAP, indica que en el año 2013 en México los principales estados productores de rambután fueron: Chiapas con una superficie sembrada de 184 ha, en las cuales se obtuvo un rendimiento promedio de 9.58 ton/ha, seguido por Tabasco (24 ha y 5.69 ton/ha), Oaxaca (21 ha y 2.20 ton/ha), Michoacán (3 ha, y 0.00 ton/ha) y Nayarit (2.50 ha y 11.49 ton/ha) (Fig. 2). En total en estos estados, se sembró una superficie de 234.50 ha, que generó una cosecha en 221.50 ha, en las cuales se obtuvo una producción de 1, 860.56 ton, con lo que se logró un rendimiento de 8.40 ton/ha, con un valor total de la producción de 15, 532.99 miles de pesos (SIAP/SAGARPA, 2014). Las cifras anteriores representan una fuente de divisas para los productores y una fuente de empleo por la mano de obra que se ocupa en toda la cadena productiva.



**Figura 2.** Superficie sembrada de rambután en México (SIAP/SAGARPA, 2014).

La aceptación en los mercados regionales y nacionales está posicionando al cultivo de rambután como alternativa económica en zonas frutícolas y cafetaleras del estado de Chiapas en áreas ubicadas entre los 100 y 700 m de altitud (Pérez y Jürgen, 2004).

En el estado de Chiapas, la superficie sembrada de rambután en el año 2013 fue de 184.00 ha, de las cuales se cosecharon 174.00 ha, con una producción de 1,666.37 ton y un rendimiento promedio de 0.95 ton/ha. La producción se concentró en Cacahoatán (509.60 ton), Tapachula (408.37 ton), Metapa de Domínguez (330.00 ton), Frontera Hidalgo (193.20 ton), Huehuetán (160.20) y Tuzantan (65.00 ton) (Fig. 3) (SIAP/SAGARPA, 2014).



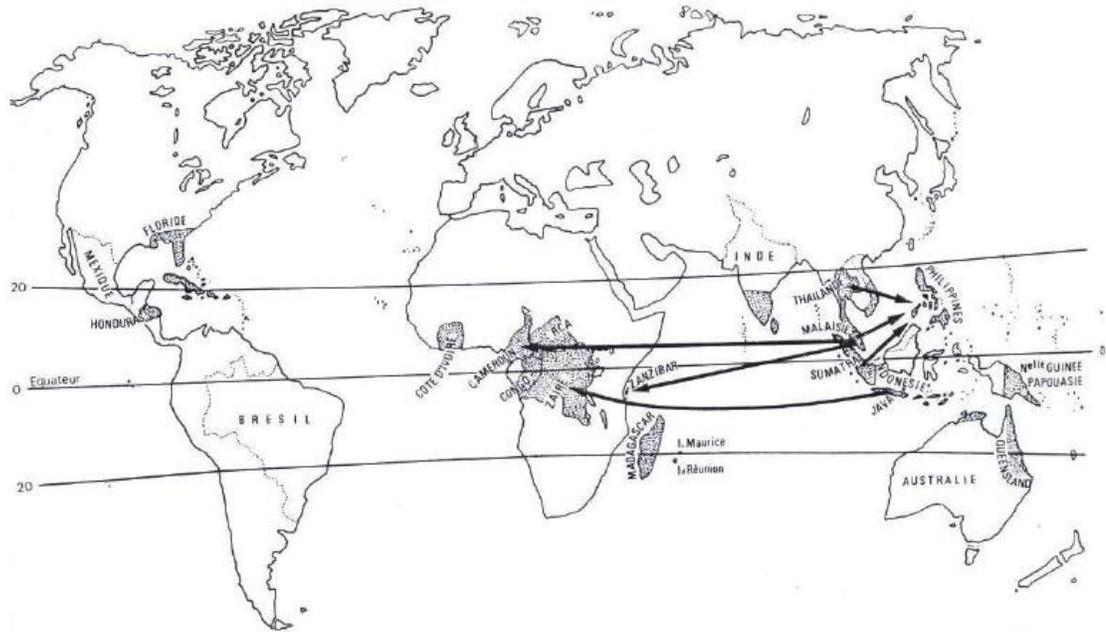
**Figura 3.** Producción de rambután en diferentes municipios del estado de Chiapas (SIAP/SAGARPA, 2014).

## 3.2 Generalidades

### 3.2.1 Origen y distribución

El rambután es originario del Archipiélago Malayo. Debido al efecto combinado de cultivo y selección, aparecieron numerosos cultivares y empezaron a crecer en muchas regiones tropicales bajas de Asia, (Morton, 1987). El Consejo Internacional de Recursos Genéticos (IBPGR) reportó en 1986 que a principios de siglo, el cultivo del rambután estuvo limitado a Indonesia y Malasia,

posteriormente se introdujo con buenos resultados, a la India, Filipinas, Tailandia, Honduras y otros países del área tropical. Delabarre elaboró en 1989 una carta en la cual muestra la distribución geográfica del rambután partiendo del país de origen hacia los países de introducción (Fig. 4) (Fraire, 2001).



**Figura 4.** Distribución geográfica del rambután partiendo del país de origen a los países de introducción (Fuente: Delabarre, 1989).

El rambután se ha difundido desde tiempos prehistóricos en la mayoría de los países tropicales del Sureste de Asia. Sin embargo, son introducciones de materiales seleccionados durante el siglo XX las que han permitido el desarrollo del cultivo en escala comercial en varios de estos países (FHIA, 2003). Su cultivo se ha incrementado en Australia y Hawaii, así mismo, se ha extendido a los trópicos incluyendo África, el Caribe y Centroamérica, con grandes posibilidades de comercializarlo en el mercado de los Estados Unidos (Ruiz, 2007).

En México, el cultivo de rambután se introdujo al municipio de Tuxtla Chico, Estado de Chiapas, entre los años de 1950 a 1960. A partir de entonces, se generó material vegetal propagado por semilla, aunque actualmente la mayoría de las plantas propagadas y comercializadas son por injerto (Pérez y Jürgen,

2004). La propagación vegetativa del rambután es una eficiente innovación para la producción de plantas injertadas de alta calidad ya que se asegura el contenido genético en el establecimiento de las nuevas plantaciones y contribuye a la difusión de los clones mejorados de alto rendimiento y buenas características agronómicas (Sandoval, 1994). El cultivo de rambután todavía es muy poco difundido a excepción de Chiapas, donde en el Soconusco hoy en día se cultivan más de 200 hectáreas con plantaciones frutícolas comerciales (Pérez y Pohlen, 2004).

### **3.2.2 Clasificación taxonómica**

Tamaro, (1979) citado por Pérez (2009) menciona que la clasificación taxonómica del rambután es la siguiente:

Reino: Vegetal

Clase: Dicotiledónea

Orden: Sapindales

Familia: Sapindácea

Género: *Nephelium*

Especie: *N. lappaceum*

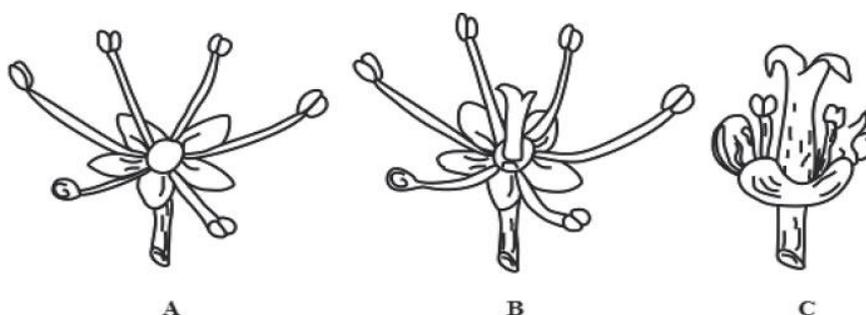
### **3.2.3 Descripción botánica**

**3.2.3.1 Árbol.** Es un árbol de tamaño mediano, que alcanza entre 15 y 25 m de altura. Con un tronco recto y copa densa, copiosamente ramificada y redonda. Bajo condiciones adecuadas los árboles provenientes de semilla empiezan a fructificar a los 5 o 6 años; cuando se propagan vegetativamente empiezan a producir a los 2 o 3 años. Las hojas son alternas, paripinadas, hasta 6 pares, ovaladas a ovoides, 5-28 cm x 2-10.5 cm, generalmente horizontales, glabras o a veces levemente nervadas en el nervio central, de ápice truncado o acuminado, nervios curvados ligeramente fuertes, venas escalariformes a retículo grueso (Gutiérrez, 2007).

**3.2.3.2 Flor.** Las inflorescencias se forman en los extremos de las ramas y, de acuerdo a las características de las flores se pueden clasificar en tres grupos (Fig. 5):

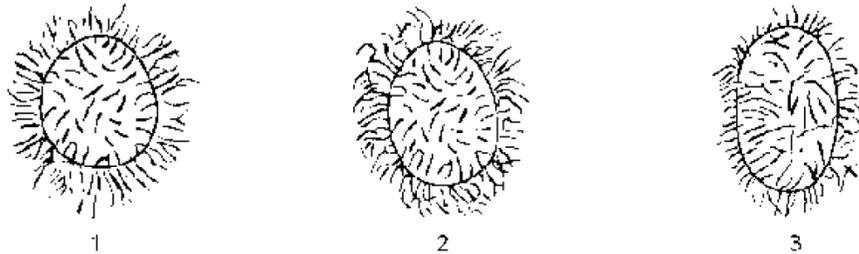
- a) Los árboles masculinos, que producen sólo flores masculinas, por lo general constituyen el 50% de una población de plantas propagadas por semillas (Figura 5 A) (Sacramento y Andrade, 2014). Las flores masculinas que presentan un disco poligonal de donde crecen de 5 a 8 estambres de 3 a 4 mm de largo, las anteras son pequeñas de color amarillento con abundantes y viables granos de polen, el filamento es de color blanco recubierto de pubescencia blanca; el ovario es rudimentario, pequeño y con ausencia de un pistilo funcional, en algunos casos no aparece (FHIA, 2006).
- b) Árboles que producen flores hermafroditas, que son funcionalmente femeninas (Figura 5 B), es el tipo preferido para el cultivo (Sacramento y Andrade, 2014). Estudios realizados por Valmayor *et al.* (1970), señala que las flores hermafroditas funcionalmente femeninas tienen un pistilo bien desarrollado y de cinco a siete estambres pequeños funcionales. El ovario es súpero y posee dos lóculos conteniendo cada uno un óvulo. El estigma es bífido, raramente trifido y se abre completamente en la anthesis expandiendo toda su superficie a los granos de polen.
- c) Las flores masculinas se agrupan en panículas de hasta 30 cm de largo, están desprovistos de ovario funcional y poseen de 5 a 7 estambres. Cada flor mide 5 mm de diámetro y 2 mm de altura cuando está completamente abierta. Las flores hermafroditas nacen en panículas semejantes a las plantas masculinas, y cada panícula posee de 200 a 800 flores pueden abrir hasta 100 flores por día. Las flores son de color amarillo verdoso, y tienen un predominantemente ovario femenino bilocular con estigma bífido en la parte superior. Flores con ovario unilocular o trilocular, con el correspondiente número de estigmas lobuladas, en ocasiones se producen en las flores femeninas. En las

flores femeninas, seis estambres surgen desde la base bien desarrollada del ovario, pero estos no son los estambres dehiscentes. Cada flor tiene aproximadamente 5 mm de largo y 4 mm de ancho (Tindall, 1994).



**Figura 5.** Tipos de flores de rambután: flor estaminada de planta masculina (A); flor hermafrodita y funcionalmente masculina (B); flor hermafrodita y funcionalmente femenina (C) (Adaptado de Coronel, 1983; citado por Tindall, 1994).

**3.2.3.3 Fruto.** El fruto es una drupa redonda u ovoide de 3 a 6 cm de largo y 3 a 4 cm de ancho (Fig. 6). El pericarpio es de color rojo, amarillo y en algunos casos anaranjado; tienen un grosor de 2 a 4 mm y está cubierto de protuberancias carnosas, conocidas como espiternos (van Welzen y Verheij, 1991). El arilo es translúcida, de color blanco a amarillo pálido, con un espesor de entre 8 y 15 mm, cuyo sabor puede variar de dulce a muy claramente ácido, y también de contenido variable y textura (Sacramento *et al.*, 2009). Los frutos agrupados nacen en los raquis de las panículas. Dependiendo del clon, el fruto es oblongo y maduro de color rojo y menos común de color amarillo. La cáscara es cubierta con pelos o espinas dorsales, gruesas y suaves. La pulpa comestible es blanca y el gusto se extiende de ácido a dulce. El gusto ácido y la dificultad de despegar la pulpa de las semillas son considerados elementos de mala calidad para el fruto. Las semillas que no tienen endospermo son normalmente redondeadas por un micrópilo final y marcadamente señalado en el extremo opuesto. Tienen una testa fibrosa incluyendo un embrión con dos cotiledones desiguales (Gutiérrez, 2007).



**Figura 6.** Morfología del fruto de rambután (*N. lappaceum*): 1) oval, 2) ovoide y 3) elipsoide (IPGRI, 2003).

### 3.3 Variedades

Thindall *et al.* (1994) menciona que existen más de 100 variedades de rambután en el ámbito mundial; se distinguen por sus características en la calidad de la fruta, maduración, grado de alternancia, requerimientos climáticos, entre otros.

En Hawaii existen colecciones de rambután como Binjai, Gula Batu (R-3), R-7, R-156 rojo, R-156 amarillo, R-167, Rongrien, Seelegkeng, Unknown, Overall y Daun Hijau (R-162), originarios de Malasia (Mcquate *et al.*, 2000). En las regiones de Indonesia, Malasia, Singapur, Filipinas, Tailandia y Brunei Darussalam, se encuentran los cultivos comerciales de Lebakbulus, Binjai, Simacan y Rapih de Indonesia; R-134, Muar Gading (R-156), Khaw TowBak (R-160), Long Lee (R-161), Deli Cheng y Jetlee de Singapur; Seematjan, Seenjonja y Mahalika de Filipinas; Rongrien, Seechoompoo y Bangyeekhan de Tailandia (Zee, 1995). En Malasia son recomendados los cultivares R-134 y R-162, en Singapur el cultivar Jetlee y en Tailandia el Rongrien (Lye *et al.*, 1987). En Sri Lanka las variedades Malwana Special, Malaysian Yellow y Malaysian Red (Kunz, 2007).

En 1993 ingresaron a Costa Rica, provenientes de viveros de Australia, plantas injertadas de los cultivares de rambután R-134, R-162, R-167 y Jetlee y en 1995 del cultivar Rongrien (Vargas, 2003). En Brasil, se produjo la introducción de los cultivares Rongrien y Jetlee, las cuales han sido clonados para la siembra en Bahía y Pará; sin embargo, el trabajo de selección se ha llevado a cabo para

identificar progenie cuyos frutos satisfacen las necesidades del mercado (Sacramento *et al.*, 2013). Los mismos investigadores evaluaron 105 genotipos de rambután en Bahía, Brasil y obtuvieron el 59% de frutos con la piel de color rojo, el 21% de color rojo-amarillo; el 16% de color rojo oscuro y el 4% de color rojo claro. El peso promedio del fruto varío de 30.2 a 39.4 g, el rendimiento del arilo fue de 42.3% (35.1 a 50.2%), los sólidos solubles de 17.6 °Brix (15.8 a 19.7 °Brix), y la acidez titulable de 0.44% (0.19 a 0.86%) (Sacramento y Andrade, 2014). Whitehead (1959), describe algunas características físicas y sensoriales de frutos de distintas variedades de rambután, localizadas en el sureste asiático (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Origen y características del fruto de los cultivares de rambután *N. lappaceum* en el sureste Asiático.

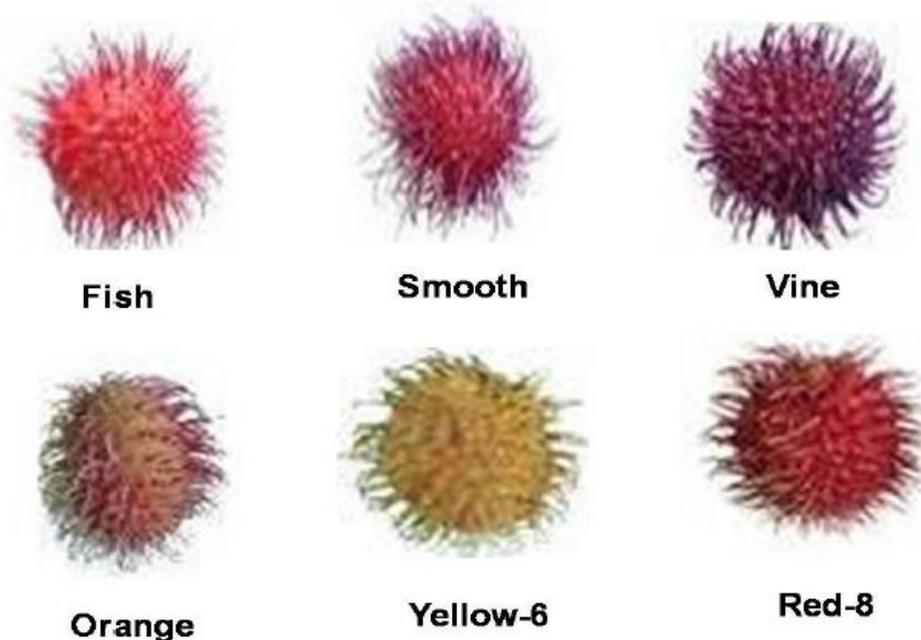
Cultivares	País de origen	Color de pericarpio	Sabor	Consistencia de la pulpa	Arilo libre	Consumo
Atjeh	Indonesia	Rojo	Dulce	Jugosa		
Atjeh hurung	Indonesia	Rojo	Acidez baja	Jugosa		
Atjeh kuning	Indonesia	Amarillo	Dulce	Muy jugosa		
Ayes Mas	Malasia	Amarillo	Dulce	Jugosa	Parcial	en fresco
Azimal	Malasia	Amarillo	Dulce		Si	en fresco
Bara	Malasia	Carmesí	Acido		No	en fresco
Bingjai	Indonesia	Verde	Dulce			
Chompu	Tailandia	Rosa	Dulce		Parcial	en fresco, enlatado
Chooi Ang	Malasia	Rosa-roja	Acidez baja	Jugosa		en fresco
Gelong	Indonesia		Acidez baja	Jugosa		
Gendut	Indonesia	Verde	Dulce			
Gulabatu	Indonesia	Verde-amarillo				
Kelip	Malasia	Carmesí	Dulce		Parcial	en fresco
Kepala Besar	Malasia	Carmesí	Dulce		Parcial	en fresco, enlatado
Kering manis	Indonesia	Verde				
Lebak bulus	Indonesia		Acidez baja	Jugosa		
Lengkeng	Indonesia	Verde o amarillo	Muy dulce			
Maharlika	Indonesia	Rojo oscuro	Muy dulce	Jugosa		
Penang	Tailandia		Dulce		Parcial	en fresco, enlatado
Peng Th'ng Bee	Malasia	Carmesí	Dulce		Si	en fresco, enlatado
Rapiah	Indonesia	Verde o amarillo	Muy dulce			
Rongrien	Tailandia		Dulce		No	en fresco
Seematjan	Indonesia	Rojo-naranja	Dulce		No	en fresco
Seenjonja	Indonesia	Rojo oscuro	Dulce		Parcial	en fresco
Sungapura	Malasia	Anaranjado	Muy dulce		Parcial	en fresco
Tau Po Cheng	Malasia	Escarlata	Acidez baja		Si	en fresco
Triang	Malasia	Rojo oscuro	Muy dulce		No	en fresco
Ya Tow	Malasia	Escarlata	Acidez baja		Parcial	en fresco, enlatado

Fuente: Whitehead, 1959.

### 3.4 Selecciones locales

En México, en la Costa de Chiapas, se pueden encontrar los genotipos denominados R1-104, R1-133 y R1-148; estas selecciones producen fruta dulce y jugosa, con buen desprendimiento de arilo, característica que no presentan las selecciones de frutos ácidos o ligeramente ácidos (Vázquez, 2001).

En estudios recientes se han caracterizado varias selecciones de rambután producidas en la región del Soconusco, Chiapas. En dichos estudios de selección destacaron los materiales denominados Fish, Smooth y Vine con altos valores de grados °Brix (18.8, 19.3 y 20.7 °Brix), además de las selecciones Orange, Yellow-6 y Red-8, que son menos susceptibles a la oxidación del pericarpio (Fig. 7). También existe una variedad en proceso de registro ante el SNICS que se denominará “Adelita”, la cual tiene características organolépticas sobresalientes (Avendaño *et al.* 2011).



**Figura 7.** Selecciones de rambután (*N. lappaceum*) cultivadas en el Soconusco, Chiapas, México (Fuente: Avendaño *et al.*, 2011).

### **3.5 Requerimientos**

#### **3.5.1 Climáticos**

El rambután se adapta bien a los trópicos y sus requerimientos climáticos son estrictamente tropicales (Fraire, 2001); puede desarrollarse en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 1,200 m, pero la altura óptima es entre los 300 y 600 m, siempre y cuando la región se caracterice por ser tropical, con humedad relativa mayor de 80 %, temperatura promedio de 25 a 32 °C y con buena distribución de lluvias que alcancen los 2000 mm o más al año. La estación seca no debe de exceder los tres meses (Morton, 1987).

Popenoe (1974) y Ochse *et al.* (1976), señalaron que el cultivo prospera bien en altitudes de 0 a 600 msnm, con precipitaciones de 2500 a 3000 mm, distribuidos de manera uniforme y con un periodo seco de dos a tres meses como requisito para iniciar floración. En lugares en donde el periodo seco es mayor de tres meses necesariamente se requiere de riego. Por otra parte, Sriram (1969), Almeyda *et al.* (1979) y Watson (1984), mencionan que el rambután no tolera los vientos ni el frío principalmente durante las etapas de floración y fructificación.

#### **3.5.2 Edáficos**

El cultivo prospera mejor en suelos profundos, bien drenados, con alto contenido de materia orgánica y ligeramente ácidos (Sriram, 1969; Almeyda *et al.* 1979; Watson, 1984). El rambután puede ser cultivado en suelos de textura media (contenido de arcilla entre 30 a 35%), con estructura granular a bloques angulares o sub-angulares, con porosidad total de 50 a 60%, que permitan buena circulación del agua y aire, así como también una buena penetración del sistema radicular. Se deben preferir suelos con buen contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos con un pH 5.5 a 6.5 (IICA, 2007).

### **3.6 Composición del fruto y usos**

Watson (1984) describe la composición química del fruto del rambután como se ilustra en el Cuadro 2. Van Welzen y Verheij (1991) definen el fruto en forma

similar, contiene alrededor de 82.9 g de agua, 31 mg de vitamina C, 0.9 g de proteína, fibra 1,1 g, grasa 0.1 g, carbohidratos 14.5 g y un valor energético de 264 kJ/100 g de fruto. Estudios realizados por Vargas (2003) especifican que la cáscara del fruto de rambután contiene macronutrientes de Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). La semilla presentó abundancia de N y en menor proporción K que en la pulpa. Tanto la semilla como la pulpa presentaron cantidades similares de Ca, Mg y S. El nivel de P fue similar en la cáscara, semilla y pulpa. El N fue el macronutriente más abundante en el fruto (77 a 87 mg), seguido en su orden por el K (63 a 81 mg), el Ca (22 a 31 mg), el P (11 a 13 mg), el Mg (9 a 13 mg) y el S (4 a 6 mg). El micronutriente más abundante en el fruto fue el Manganeso (Mn) (0,26 a 0,38 mg), seguido por el Hierro (Fe) (0,16 a 0,23 mg), el Boro (B) (0,12 a 0,16 mg), el Zinc (Zn) (0,09 a 0,11 mg) y el Cobre (Cu) (0,08 a 0,10 mg).

**Cuadro 2.** Composición química de 100 g de arilo de una fruta fresca de rambután.

<b>Componente</b>	<b>(g)</b>		<b>(mg)</b>
Agua	82.1	Niacina	0.5
Proteína	0.9	Caroteno	0
Grasas	0.3	Fósforo	0
Cenizas	0.3	Calcio	15
Glucosa	2.8	Hierro	(0.1, 2.5)
Fructosa	3.0	Vitamina C	70
Sacarosa	9.9	Tiamina	0.01
Almidón	o	Riboflavina	0.07
Fibras	2.8	Potasio	140
Ácido málico	0.005	Sodio	2
Ácido cítrico	0.31	Magnesio	10
Energía	297 KJ		

Fuente: Tee, 1982; Wills *et al.*, 1986.

El fruto se consume principalmente fresco, pero también en mermeladas, jaleas, conservas y en la gastronomía. La madera es de buena calidad, comparable al jaquero *Artocarpus heterophyllus* Lam. Además, se utiliza como planta ornamental (Fundación Produce Nayarit, 2003). La raíz se utiliza para bajar la fiebre y la corteza se usa para hacer jabones y velas. De las hojas se extrae un té para calmar dolores de garganta y cabeza (Vázquez, 2001). El núcleo de la

semilla proporciona de 37 a 43% de un sebo sólido blanco parecido a la mantequilla del cacao, al calentar el sebo se convierte en un aceite amarillo con olor agradable, que se utiliza para la fabricación de jabones y de velas, mientras que la cáscara del fruto tiene cerca de 13% de taninos y es utilizada como colorantes de seda (Morton, 1987).

### **3.7 Cosecha**

Las formas más adecuadas de realizar la cosecha, es mediante el corte de la panícula entera lo que se efectúa con tijeras o con cuchillas adaptadas a un gancho en el extremo de la percha (Rodrigo, 1967). Dependiendo del cultivar puede ser dos veces a la semana, por un periodo de 2 a 8 semanas (van Welzen y Verheij, 1991). En esta labor es conveniente no dañar ramas y dejar el pedúnculo a los frutos, evitar golpearlos y exponerlos al sol. Para facilitar su manejo es aconsejable separar frutos por grado de madurez y realizar una selección para eliminar frutos con mala apariencia, daños o deformes (Fraire, 2001).

El rambután es una fruta no climatérica y no continúa madurando después que se ha cosechado, un parámetro muy importante que puede ayudar a definir el estado de madurez de la fruta es el conteo del número de días después de la floración. Por ejemplo, en países como Tailandia, la cosecha se realiza entre los 90 y 120 días después de la floración; en Indonesia, se cosecha entre los 90 y 100 días; mientras que en Malasia entre los 100 y 130 días. Normalmente, las frutas tienen una aceptable apariencia para el mercado entre los 16 y los 28 días después del inicio del cambio de color (de verde al color definitivo de madurez de la variedad al nivel de la cáscara y los espinaretes) (Cuadro 3). La desuniformidad en la madurez de la fruta, en un árbol o en un racimo, constituye un problema al momento de la cosecha porque obliga al productor a realizar varias cosechas, alargando el tiempo de cosecha e incrementando los costos de producción (FHIA, 2003).

**Cuadro 3.** Criterios de cosecha de algunas variedades seleccionadas de rambután introducidas por la FHIA mediante PROEXAG.

<b>Variedad</b>	<b>Color de la cáscara</b>	<b>Color de los espinaretos</b>
Binjai	Rojo	Rojo con terminación amarilla
R134	Rojo	Rojo con terminación verde
R156	Amarillo	Amarillo con rosado en la base
R162	Amarillo-rojo	Rojo con terminación amarillo verde
Jetlee	Rojo-anaranjado	Rojo-anaranjado

Fuente: FHIA, 2003.

### **3.8 Control de calidad de rambután**

Para el consumidor, los atributos que confieren calidad a los frutos son principalmente el aspecto visual (tamaño, color, forma, firmeza), así como la aroma y sabor (Wills *et al.*, 1981). Sin embargo, aunque el rambután generalmente se cosecha con base en el color de la piel, el sabor también debe ser el óptimo (Watson, 1988). De acuerdo con Kosiyanchida *et al.* (1987) y Lye *et al.* (1987), el fruto exportable de rambután debe tener un color rojo uniforme, apariencia fresca, al menos 2,5 cm de diámetro y un mínimo de 30 g de peso. La cáscara y espinaretos deben ser fuertes para evitar una rápida deshidratación. La pulpa debe constituir una porción importante del fruto, ser fácilmente removida de la semilla, tener apariencia translúcida, sabor dulce y un porcentaje de 18 a 20 °Brix.

Los cambios que presentan los frutos durante la senescencia son deshidratación del pericarpio, pérdida de color (oscurecimiento), incremento en la acidez titulable y sólidos solubles totales (Paull y Chen, 1987; Kader, 2001). La pérdida del color rojo en postcosecha, se ha atribuido principalmente a la desecación (Wells y Bagshaw, 1989), que además está directamente relacionada con la reducción de peso como una respuesta de la pérdida de agua. El principal factor que afecta la pérdida del color es el oscurecimiento del pericarpio debido a la deshidratación del fruto, lo que ocasiona el deterioro del mismo después de la cosecha, a menudo dentro de 3 o 4 días. Aunque la pérdida de agua y el oscurecimiento del pericarpio pueden no afectar la calidad comestible del fruto, en gran medida se reduce el valor comercial en los

mercados occidentales y se considera una de las principales causas de la pérdida postcosecha (Caballero *et al.*, 2011).

Se sabe que a medida que el fruto madura más en el árbol, hay un incremento en la cantidad de sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT) disminuye (Mendoza *et al.*, 1972; Lee y Leong, 1982; Wanichkul y Kosiyachinda, 1982). En consecuencia, el fruto cosechado demasiado pronto resulta ácido y falta de dulzura, mientras que en la cosecha tardía el fruto puede ser muy suave. En general, dependiendo del cultivar, los frutos tienen una concentración de SST y AT en el intervalo de 17 a 21% y 0.7 a 5.5 meq.g-1, respectivamente, en la madurez de cosecha (Kosiyachinda *et al.*, 1987).

### **3.9 Tratamientos cuarentenarios**

Para facilitar el intercambio comercial y evitar la introducción de plagas en zonas libres, se han desarrollado técnicas que se denominan “tratamientos cuarentenarios”, los cuales según convivencia y acuerdo entre las partes o gobiernos comprometidos se emplean en los frutos y vegetales de exportación, asegurando la exclusión del agente problema (Justo y Hernández, 2009). Los tratamientos cuarentenarios son restricciones a la movilización de mercancía que se establecen en normas oficiales (NOM-023-FITO-1995), con el propósito de eliminar, reducir o retrasar la introducción o dispersión de plagas o enfermedades de una zona de infestación endémica a una libre o de baja infestación mediante la aplicación de procedimientos físicos, químicos o biológicos (ATN/MT 7957-RG, 2005).

Los productos y subproductos de origen vegetal regulados, deben cumplir con ciertos requisitos fitosanitarios para su importación, exportación o movilización nacional, uno de estos requisitos es la aplicación de tratamientos fitosanitarios, tales como fumigación con bromuro de metilo o fosforo de aluminio o de magnesio; desinfección y desinsectación mediante nebulización o aspersión; aire caliente forzado, hidrotérmico (agua caliente), frío o irradiación (SENASICA, 2009).

Entre otras cosas, el requisito fundamental necesario para permitir el comercio bilateral de productos tratados con irradiación como medida fitosanitaria, entre USDA Animal and Plant Health Inspection Services (APHIS) y SAGARPA/SENASICA/DGSV, es una dosis genérica de 150 Gy para moscas de la fruta y 400 Gy para todos los demás insectos plaga, excepto adultos y pupas del orden *Lepidoptera*. En el Cuadro 4, se presentan las dosis de irradiación aprobadas para moscas de la fruta especificadas, barrenadores de hueso y otras plagas, es un tratamiento aprobado por APHIS como tratamiento para todas las frutas, vegetales, flores cortadas y follaje (SENASICA,2007).

**Cuadro 4.** Dosis de irradiación aprobada para insectos y grupos de insectos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, y Servicio de Inspección Sanidad Animal y Vegetal.

Nombre científico	Nombre común	Dosis (Gy)
<i>Anastrepha ludens</i>	Mosca mexicana de la fruta	70
<i>Anastrepha obliqua</i>	Mosca de la fruta Indooccidental	70
<i>Anastrepha serpentina</i>	Mosca de la fruta del Sapote	100
<i>Anastrepha suspense</i>	Mosca de la fruta Caribeña	70
<i>Aspidiotis destructor</i>	Coconut scale	150
<i>Bactrocera jarvisi</i>	(ninguno)	100
<i>Bactrocera tryoni</i>	Mosca de la fruta Queensland	100
<i>Brevipalpus chilensis</i>	Falsa araña de la vid	300
<i>Cocotrachelus nenuphar</i>	Cerezo curculio	92
<i>Copitarsa decolora</i>	(ninguno)	100
<i>Cryptophlebia ombrodelta</i>	Polilla del Litchi	250
<i>Cryptophlebia illepida</i>	Koa seedworm	250
<i>Cylas formicarius elegantulus</i>	Gorgojo de la papa dulce	150
<i>Cydia pomonella</i>	Palomilla de la Manzana	250
<i>Euscepes postfasciatus</i>	Gorgojo de la patata dulce occidental	150
<i>Grapholita molesta</i>	Polilla de la fruta oriental	200
<i>Omphisa anastomosalis</i>	Trepador de la vaina de la patata dulce	150
<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>	White peach scale	150
<i>Rhagoletis pomonella</i>	Gusano de la Manzana	60
<i>Stemochetus mangiferae</i>	Gorgojo del hueso del Mango	300
	(Fabricus) mosca de la fruta de la familia Tetrifidos no enlistada arriba	150
	Plagas de la plantas de la clase Insecta no enlistadas arriba excepto pupas y adultos del orden de los Lepidópteros	400

Fuentes: USDA-APHIS, 2006. Treatments for fruits and vegetables. Federal Register 71 (18): 4451-4464, June 26, 2006. Rules and Regulations.

USDA-APHIS, 2008. Treatments for fruits and vegetables. Federal Register 73 (88): 24851-24856, May 6, 2008. Rules and Regulations.

En 1986, la Administración de Alimentos y Drogas (FDA por sus siglas en inglés) aprobó el uso de tratamientos con irradiación de hasta 1,000 Grays (Gy) (100 krad) para frutas y hortalizas. La investigación ha demostrado que las dosis requeridas para la esterilización de la mayoría de los insectos están por debajo de los 300 Gy, mientras que las dosis requeridas para un control efectivo de las pudriciones son frecuentemente mayores de 1,000 Gy. Desde 1998, la papaya, el rambután, el litchi y la antemoya se han enviado desde Hawai a Chicago para la aplicación de tratamientos con irradiación. La dosis tolerada por muchos productos ocasiona la esterilización del insecto o previenen la emergencia del adulto, no producen su muerte, por lo que la presencia potencial de insectos vivos pero estériles en un producto importado requiere de un mayor nivel de confianza entre el exportador y el importador (Kader, 2002).

### **3.10 Irradiación postcosecha**

En tecnología postcosecha de frutos frescos, se han implementado estrategias para reducir pérdidas en la cantidad y calidad, entre la cosecha y el consumo (Kader, 2002). Entre las tecnologías postcosecha, las radiaciones ionizantes a dosis moderadas se han mostrado eficaces como tratamientos cuarentenarios contra plagas y prolongando en general la vida útil de frutas y hortalizas (Kader, 1986). La irradiación de alimentos es un método físico de conservación, similar a otros que utilizan el calor o el frío. Consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes (cuyas unidades son el kiloGray, (kGy) durante un tiempo determinado (Pérez, 2005). Un Gray (100 rad) es igual a 1 joule absorbido por kilogramo de materia (USDA/APHIS, 2010).

Las frutas y vegetales pueden ser irradiados para inhibir el crecimiento de bacterias o para alterar los rangos de maduración y así obtener un tiempo más prolongado de la vida de anaquel (Thayer y Rajkowski, 1999). También, la irradiación de alimentos es una tecnología para controlar el deterioro y eliminación de los patógenos transmitidos, como la salmonelosis. El resultado es similar a la pasteurización convencional y a menudo se llama “pasteurización

en frío” o “pasteurización por irradiación”. Como la pasteurización, la irradiación mata a las bacterias y otros agentes patógenos, que de otro modo podrían resultar en el deterioro o la intoxicación alimentaria (EPA, 2014). Kava (2003), menciona que las dosis de irradiación: para inhibir brotes son en el rango de 0.06 a 0.20 kGy, mientras que para el tratamiento de insectos es en el rango de 0.15 a 1 kGy, en la desinfección de parásitos es de 0.3 a 1 kGy, y en el retraso de la maduración de frutas frescas es de 0.5 a 1 kGy. Se ha reportado que la mayor parte de las frutas toleran valores de dosis superiores a los 150 Gy, por ejemplo, la papaya, el kiwi, entre otras, soportan dosis de 1 KGy o mayores. La tolerancia de la dosis depende de factores como lugar de origen del producto, cultivo, práctica de manejo y condiciones locales (Prieto, 1997).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ, 2012), la técnica de irradiación con rayos gamma, presenta varias ventajas, entre ellas, no deja residuos en el producto, no se requiere periodo de cuarentena (los productos pueden consumirse de inmediato), no se necesita sacar el producto de su empaque y así se previene la contaminación bacteriana posterior, no requiere empaques especiales. La irradiación es un método físico comparable con la pasteurización, enlatado o congelación, su costo es competitivo, el proceso está avalado por diversos organismos, tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Administración de alimentos y Drogas (FDA), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Comisión Codex Alimentarius y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Este proceso que se practica en más de 50 países, incluyendo México, aunque en los consumidores existe la desconfianza a consumir productos vegetales irradiados.

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1 Ubicación y descripción del área de estudio**

El experimento fue realizado en el laboratorio de postcosecha del área de Desarrollo de Métodos en la Planta MOSCAFRUT, ubicada en el municipio de Metapa de Domínguez, Chiapas, México. Las coordenadas geográficas de la planta son latitud Norte 14° 49' 51" y longitud Oeste 92° 11' 45". Las condiciones del laboratorio fueron 80% de humedad relativa, fotoperiodo de 12 h luz por 12 h oscuridad y una temperatura entre 26 y 28 °C.

#### **4.2 Material biológico**

En el experimento se utilizaron frutos de rambután de la variedad "Jetlee" y "Adelita", ambos cosechados en madurez comercial. En todos los tratamientos se usaron al menos 30 kg de fruta de cada variedad. La variedad "Jetlee" fue cosechada en una huerta comercial denominada "La Chinita" de 16 años de edad, propiedad del Ing. Rubén Joo, ubicada en el municipio de Huehuetán, Chiapas. La variedad "Adelita" fue obtenida en una huerta comercial de 10 años de edad, propiedad del señor Ángel Barrios, ubicado en Tuxtla Chico, Chiapas.

Los frutos de rambután se cosecharon en estado fisiológico maduro, se seleccionaron frutos enteros, sanos y exentos de podredumbre o deterioro, limpios y prácticamente libres de cualquier materia extraña visible; exenta de

plagas y daños que afectarían al aspecto general del producto. El experimento se realizó en el laboratorio de postcosecha en el área Desarrollo de Métodos de la Planta MOSCAFRUT en Julio del 2014. Los frutos de rambután fueron tratados con irradiación en la planta MOSCAFRUT, con una fuente de  $\text{Co}^{60}$ , procedente del irradiador Nordion International gama beam gb - 127. Las dosis usadas fueron las siguientes: 50 Gy, 150 Gy, 300 Gy y 400 Gy. Los datos se registraron hasta que la mayoría de los frutos perdieron la calidad comercial y se deterioraron en su apariencia externa. Las variables que se midieron fueron las siguientes: pérdida fisiológica de peso, peso de fruto, longitud de fruto, ancho de fruto, color, firmeza de la pulpa o arilo, peso de cáscara, peso de arilo, peso de semilla, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable.



**Figura 8.** a) Frutos de rambután preparados para irradiación; b) cámara de irradiación.

### 4.3 Diseño experimental

Antes de aplicar los tratamientos (irradiación) a los frutos de rambután se colocaron en charolas de plástico de 20 x 28 cm y 10 cm de profundidad. Los frutos colocados en las charolas fueron arreglados en un diseño experimental completamente al azar con la finalidad que recibieran el mismo tratamiento o dosis de irradiación. La unidad experimental fueron 40 frutos por charola con 3 repeticiones por dosis. Para la toma de datos se etiquetaron 5 frutos para el peso diario hasta su deterioro y por otro lado también se etiquetaron 5 frutos

diarios al azar para su análisis fisicoquímico, en cada repetición. Las dosis de irradiación evaluadas fueron 50, 150, 300 y 400 Gy más un testigo sin irradiar (0 Gy). Los frutos tratados con irradiación y sin irradiar, se almacenaron a una temperatura de 20 °C, 80% de humedad relativa y fotoperiodo de 12 h luz por 12 h oscuridad. Se realizó además el análisis gráfico con base en la construcción de histogramas y curvas que ilustran el comportamiento de cada variable en estudio.

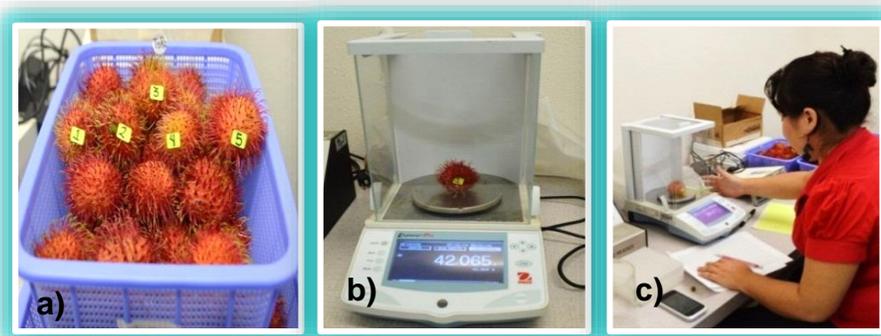
#### 4.4 Variables evaluadas

##### 4.4.1 Variables físicas

###### 4.4.1.1 Pérdida fisiológica de peso

Para cuantificar la Pérdida Fisiológica de Peso (PFP) se marcaron 5 frutos por cada repetición, es decir 15 frutos por cada tratamiento, y se pesaron diariamente en una balanza analítica marca OHAUS, modelo EP 213 (New Jersey, E.U.A.), hasta que se deterioraran físicamente. Se determinó utilizando la ecuación:

$$PFP = [(Peso\ inicial - peso\ final) / Peso\ inicial] \times 100.$$



**Figura 9.** a) Frutos de rambután etiquetados; b) balanza analítica; c) peso de fruto.

###### 4.4.1.2 Peso de fruto

Se determinó utilizando una balanza analítica marca OHAUS, modelo EP213 (New Jersey, E.U.A.), considerando el peso individual en cada periodo de evaluación, los resultados se reportaron en gramos.

#### 4.4.1.3 Longitud de fruto

La longitud se midió con un vernier digital de la marca Truper (México), considerando los extremos apical y basal, los resultados se expresaron en mm.

#### 4.4.1.4 Diámetro de fruto

El diámetro se midió en la parte ecuatorial del fruto en forma perpendicular a la sutura del pericarpio con un vernier digital de la marca Truper (México), los resultados se expresaron en mm.

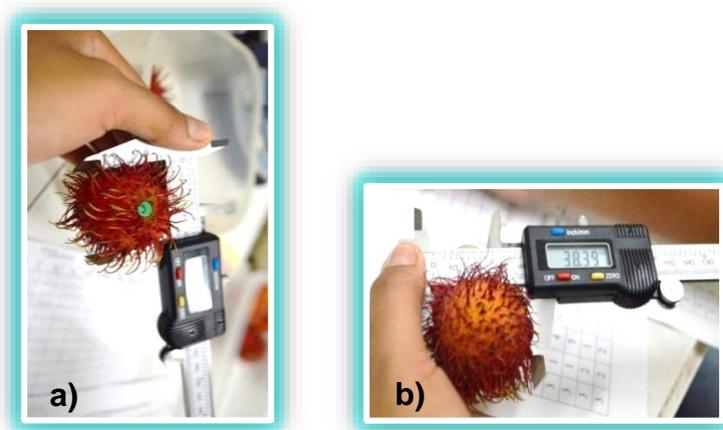


Figura 10. a) Longitud y b) diámetro del fruto.

#### 4.4.1.5 Color

Se determinó con un colorímetro de reflectancia, de la marca Konica Minolta CR-400 (Osaka, Japón). Los valores se expresaron en escala tridimensional por valores de luminosidad (L) y cromaticidad (a, b). Dichos valores se asociaron a un índice de color (IC) definido por el ángulo de color o el índice de saturación. Durante la toma de datos, para obtener una mejor definición del punto de muestreo los frutos fueron marcados por ambos lados. El ángulo de tono (*Hue*) fue calculado a partir de la ecuación:

$$Hue = \left( \text{Tan}^{-1} \left( \frac{b}{a} \right) \right), \text{ y el índice de saturación (Chroma) con la ecuación: } C = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}.$$



Figura 11. Colorímetro.

#### 4.4.1.6 Firmeza de pulpa o arilo

Se utilizó un penetrómetro, High Precisión Inst. GY-3 (Hong Kong, China). Se eliminó la cáscara de los frutos y únicamente se aplicó la medición a la pulpa o arilo, en la parte media del fruto, la unidad de medida obtenida del penetrómetro fue  $g/cm^2$ .

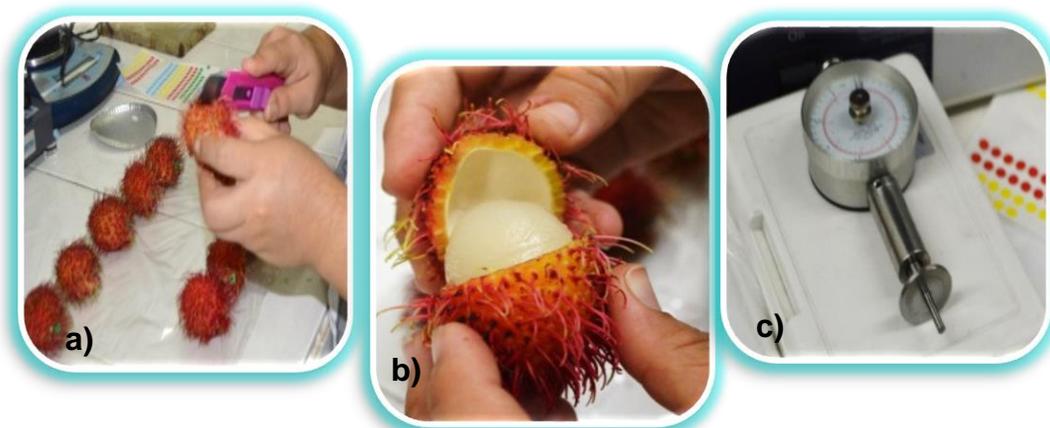


Figura 12. a) Corte de frutos; b) parte media del fruto; c) penetrómetro.

#### 4.4.1.7 Peso de cáscara

Se determinó utilizando una balanza analítica marca OHAUS, modelo EP213 (New Jersey, E.U.A.), en cada toma de datos se retiró la cáscara y se pesó de forma individual.



**Figura 13.** Separación de la cascara, arilo y semilla en frutos de rambután.

#### **4.4.1.8 Peso de arilo**

El arilo fue medido utilizando una balanza digital marca OHAUS, modelo EP213 (New Jersey, E.U.A.), en cada toma de datos se retiró la cáscara y semilla pesando exclusivamente el arilo.



**Figura 14.** Peso de cascara y arilo de rambután.

#### **4.4.1.9 Peso de semilla**

Se determinó utilizando una balanza digital marca OHAUS, modelo EP213 (New Jersey, E.U.A.), considerando el peso individual de la semilla, sin cáscara y sin arilo, el peso de la semilla fue individual.

## 4.4.2 Variables químicas

### 4.4.2.1 Sólidos solubles totales

La determinación de sólidos solubles totales se realizó según el método oficial de la AOAC 932.12 (2000). Utilizando el refractómetro ATAGO digital Pal-3 (Taiwán, China), se raspó el arilo de cada fruto y se colocó en un cedazo para extraer el jugo, el cual se depositó en el refractómetro digital. Los resultados se expresaron en °Brix.



**Figura 15.** Refractómetro Atago – Pal 3, para °Brix.

### 4.4.2.2 pH

Para medir el pH se pesaron 10 g de pulpa por cada fruto y con una bureta se midió 90 ml de agua destilada, los cuales se licuaron conjuntamente, posteriormente se filtró la solución y se aforo con un matraz aforado de 100 ml, de dicha solución se extrajeron dos muestras de 10 ml cada una, los cuales se utilizaron para determinar el pH de la pulpa, utilizando un potenciómetro digital marca Thermo Scientific, modelo Orion Star A211 (Chelmsford, Massachusetts, U.S.A.), dicho aparato se calibro con un buffer de pH 4 (ácidas) y 7 (alcalinas).



**Figura 16.** Proceso para obtener las muestras de arilo para tomar pH y acidez titulable.

#### 4.4.2.3 Acidez titulable

La acidez titulable se determinó según el método oficial de análisis de la AOAC 942.15 (2000). Por cada muestra se utilizó de dos a tres gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con NaOH (F= 0.0568 y 0.946 N). Los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico.



**Figura 17.** a) Gotas de fenolftaleína en las muestras a titular; b) titulación de arilo con NaOH.

#### **4.5 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron primero en forma global con un diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial para conocer el efecto de la irradiación durante todos los días de almacenamiento o duración del experimento. Sin embargo, para fines de la interpretación de los resultados, cada variable fue analizada independientemente con un análisis de varianza con arreglo bifactorial, en el cual se midió el efecto de la dosis de irradiación en cada día de almacenamiento. La comparación de medias se hizo por tratamiento en cada día de almacenamiento por medio de la prueba de Tukey al 5% con el *software* estadístico Infostat (Infostat, 2008).

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Observaciones generales

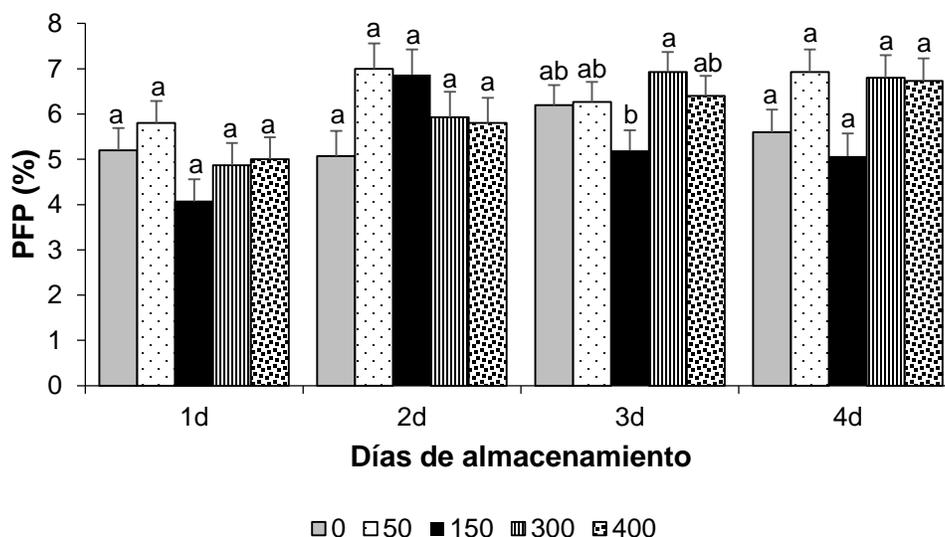
Los frutos de rambután de la variedad “Jetlee” y “Adelita”, fueron evaluados hasta los cuatro y seis días, respectivamente. Debido al cambio de apariencia en el color de los frutos, aunque el arilo no fue afectado, al transcurrir los días los frutos perdieron calidad y vida de anaquel, es decir, los espineretes comenzaron a secarse y el pericarpio se deshidrató, por lo que los frutos se oscurecieron. La pérdida de calidad de los frutos dependió de la variedad evaluada. Los frutos utilizados para la variable pérdida fisiológica de peso fueron los primeros en deteriorarse, y los frutos irradiados a 400 Gy fueron los primeros que comenzaron a oscurecer visualmente.

#### 5.2 Variedad “Jetlee”

##### 5.2.1 Pérdida fisiológica de peso

La PFP de los frutos mostró diferencias significativas en relación con los días de almacenamiento ( $F = 7.38$ ; g.l. = 3, 299;  $P \leq 0.05$ ) y con las dosis de irradiación ( $F = 3.79$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción entre los días de almacenamiento por dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 1.65$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). Prácticamente no se presentaron diferencias significativas en la pérdida de peso durante los días de almacenamiento de acuerdo con la dosis

de irradiación, a excepción del tercer día que se observa una ligera variación provocada por la dosis de 150 Gy (Fig. 18).



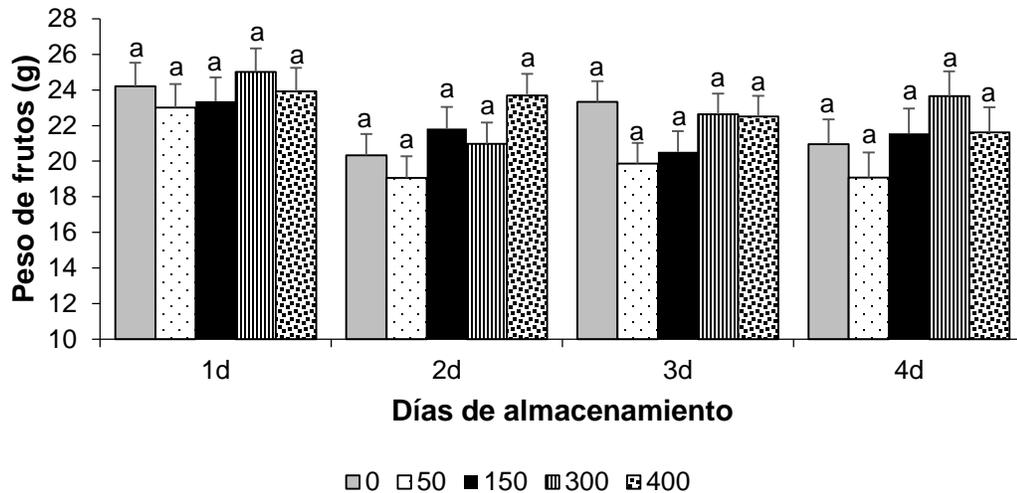
**Figura 18.** Pérdida fisiológica de peso (PFP) (%) más Error Estándar (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

Las PFP mostraron un incremento continuo durante los días de almacenamiento. Sin embargo, al hacer las comparaciones de pérdida de peso por día de acuerdo a las dosis de irradiación, prácticamente no se encontraron diferencias significativas. Similarmente Justo y Hernández (2009), reportaron que existe diferencias en la pérdida de peso en frutos de guayaba sometidos a diferentes dosis de irradiación con una fuente de  $Co^{60}$ . De hecho, se ha reportado que los frutos de rambután presentan pérdidas de peso de acuerdo a los días de almacenamiento (Follett y Sanxter, 2000), lo cual resulta lógico pero en este trabajo se encontró que no hay prácticamente diferencias entre los días de almacenamiento de acuerdo a la dosis de irradiación.

### 5.2.2 Peso de frutos

El peso de los frutos de rambután fue afectado por los días de almacenamiento ( $F = 4.82$ ; g.l.= 3, 299;  $P \leq 0.05$ ) y la dosis de irradiación ( $F = 3.13$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción de los días de almacenamiento por irradiación no fue

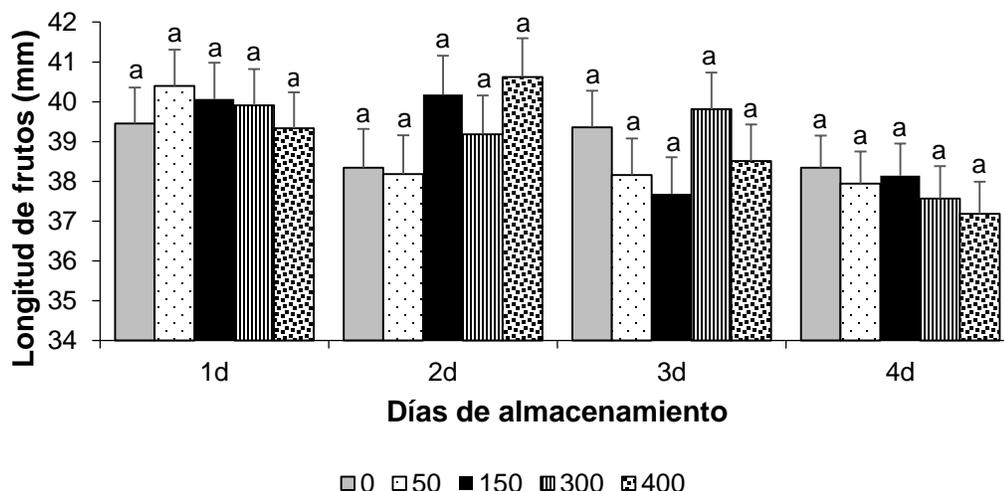
significativa ( $F = 0.69$ ; g.l.= 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). No se encontraron diferencias en los pesos de los frutos en cada uno de los días de almacenamiento en cada dosis de irradiación durante el desarrollo del experimento (Fig. 19).



**Figura 19.** Peso de frutos (g) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.2.3 Longitud de fruto

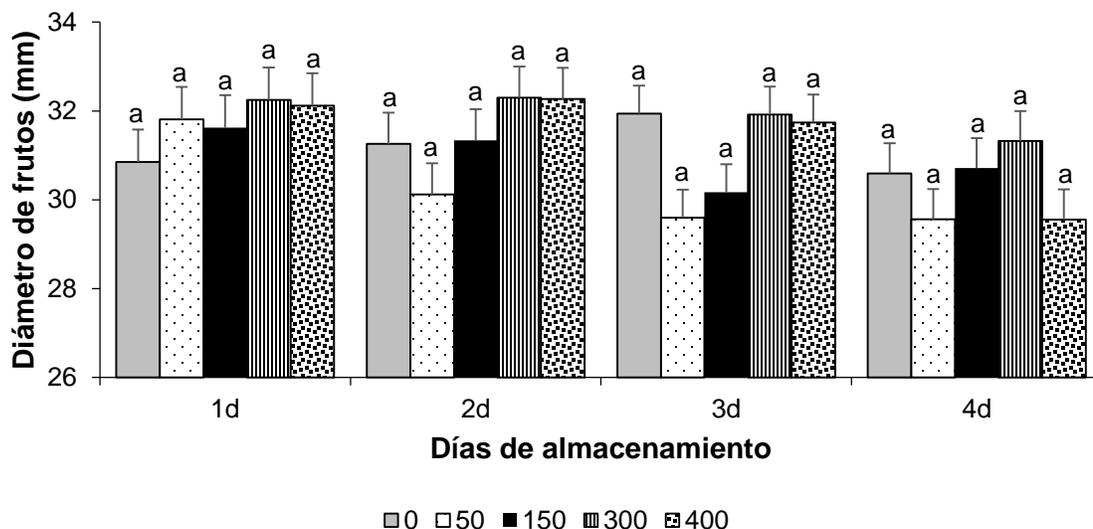
La longitud de los frutos fue afectada por los días de almacenamiento ( $F = 4.38$ ; g.l.= 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), sin embargo, la irradiación no fue significativa ( $F = 0.14$ ; g.l.= 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 0.89$ ; g.l.= 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). Las dosis de irradiación no afectaron la longitud de los frutos de rambután al hacer la comparación por día de duración y dosis de irradiación, no obstante, se observan que si existe efecto de los días de almacenamiento en la longitud de los frutos, debido a que el fruto se deshidrata y pierde peso en cada día (Fig. 20). En contraste, De La Cruz *et al.* (1996) encontraron que la radiación de  $\text{Co}^{60}$  afecta ligeramente la longitud en frutos de aguacate cv. Hass, los cuales mostraron una ligera reducción de longitud con las dosis de 5, 10 y 25 Gy y un aumento en las dosis de 15 y 20 Gy.



**Figura 20.** Longitud de frutos (mm) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

#### 5.2.4 Diámetro de fruto

Por su parte, el diámetro de los frutos de rambután fue afectado significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 3.84$ ; g.l.= 3, 299;  $P \leq 0.05$ ) y la dosis de irradiación ( $F = 3.22$ ; g.l.= 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 1.00$ ; g.l.= 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). Las dosis de irradiación no afectaron el diámetro de los frutos de rambután al hacer la comparación por día y tratamiento. No obstante, se observa que sí hay efecto en el diámetro de los frutos durante los días de almacenamiento de los frutos de rambután, debido a que los frutos se deshidratan y pierden peso después de su corte (Fig. 21). Respecto al diámetro De la Cruz *et al.* (1996) reportan que los frutos de aguacate cv. Hass presentaron valores de diámetro inferiores al testigo en los tratamientos aplicados.



**Figura 21.** Diámetro de frutos (mm) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.2.5 Color

En el cuadro 5, se muestra los valores obtenidos en el ángulo de tono (*hue*), el cual mostró cambios significativos en los días de almacenamiento de los frutos de rambután ( $F = 4.90$ ; g.l.= 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), en contraste, las dosis de irradiación no afectaron significativamente el tono ( $F = 1.13$ ; g.l.= 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 1.76$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). En ninguno de los días de almacenamiento de los frutos de rambután tratados con distintas dosis de irradiación, se presentaron diferencias significativas en el tono de los frutos de rambután (Cuadro 5).

Respecto al índice de saturación (*chroma*) de los frutos de rambután, no se encontraron diferencias significativas de los días de almacenamiento ( $F = 0.92$ ; g.l. = 3, 299;  $P \geq 0.05$ ), sin embargo, la dosis de irradiación afectó significativamente el índice de saturación de los frutos ( $F = 7.86$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no mostró diferencias significativas ( $F = 1.65$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). En el cuadro 5, se observa la variación del índice de saturación en cada uno de los días de

almacenamiento en cada dosis de irradiación. Se pueden observar diferencias del índice de saturación en el primer, tercer y cuarto día de almacenamiento.

Los valores de luminosidad de los frutos de rambután evaluados no mostraron diferencias significativas durante los días de observación ( $F = 2.35$ ; g.l.= 3, 299;  $P \geq 0.05$ ), sin embargo, la dosis de irradiación si afectó significativamente la luminosidad de los frutos evaluados ( $F = 4.23$ ; g.l.= 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días por irradiación no fue significativa ( $F = 1.78$ ; g.l.= 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). En el cuadro 5, se observa variaciones del índice de luminosidad durante los días de almacenamiento de los frutos de rambután en cada dosis de irradiación. Se pueden observar diferencias del índice de luminosidad en el primer día de almacenamiento.

**Cuadro 5.** Tono, saturación y luminosidad ( $\pm$ EE) del color del pericarpio de frutos en rambután (*N. lappaceum*) variedad "Jetlee", evaluados durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma con fuente de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.

Variables de color	Dosis de irradiación (Gy)	Días de almacenamiento			
		1	2	3	4
Hue	0	54.33 $\pm$ 1.08a	55.64 $\pm$ 1.41a	54.50 $\pm$ 1.24a	56.29 $\pm$ 0.90a
	50	57.75 $\pm$ 1.56a	52.45 $\pm$ 0.85a	57.57 $\pm$ 1.66a	62.10 $\pm$ 2.62a
	150	53.81 $\pm$ 1.32a	52.95 $\pm$ 1.27a	59.70 $\pm$ 2.35a	56.86 $\pm$ 1.16a
	300	55.18 $\pm$ 1.37a	56.71 $\pm$ 1.42a	56.94 $\pm$ 1.20a	55.68 $\pm$ 1.83a
	400	54.56 $\pm$ 1.47a	55.13 $\pm$ 1.41a	57.34 $\pm$ 1.36a	57.77 $\pm$ 2.12a
	C.V.	10.21	9.15	10.96	12.31
Chroma	0	36.07 $\pm$ 1.07b	37.27 $\pm$ 0.75a	36.03 $\pm$ 1.20ab	33.82 $\pm$ 0.92b
	50	39.80 $\pm$ 0.92a	37.79 $\pm$ 0.99a	38.76 $\pm$ 1.41a	38.91 $\pm$ 1.66a
	150	37.60 $\pm$ 0.78ab	35.01 $\pm$ 1.25a	38.48 $\pm$ 1.08a	36.88 $\pm$ 1.00ab
	300	36.00 $\pm$ 1.06b	34.96 $\pm$ 1.26a	34.85 $\pm$ 0.95ab	36.44 $\pm$ 0.94ab
	400	36.08 $\pm$ 0.72b	37.10 $\pm$ 0.60a	33.57 $\pm$ 1.09b	34.19 $\pm$ 0.65b
	C.V.	9.54	10.68	12.34	11.70
Luminosidad	0	29.27 $\pm$ 0.77b	30.72 $\pm$ 0.96a	28.58 $\pm$ 0.82a	29.10 $\pm$ 1.46a
	50	33.09 $\pm$ 1.20a	29.05 $\pm$ 0.80a	31.45 $\pm$ 1.03a	33.38 $\pm$ 2.00a
	150	29.86 $\pm$ 0.76ab	27.67 $\pm$ 0.75a	32.59 $\pm$ 1.51a	31.59 $\pm$ 1.07a
	300	28.21 $\pm$ 0.98b	28.31 $\pm$ 1.26a	30.05 $\pm$ 0.97a	30.65 $\pm$ 0.99a
	400	27.97 $\pm$ 0.56b	29.64 $\pm$ 1.10a	28.46 $\pm$ 0.99a	29.57 $\pm$ 1.30a
	C.V.	11.51	13.19	13.96	17.67

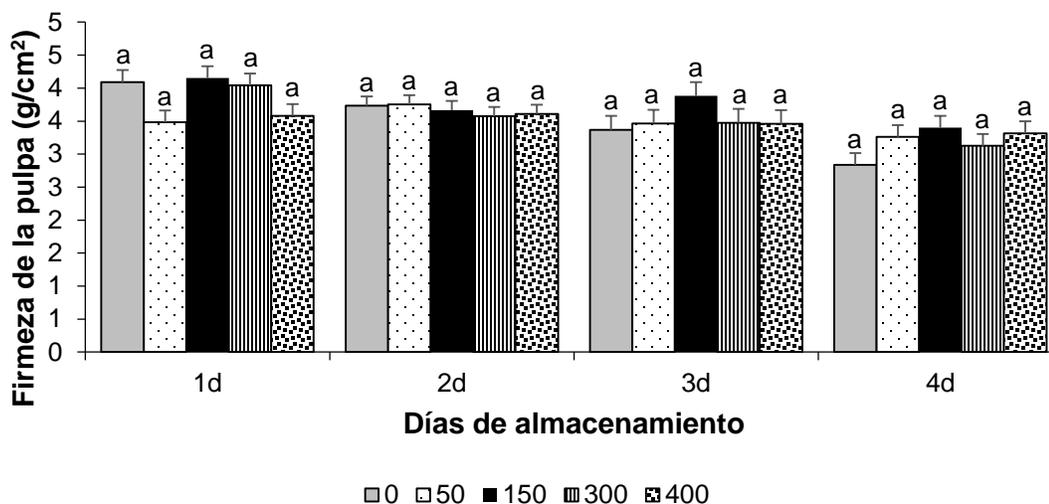
Hue=Ángulo de tono; Chroma=Índice de saturación; L=Luminosidad; C.V.=Coeficiente de variación.

Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con una prueba de Tukey (0.05%).

Los resultados obtenidos demuestran que los frutos de rambután utilizados en este experimento expresaron cambios significativos en el índice de saturación y luminosidad en función de las dosis de irradiación con  $\text{Co}^{60}$ . La pérdida del color rojo en postcosecha, se ha atribuido principalmente a la desecación (Wells y Bagshaw, 1989), que además está directamente relacionado con la reducción de peso como una respuesta de la pérdida de agua (Caballero *et al.*, 2011) Similarmente, Justo y Hernández (2009) obtuvieron efectos significativos en las variables luminosidad, ángulo de tono, y pureza del color en frutos de guayaba irradiados a 150 y 300 Gy. En frutos de rambután del cultivar “R167” que fueron irradiados a 250 Gy, se encontraron cambios en el índice de saturación (*chroma*), mientras que en los frutos del cultivar “R134”, se encontraron diferencias tanto en el índice de luminosidad como de saturación (Follett y Sanxter, 2000).

#### **5.2.6 Firmeza de la pulpa**

La firmeza de la pulpa de los frutos de rambután, mostraron diferencias significativas de acuerdo a los días de almacenamiento ( $F = 12.71$ ; g.l. = 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), en tanto que la dosis de irradiación no afectó significativamente la firmeza de los frutos ( $F = 1.81$ ; g.l. = 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 1.38$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). La firmeza de los frutos no fue afectada en cada uno de los días de almacenamiento con respecto a la dosis de irradiación. Sin embargo, en la Figura 22, se observa que de manera general la pérdida de firmeza tuvo una tendencia a disminuir conforme avanzaron los días de almacenamiento tanto por los frutos testigo como para los frutos irradiados. Por ejemplo, al comparar, la firmeza del testigo en el primer día ( $4.0 \text{ g/cm}^2$ ) con la del cuarto día ( $3 \text{ g/cm}^2$ ), puede notarse que disminuyó al menos en una unidad. Lo mismo sucedió en la pulpa de los frutos de guayaba irradiados, en los que se observó que la firmeza tuvo una tendencia a disminuir conforme avanzó el periodo de maduración tanto para los frutos testigo como para los frutos irradiados (Justo y Hernández, 2009). La pérdida de firmeza puede explicarse por la rotura de moléculas de carbohidratos por la acción de la irradiación (Ventura *et al.*, 2010).



**Figura 22.** Firmeza de la pulpa ( $\text{g/cm}^2$ ) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad "Jetlee", evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.2.7 Peso de cáscara, arilo y semilla

El peso de cáscara de los frutos de rambután fue afectado significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 15.56$ ; g.l. = 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), pero no por la dosis de irradiación ( $F = 0.88$ ; g.l. = 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 0.83$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ).

Respecto al peso del arilo, se encontró que no fue afectado significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 2.44$ ; g.l. = 3, 299;  $P \geq 0.05$ ), pero sí fue afectado por la dosis de irradiación ( $F = 3.96$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 0.64$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ).

Por último, se encontró que el peso de la semilla no fue afectado significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 2.40$ ; g.l. = 3, 299;  $P \geq 0.05$ ), en tanto que la dosis de irradiación sí afectó significativamente el peso de la semilla ( $F = 6.13$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 0.66$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq$

0.05). En el cuadro 6, se muestra que en ninguno de los días de almacenamiento en cada dosis de irradiación, se presentaron diferencias significativas respecto al peso de la cascara, arilo y semilla de rambután variedad “Jetlee”.

**Cuadro 6.** Peso de cáscara, arilo y semilla ( $\pm$ EE) en frutos de rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.

Días de almacenamiento	Dosis de irradiación (Gy)	Cascara	Arilo	Semilla
		(g)	(g)	(g)
1	0	8.13 $\pm$ 0.52a	13.34 $\pm$ 0.82a	1.78 $\pm$ 0.15a
	50	8.80 $\pm$ 0.68a	11.80 $\pm$ 0.67a	1.64 $\pm$ 0.10a
	150	8.11 $\pm$ 0.41a	12.90 $\pm$ 1.05a	1.95 $\pm$ 0.09a
	300	8.61 $\pm$ 0.40a	13.19 $\pm$ 0.82a	2.02 $\pm$ 0.10a
	400	8.34 $\pm$ 0.48a	12.98 $\pm$ 1.07a	1.97 $\pm$ 0.14a
	C.V.	23.49	27.11 a	24.40
2	0	6.62 $\pm$ 0.53a	11.60 $\pm$ 0.71a	1.94 $\pm$ 0.09a
	50	7.01 $\pm$ 0.48a	10.19 $\pm$ 0.83a	1.52 $\pm$ 0.16a
	150	7.46 $\pm$ 0.47a	12.37 $\pm$ 0.97a	1.68 $\pm$ 0.13a
	300	7.78 $\pm$ 0.52a	11.19 $\pm$ 0.80a	1.86 $\pm$ 0.16a
	400	8.07 $\pm$ 0.59a	13.46 $\pm$ 0.88a	1.97 $\pm$ 0.12a
	C.V.	27.32	27.72	28.91
3	0	7.73 $\pm$ 0.70a	12.74 $\pm$ 0.69a	1.60 $\pm$ 0.18ab
	50	6.83 $\pm$ 0.70a	10.16 $\pm$ 0.54a	1.44 $\pm$ 0.10b
	150	6.81 $\pm$ 0.71a	10.97 $\pm$ 0.82a	1.65 $\pm$ 0.10ab
	300	7.20 $\pm$ 0.52a	13.16 $\pm$ 0.81a	1.79 $\pm$ 0.97ab
	400	6.42 $\pm$ 0.30a	12.34 $\pm$ 0.87a	1.99 $\pm$ 0.10a
	C.V.	33.78	24.71	27.46
4	0	5.89 $\pm$ 0.46a	12.90 $\pm$ 0.91a	1.74 $\pm$ 0.13a
	50	5.77 $\pm$ 0.42a	11.24 $\pm$ 0.95a	1.49 $\pm$ 0.09a
	150	5.91 $\pm$ 0.28a	13.30 $\pm$ 1.09a	1.78 $\pm$ 0.11a
	300	7.08 $\pm$ 0.74a	13.86 $\pm$ 1.03a	1.77 $\pm$ 0.11a
	400	6.03 $\pm$ 0.37a	13.19 $\pm$ 0.89a	1.73 $\pm$ 0.11a
	C.V.	30.27	29.33	25.15

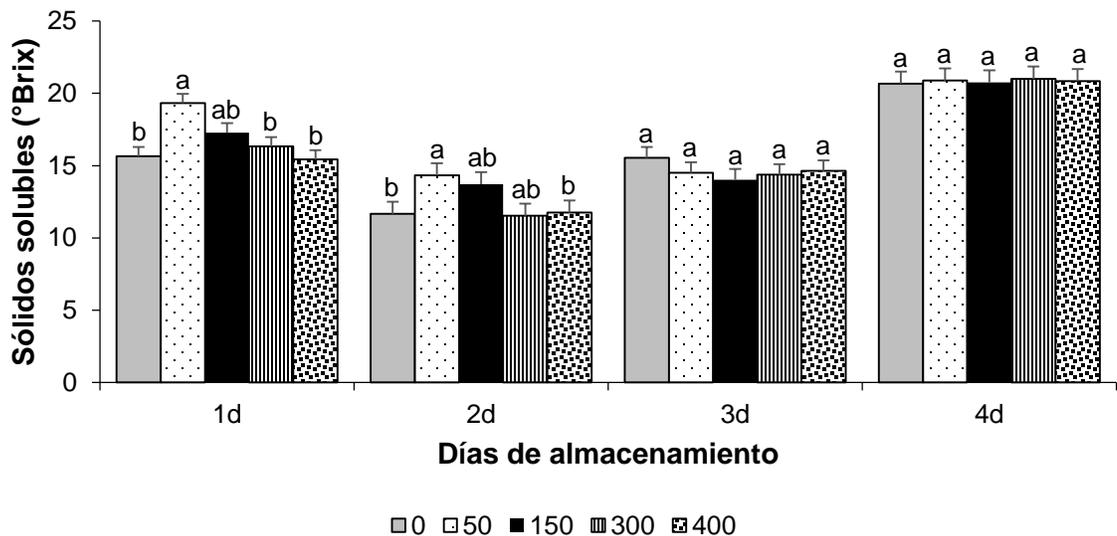
C.V.= Coeficiente de variación.

Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.2.8 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales de los frutos de rambután fueron afectados significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 107.26$ ; g.l. = 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), y por dosis de irradiación ( $F = 2.97$ ; g.l. = 4, 299;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 1.64$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). En la Figura 23, se observa que en los

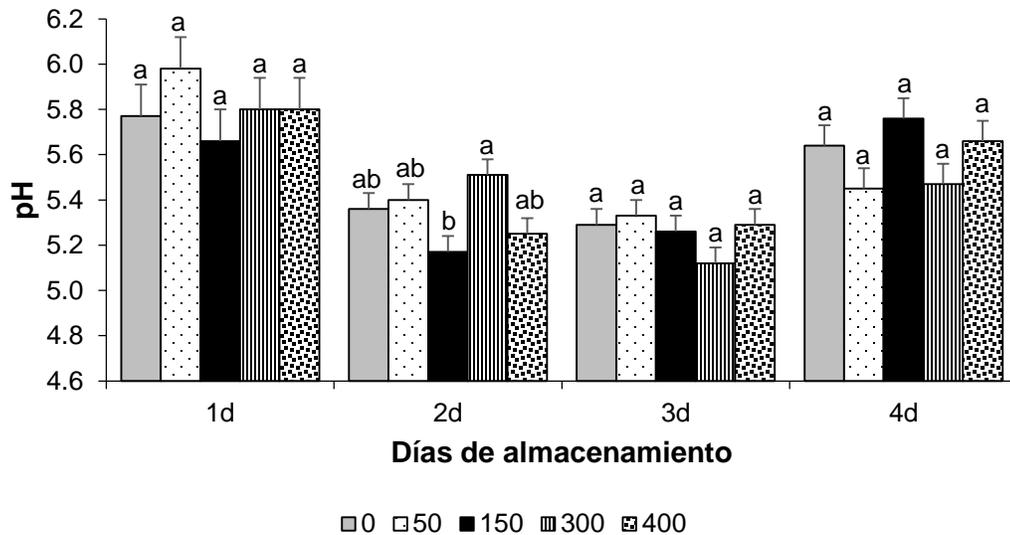
primeros dos días del experimento, se presentaron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales en relación con la dosis de irradiación. Sin embargo, en el tercer y cuarto día del experimento no se observan diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales en relación con la dosis de irradiación. En general, se observa que al transcurrir los días de almacenamiento la cantidad de sólidos solubles aumento. Resultados similares también fueron observados por Silva *et al.* (2011) en la evaluación de calidad en mangos cultivar “Tommy Atkins”. Al igual Hussain *et al.* (2008) realizo estudios de calidad en frutos de duraznos en las que observo que a dosis de 1.2 y 1.4 kGy los frutos conservaron mayor calidad y al mismo tiempo más alta concentración de sólidos solubles. Sin embargo, McDonald *et al* (2013) hallaron que naranjas navel “Lane Late” tratadas con dosis de 400 y 600 Gy fueron significativamente menor en comparación con los frutos control respecto a los sólidos solubles.



**Figura 23.** Sólidos solubles totales (°Brix) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de Co<sup>60</sup> (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.2.9 pH

El pH contenido en los frutos de rambután presentó diferencias significativas en relación con los días de almacenamiento ( $F = 31.36$ ; g.l. = 3, 299;  $P \leq 0.05$ ), pero no en la dosis de irradiación ( $F = 0.36$ ; g.l. = 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 1.69$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ). El pH prácticamente fue el mismo con las distintas dosis de irradiación, en cada día del experimento. Con excepción del segundo día en donde se observan ligeras variaciones respecto a la dosis 150 Gy de irradiación gamma (Fig. 24).

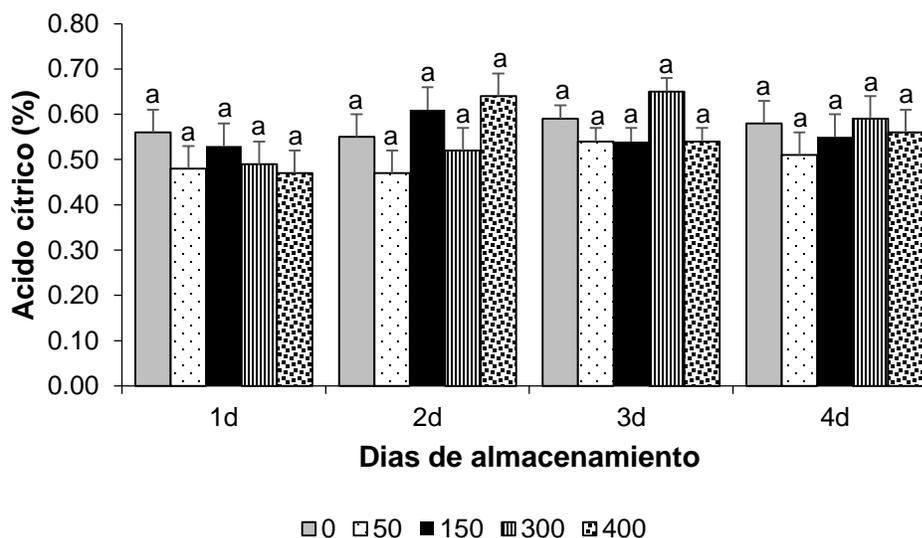


**Figura 24.** pH (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

Se puede decir que la irradiación no tuvo efecto en el pH de los frutos. Silva *et al.* (2011), obtuvieron resultados similares en frutos de mango del cultivar “Tommy Atkins”, en los cuales se encontró que no se presentaron diferencias en cada dosis de irradiación evaluada. El mismo comportamiento, se observó en tomates de árbol irradiados (Abad, 2014). En frutos de rambután irradiados el pH presentó cambios significativos en el cultivar “R134”, caso contrario sucedió con el cultivar “R167”, en el cual no hubo efecto de la irradiación (Follett y Sanxter, 2000).

### 5.2.10 Acidez titulable

La acidez titulable no fue afectada significativamente por los días de almacenamiento ( $F = 2.02$ ; g.l. = 3, 299;  $P \geq 0.05$ ), ni por la dosis de irradiación ( $F = 1.61$ ; g.l. = 4, 299;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis tampoco fue significativa ( $F = 1.10$ ; g.l. = 12, 299;  $P \geq 0.05$ ) (Fig. 25).



**Figura 25.** Acidez titulable (ácido cítrico %) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Jetlee”, evaluadas durante 4 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

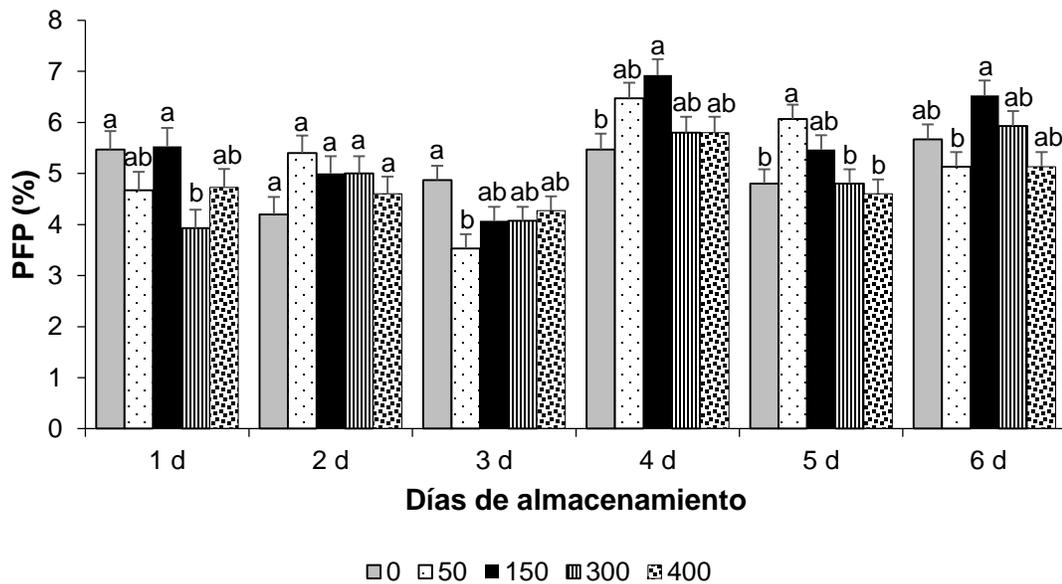
Los resultados demuestran que tanto los días de almacenamiento como la irradiación no afectaron la acidez titulable de los frutos de rambután. Similarmente, Justo y Hernández (2009) tampoco encontraron diferencias significativas en los valores de acidez titulable en cada dosis de irradiación evaluada (% de ácido cítrico) en frutos de guayaba.

## 5.3 Variedad “Adelita”

### 5.3.1 Pérdida fisiológica de peso

La PFP en los frutos de rambután de la variedad “Adelita” mostró diferencias significativas en los días de almacenamiento ( $F = 24.88$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ) con la dosis de irradiación ( $F = 4.82$ ; g.l. 4, 449;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis de irradiación fue significativa ( $F = 2.92$ ; g.l.= 20, 449;  $P \leq 0.05$ ). En la Figura 26, se observa variación en la pérdida fisiológica de

peso en cada uno de los días de almacenamiento en relación con cada dosis de irradiación. Se pueden observar diferencias en la disminución de peso en los días uno, tres, cuatro, cinco y seis. También se puede observar que el día uno con la dosis de 300 Gy presento la menor pérdida de peso y la dosis de 50 Gy influyó en los días tres y seis en la cual presentó reducción de pérdida de peso en los frutos tratados; el resto de los días en comparacion con los frutos testigo no mostraron diferencias significativas.



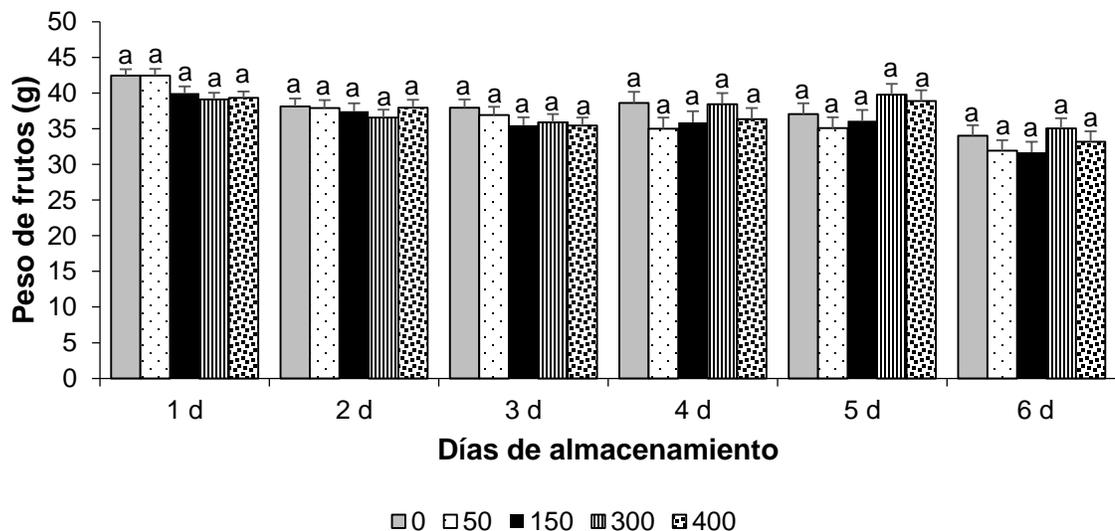
**Figura 26.** Pérdida fisiológica de peso (PFP) (%) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

En esta variable, respecto a los frutos de rambután de la variedad “Adelita”, se muestra que existe pérdida de peso debido al periodo de almacenamiento junto con las dosis de irradiación aplicadas, pero que la dosis de 50 Gy disminuye ligeramente la PFP, por lo tanto, las comparaciones realizadas en la disminución de peso por días de acuerdo a las dosis de irradiación, muestran variaciones significativas provocadas por la irradiación gamma de  $Co^{60}$ . La PFP frutos es ocasionada principalmente por la pérdida de agua, aunque también influyen procesos metabólicos como la respiración (Bourtoom, 2008); Caballero *et al.* (2011) menciona que la PFP en frutos de rambután es debido a los números estomas de los espiternos, una cutícula delgada y un desarrollado

tejido vascular que se prolonga a lo largo de los espiternos. Miranda (1985) menciona que el uso de la radiación gamma tiene la capacidad de disminuir procesos metabólicos en los frutos, tal como lo demuestran los estudios realizados por McDonald *et al.* (2013) en los cuales encontraron que la pérdida de peso en frutos de naranja navel “Lane Late” se vio afectado significativamente por los niveles de irradiación. Además en frutas de peras irradiadas se encontraron que las dosis bajas de irradiación (0,5 kGy y 1 kGy) disminuyen la pérdida de peso, es decir que la irradiación gamma se considera beneficiosa en la conservación de la fruta (Salem y Moussa, 2014).

### 5.3.2 Peso de frutos

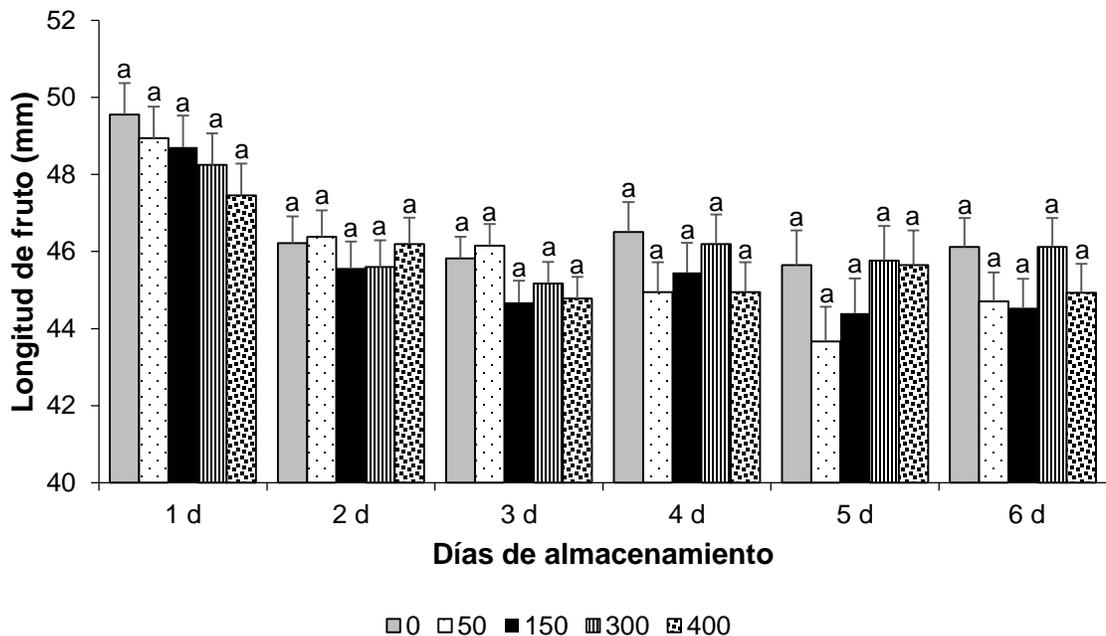
El peso de los frutos de rambután de la variedad “Adelita” fue afectado por los días de almacenamiento ( $F = 16.52$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), sin embargo, la irradiación no fue significativa ( $F = 2.17$ ; g.l.= 4, 449;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F = 1.07$ ; g.l.= 20, 449;  $P \geq 0.05$ ). Las dosis de irradiación no afectaron el peso de los frutos de rambután al comparar los días por dosis de irradiación, aunque, muestra cambios significativos en los días de almacenamiento en el peso de los frutos, en los cuales los frutos fueron disminuyendo de peso gradualmente (Fig. 27).



**Figura 27.** Peso de frutos (g) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.3.3 Longitud de frutos

La longitud de los frutos se vio afectada por los días evaluados ( $F = 15.48$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), la dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 2.16$ ; g.l.= 4, 449;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días por irradiación no fue significativa ( $F = 0.65$ ; g.l.= 20, 449;  $P \geq 0.05$ ). Las dosis de irradiación no mostraron efecto respecto a la longitud de los frutos de rambután al comparar el tiempo de almacenamiento y dosis de irradiación, no obstante, se perciben que sí existió cambios en los días de almacenamiento en la longitud de los frutos durante los días que duro el experimento (Fig. 28).

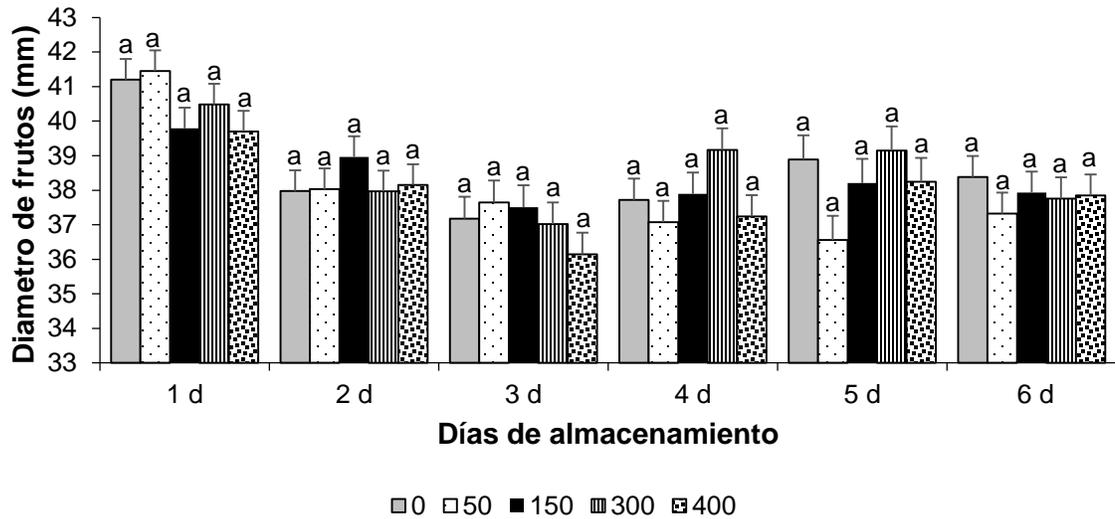


**Figura 28.** Longitud de fruto (mm) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.3.4 Diámetro de frutos

Al igual que la longitud de los frutos, el diámetro presentó cambios significativos en los días de almacenamiento ( $F = 17.42$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), sin embargo, la irradiación no fue significativa ( $F = 1.57$ ; g.l.= 4, 449;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por dosis de irradiación no fue significativa ( $F = 1.22$ ; g.l.= 20, 449;  $P \geq 0.05$ ). Las dosis de irradiación no afectaron el diámetro de los frutos al comparar días y dosis de irradiación. No obstante, sí se presentaron

efectos en los días de almacenamiento en el diámetro de los frutos, en los cuales se aprecian que disminuyen de diámetro a partir del tercer día (Fig. 29). El comportamiento de los frutos se debió a la pérdida de agua, lo cual está relacionado con la pérdida de peso en rambután y litchi (Landrigan *et al.*, 1996; Kaewchana *et al.*, 2006).



**Figura 29.** Diámetro de fruto (mm) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

### 5.3.5 Color

En el cuadro 7, se muestra los valores obtenidos en el ángulo de tono (*hue*), el cual fue afectado por los días de almacenamiento ( $F= 5.83$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), la irradiación gamma no afectó significativamente el tono de los frutos ( $F= 1.97$ ; g.l.= 4, 449;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días por irradiación fue significativa ( $F= 1.76$ ; g.l.= 20, 449;  $P \leq 0.05$ ). En los días de almacenamiento uno y cinco, los frutos de rambután presentaron una ligera variación en el tono de los frutos.

Los valores en el índice de saturación (*Chroma*) de los frutos no mostraron diferencias significativas durante los días de almacenamiento ( $F= 0.73$ ; g.l.= 5, 449;  $P \geq 0.05$ ), sin embargo, las dosis de irradiación si afectó significativamente dicho índice ( $F= 2.41$ ; g.l.= 4, 449;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento por irradiación no fue significativa ( $F= 1.18$ ; g.l.=20, 449;  $P \geq 0.05$ ). En el cuadro 7, se observa que prácticamente no se presentaron

diferencias significativas en el índice de saturación de los frutos de rambután durante los días de almacenamiento con cada dosis de irradiación, a excepción del día uno en el que se observa una ligera variación inducida por la dosis de 400 Gy.

Respecto a los valores de luminosidad de los frutos de rambután fueron afectados significativamente tanto por los días de almacenamiento ( $F= 6.06$ ; g.l.=5, 449;  $P \leq 0.05$ ) como, por la irradiación ( $F= 4.30$ ; g.l.=4, 449;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días x irradiación fue significativa ( $F= 1.16$ ; g.l.=20, 449;  $P \leq 0.05$ ). Se muestran las diferencias de luminosidad durante los días de almacenamiento en cada dosis de irradiación de los frutos de rambután. Se puede observar en el día dos una variación respecto a la dosis de irradiación de 150 Gy (cuadro 7).

Los resultados obtenidos en este experimento de color, expresan que los frutos de rambután de la variedad “Adelita” fueron afectados en el ángulo de tono tan sólo por los días de almacenamiento y no por la irradiación; sin embargo, las variables índice de saturación (*chroma*) y luminosidad mostraron cambios significativos debido a las dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$ . En contraste, estudios realizados en papaya determinaron que tanto los valores del ángulo de tono, índice de saturación y luminosidad no se presentaron cambios significativos debido al efecto de la irradiación en la cascara de los frutos (Pimentel y Walder, 2004). Al igual, en naranjas navel “Lane Late” la irradiación no causó ningún efecto en los parámetros de color (McDonald *et al.*, 2013).

**Cuadro 7.** Tono, saturación y luminosidad ( $\pm$ EE) del color del pericarpio de frutos en rambután (*N. lappaceum*) variedad "Adelita", evaluados durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma con fuente de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.

Días de almacenamiento	Dosis de irradiación (Gy)	Hue	Chroma	Luminosidad
1	0	39.60 $\pm$ 1.45ab	23.21 $\pm$ 0.74ab	27.98 $\pm$ 0.61a
	50	37.12 $\pm$ 1.07ab	25.92 $\pm$ 0.76a	28.17 $\pm$ 0.90a
	150	35.42 $\pm$ 2.02b	24.67 $\pm$ 1.38ab	24.90 $\pm$ 1.19a
	300	39.84 $\pm$ 1.71ab	23.16 $\pm$ 0.56ab	27.06 $\pm$ 0.95a
	400	40.32 $\pm$ 1.95a	21.93 $\pm$ 0.84b	28.00 $\pm$ 0.81a
	C.V.	12.08	14.65	17.89
2	0	40.99 $\pm$ 1.73a	24.37 $\pm$ 1.16a	27.95 $\pm$ 0.76a
	50	39.04 $\pm$ 0.68a	24.41 $\pm$ 0.67a	29.14 $\pm$ 0.95a
	150	37.95 $\pm$ 2.80a	25.05 $\pm$ 2.59a	23.49 $\pm$ 0.87b
	300	38.64 $\pm$ 1.88a	22.89 $\pm$ 0.49a	29.00 $\pm$ 0.70a
	400	37.56 $\pm$ 2.02a	21.56 $\pm$ 0.63a	27.12 $\pm$ 0.87a
	C.V.	20.57	22.14	12.91
3	0	40.86 $\pm$ 1.30a	24.25 $\pm$ 0.68a	29.33 $\pm$ 1.04a
	50	39.94 $\pm$ 1.63a	24.06 $\pm$ 0.90a	28.76 $\pm$ 1.05a
	150	39.24 $\pm$ 1.76a	22.92 $\pm$ 0.57a	28.46 $\pm$ 0.84a
	300	44.66 $\pm$ 2.83a	24.21 $\pm$ 0.62a	29.72 $\pm$ 1.42a
	400	38.73 $\pm$ 1.78a	24.81 $\pm$ 0.78a	28.82 $\pm$ 0.96a
	C.V.	18.37	11.59	11.13
4	0	39.99 $\pm$ 1.52a	23.16 $\pm$ 0.65a	26.03 $\pm$ 0.82a
	50	39.50 $\pm$ 1.42a	24.81 $\pm$ 0.47a	26.67 $\pm$ 1.13a
	150	40.90 $\pm$ 1.46a	24.75 $\pm$ 0.69a	27.47 $\pm$ 1.07a
	300	39.50 $\pm$ 1.72a	24.64 $\pm$ 0.66a	28.18 $\pm$ 0.72a
	400	41.60 $\pm$ 1.39a	24.00 $\pm$ 0.73a	29.73 $\pm$ 0.96a
	C.V.	14.45	10.37	13.32
5	0	39.32 $\pm$ 1.70b	23.31 $\pm$ 0.61a	28.30 $\pm$ 0.84a
	50	36.48 $\pm$ 1.99b	23.93 $\pm$ 0.79a	29.19 $\pm$ 0.86a
	150	42.90 $\pm$ 2.35ab	22.68 $\pm$ 0.80a	29.01 $\pm$ 1.32a
	300	44.34 $\pm$ 2.12ab	23.53 $\pm$ 0.80a	31.30 $\pm$ 1.55a
	400	48.81 $\pm$ 2.13a	22.87 $\pm$ 0.94a	29.55 $\pm$ 1.52a
	C.V.	18.92	13.30	14.19
6	0	43.92 $\pm$ 2.44a	24.74 $\pm$ 0.95a	29.30 $\pm$ 0.99a
	50	44.58 $\pm$ 2.28a	24.66 $\pm$ 1.00a	32.29 $\pm$ 1.36a
	150	43.23 $\pm$ 2.24a	23.41 $\pm$ 0.70a	28.53 $\pm$ 0.90a
	300	41.26 $\pm$ 1.68a	25.27 $\pm$ 0.75a	28.64 $\pm$ 1.01a
	400	45.41 $\pm$ 2.33a	22.49 $\pm$ 0.78a	29.89 $\pm$ 1.14a
	C.V.	19.60	13.53	14.25

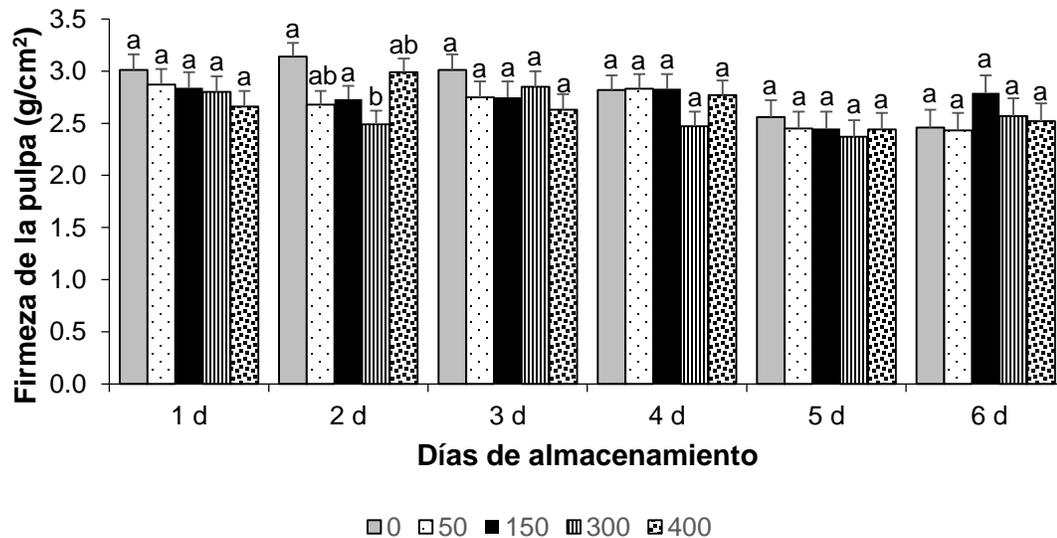
Hue=Ángulo de tono (Hue); Chroma=Índice de saturación; L=Luminosidad; C.V.=Coeficiente de variación.

Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con una prueba de Tukey (0.05%).

### 5.3.6. Firmeza de la pulpa

La firmeza de la pulpa de los frutos de rambután no fue significativa en los días de almacenamiento ( $F=1.33$ ; g.l.=5, 449;  $P \geq 0.05$ ) a diferencia de la dosis de irradiación que fue significativo ( $F=2.50$ ; g.l.=4, 449;  $P \leq 0.05$ ). La interacción

días x irradiación no fue significativa ( $F=0.61$ ; g.l.=20, 449;  $P \geq 0.05$ ). En la Figura 30, se observa la diferencia en la firmeza de los frutos en cada uno de los días de almacenamiento por cada dosis de irradiación. También, se puede observar en el día dos las diferencias de firmeza en la pulpa en los frutos de rambután con la dosis de irradiación de 300 Gy; en los demás días no se aprecia ninguna diferencia con respecto a la dosis aplicada.



**Figura 30.** Firmeza de la pulpa ( $\text{g/cm}^2$ ) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

La firmeza de la pulpa de rambután fue afectada debido a las dosis de irradiación evaluadas en este experimento, también se puede observar que la firmeza de los frutos presentó una tendencia a disminuir conforme avanzaba el periodo de almacenamiento. Del mismo modo Salem y Moussa (2014) indicaron que hubo una disminución de la firmeza en frutas de peras tratadas con rayos gamma con el aumento del periodo de almacenamiento y aumento de las dosis de irradiación. También, se observaron cambios en naranjas “Valencia” tratadas con 300 y 400 Gy, las cuales mostraron pérdida de firmeza del 10% en comparación con las frutas usadas como testigo o control (Miller *et al.*, 2000). De hecho la inducción de la pérdida de firmeza por la irradiación está asociado con una descomposición acelerada de la pectina y otros polisacáridos

estructurales, tales como la celulosa y hemicelulosas (Prakash *et al.*, 2002; McDonald *et al.*, 2012).

### **5.3.7. Peso de cáscara, arilo y semilla**

El peso de cáscara de los frutos de rambután fue afectada significativamente durante los días de almacenamiento ( $F= 30.53$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), y por la dosis de irradiación aplicada ( $F= 6.59$ ; g.l.= 4, 449;  $P \leq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x irradiación gamma fue significativa ( $F= 1.86$ ; g.l.= 20, 449;  $P \leq 0.05$ ). Se puede observar en el cuadro 8, el efecto del tiempo de almacenamiento junto con las dosis de irradiación en el peso de la cascara de los frutos de rambután. En los días cuatro y cinco, se observan cambios debido a la dosis de 50 Gy.

En relación al peso del arilo, se encontró que los frutos fueron afectados significativamente por días de almacenamiento ( $F= 6.36$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), no obstante, la dosis de irradiación no fue significativa ( $F=1.26$ ; g.l.=4, 499;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x irradiación no fue significativa ( $F=1.00$ ; g.l.=20, 499;  $P \geq 0.05$ ). La dosis de irradiación no afectaron el peso del arilo de los frutos de rambután al hacer la comparación por día de almacenamiento y dosis de irradiación, no obstante, se observan que si hubo un efecto en los días de almacenamiento en el peso del arilo (Cuadro 8).

Finalmente, el peso de las semillas en los frutos de rambután fue significativamente afectada por los días de almacenamiento ( $F= 3.15$ ; g.l.= 5, 449;  $P \leq 0.05$ ), sin embargo, la dosis de irradiación no fue significativa ( $F= 0.60$ ; g.l.= 4, 449;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x irradiación no fue significativa ( $F= 0.86$ ; g.l.= 20, 449;  $P \geq 0.05$ ). Se puede observar que la irradiación no causó ningún efecto en la semilla de los frutos de rambután, tan sólo, los días de almacenamiento causaron efecto en las semillas (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Peso de cascara, arilo y semilla ( $\pm$ EE) en frutos de rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C.

Días de almacenamiento	Dosis de irradiación (Gy)	Cascara	Arilo	Semilla
		(g)	(g)	(g)
1	0	21.36 $\pm$ 1.09a	16.89 $\pm$ 0.29ab	2.24 $\pm$ 0.08a
	50	21.01 $\pm$ 0.69a	17.75 $\pm$ 0.34a	2.45 $\pm$ 0.14a
	150	18.76 $\pm$ 0.54a	17.35 $\pm$ 0.56ab	2.60 $\pm$ 0.90a
	300	19.52 $\pm$ 0.56a	16.05 $\pm$ 0.42b	2.45 $\pm$ 0.12a
	400	18.46 $\pm$ 0.64a	16.47 $\pm$ 0.28ab	2.51 $\pm$ 0.08a
	C.V.	14.42	9.07	17.46
2	0	18.61 $\pm$ 0.86a	15.95 $\pm$ 0.63a	2.03 $\pm$ 0.17a
	50	17.78 $\pm$ 0.53a	16.02 $\pm$ 0.49a	2.31 $\pm$ 0.12a
	150	17.66 $\pm$ 0.54a	16.15 $\pm$ 0.48a	2.20 $\pm$ 0.11a
	300	16.87 $\pm$ 0.68a	15.45 $\pm$ 0.74a	2.26 $\pm$ 0.17a
	400	16.81 $\pm$ 0.64a	16.48 $\pm$ 0.50a	2.37 $\pm$ 0.13a
	C.V.	14.69	14.06	25.34
3	0	17.88 $\pm$ 0.74a	16.52 $\pm$ 0.46a	2.36 $\pm$ 0.11a
	50	17.33 $\pm$ 0.62a	16.09 $\pm$ 0.44a	2.13 $\pm$ 0.16a
	150	16.33 $\pm$ 0.63a	15.60 $\pm$ 0.36a	2.14 $\pm$ 0.13a
	300	16.36 $\pm$ 0.74a	15.23 $\pm$ 0.49a	2.24 $\pm$ 0.13a
	400	15.81 $\pm$ 1.00a	15.77 $\pm$ 0.67a	2.35 $\pm$ 0.13a
	C.V.	17.63	12.17	20.48
4	0	18.27 $\pm$ 0.65a	16.83 $\pm$ 0.65a	2.35 $\pm$ 0.09a
	50	13.73 $\pm$ 0.76b	17.37 $\pm$ 0.73a	2.03 $\pm$ 0.17a
	150	16.84 $\pm$ 1.04ab	15.89 $\pm$ 0.69a	2.01 $\pm$ 0.11a
	300	18.24 $\pm$ 1.25a	16.77 $\pm$ 0.44a	2.30 $\pm$ 0.09a
	400	15.74 $\pm$ 0.99ab	16.00 $\pm$ 0.79a	2.09 $\pm$ 0.10a
	C.V.	22.57	15.74	24.63
5	0	18.00 $\pm$ 0.93a	13.95 $\pm$ 0.70a	2.00 $\pm$ 0.24a
	50	13.52 $\pm$ 1.02b	15.41 $\pm$ 0.57a	2.34 $\pm$ 0.12a
	150	16.49 $\pm$ 1.30ab	14.47 $\pm$ 0.58a	2.10 $\pm$ 0.09a
	300	17.84 $\pm$ 0.75a	16.25 $\pm$ 0.87a	2.23 $\pm$ 0.18a
	400	17.25 $\pm$ 1.19ab	15.36 $\pm$ 0.67a	2.22 $\pm$ 0.12a
	C.V.	24.68	17.79	26.88
6	0	14.42 $\pm$ 1.08a	15.22 $\pm$ 0.76a	2.26 $\pm$ 0.08a
	50	11.24 $\pm$ 0.63a	16.02 $\pm$ 0.88a	2.18 $\pm$ 0.20a
	150	12.68 $\pm$ 1.00a	14.99 $\pm$ 0.97a	2.06 $\pm$ 0.18a
	300	14.15 $\pm$ 0.88a	15.88 $\pm$ 0.67a	2.22 $\pm$ 0.14a
	400	13.75 $\pm$ 0.77a	14.63 $\pm$ 0.46a	2.14 $\pm$ 0.12a
	C.V.	25.73	19.51	27.57

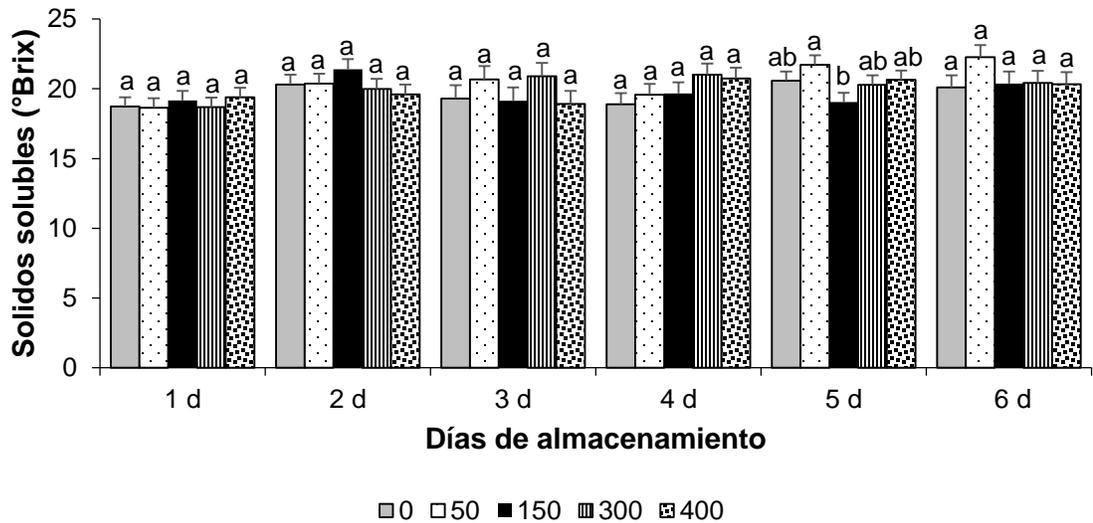
C.V.=Coeficiente de variación.

Valores con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con una prueba de Tukey (0.05%).

### 5.3.8. Sólidos solubles totales

La cantidad de sólidos solubles totales fueron afectados significativamente por los días de almacenamiento ( $F=3.26$ ; g.l.=5;  $P \leq 0.05$ ), no obstante, la dosis de

irradiación no fue significativa ( $F=1.23$ ; g.l.=4;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x irradiación no fue significativa ( $F=1.03$ ; g.l.=20;  $P \geq 0.05$ ). Los días de almacenamiento tuvieron un ligero efecto en los sólidos solubles presentes en los frutos de rambután en el día cinco con la dosis de 150 Gy, tal como se observa en la Figura 31.

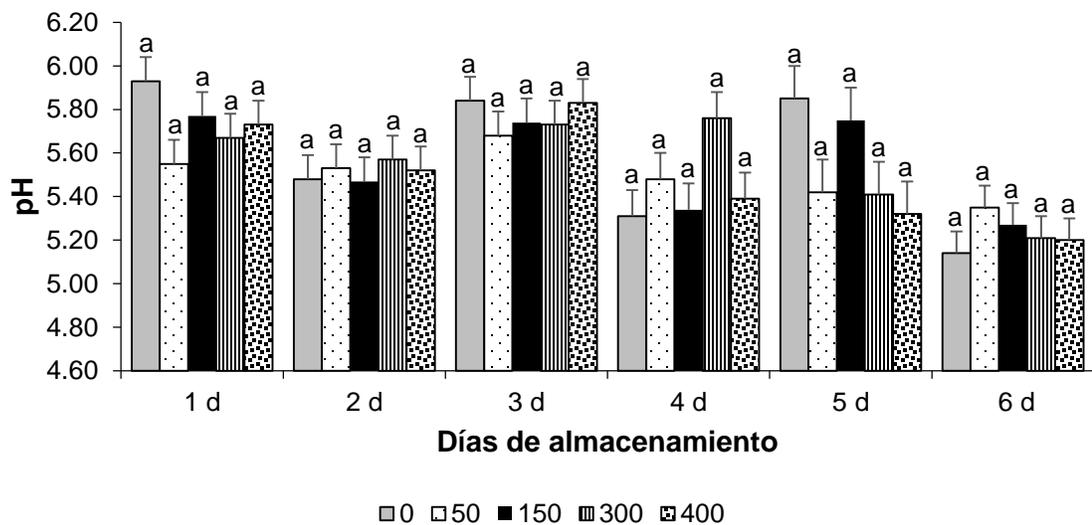


**Figura 31.** Sólidos solubles totales (°Brix) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

Los días de almacenamiento mostraron efecto en los frutos a diferencia de la irradiación la cual no manifestó ningún cambio en comparación con los frutos usados como control. Estos resultados concuerdan con los estudios realizados en tomate de árbol, en el cual el contenido de sólidos solubles no fue afectado por el uso de irradiación (Abad, 2014). Resultados similares reportó Follett y Sanxter (2000) en frutos de rambután. También Salem y Moussa (2014) encontraron que en frutos de pera el valor de los sólidos solubles aumentó conforme trascurrieron los días de almacenamiento y las dosis de irradiación gamma. En frutos de guayaba irradiados no hubo efecto significativo tanto de los días de almacenamiento, como de las dosis de irradiación (Justo y Hernández, 2009).

### 5.3.9 pH

El pH de los frutos fue afectado significativamente por los días de almacenamiento ( $F=13.45$ ; g.l.=5;  $P \leq 0.05$ ). Sin embargo, la dosis de irradiación no fue significativa ( $F=0.71$ ; g.l.=4;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x irradiación no fue significativa ( $F=1.56$ ; g.l.=20;  $P \geq 0.05$ ). En ninguno de los días de almacenamiento de los frutos de rambután irradiados a distintas dosis, se presentaron diferencias significativas en el pH de los frutos (Fig. 32).

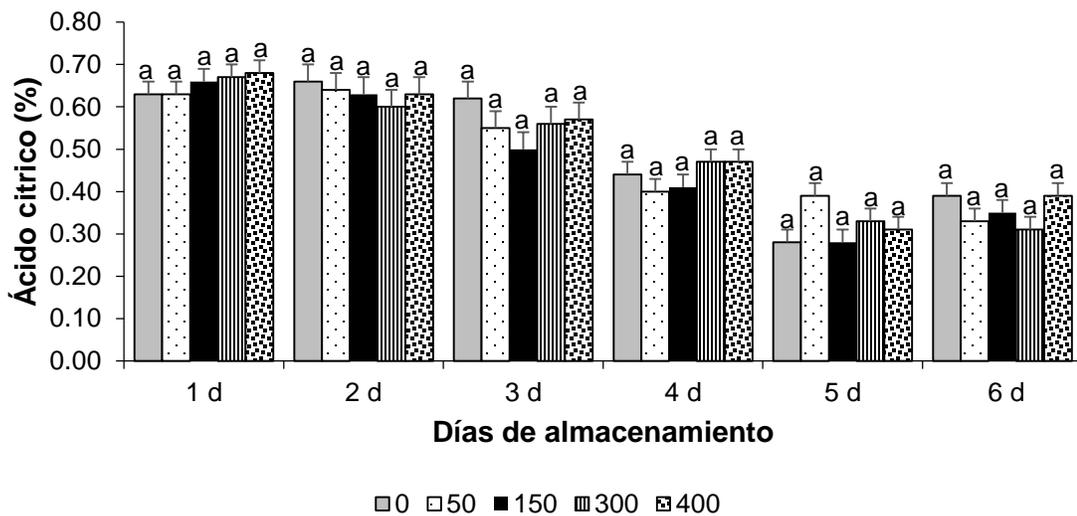


**Figura 32.** pH (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

Estos resultados demuestran que el cambio de pH presentó cambios debido a los días de almacenamiento pero no por las dosis de irradiación en comparación con los frutos usados como testigo. Resultados semejantes, se observaron en frutos de papaya, en los cuales, los valores de pH disminuyeron transcurridos los días de almacenamiento, sin influencia de la radiación en el pH de los frutos (Pimentel y Walder, 2004). Los mismos resultados se observaron en el pH de mangos cultivar “Tommy Atkins”, revelando que la irradiación gamma no afectó el pH (Silva *et al.*, 2011).

### 5.3.10. Acidez titulable

Al igual que el pH, los días de almacenamiento presentaron diferencias significativas durante los días de almacenamiento ( $F=88.98$ ; g.l.=5;  $P \leq 0.05$ ). La dosis de irradiación no fue significativa ( $F=1.07$ ; g.l.=4;  $P \geq 0.05$ ). La interacción días de almacenamiento x dosis de irradiación no fue significativa ( $F=1.10$ ; g.l.=20;  $P \geq 0.05$ ). Los días de almacenamiento y las dosis de irradiación no influyeron significativamente en el contenido de ácido cítrico de los frutos de rambután evaluados (Fig. 33).



**Figura 33.** Acidez titulable (ácido cítrico %) (+EE) en rambután (*N. lappaceum*) variedad “Adelita”, evaluadas durante 6 días, a distintas dosis de irradiación gamma de  $Co^{60}$  (0, 50, 150, 300, 400 Gy), almacenados a 20 °C. Las barras con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo la prueba de Tukey (0.05%).

Los datos anteriores reflejan que la acidez titulable no es afectada por los rayos gamma, sin embargo, se puede observar en la figura 32 que la acidez titulable, tanto en los frutos tratados y los frutos control tuvieron una tendencia a disminuir conforme avanzaron los días de almacenamiento. Silva *et al.*, (2011) reportaron los mismos efectos en mangos del cultivar “Tommy Atkins”, en los cuales la irradiación gamma de  $Co^{60}$  no afecto la acidez titulable de los frutos. Resultados similares también fueron observados en frutos de pera irradiados, en los cuales se observó una marcada disminución de la acidez durante los días de almacenamiento, posiblemente debido a los cambios en el contenido de ácidos orgánicos (Salem y Moussa, 2014).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- 1) Los frutos de rambután de las dos variedades evaluadas tuvieron diferente vida de anaquel. La variedad “Jetlee” presentó características externas aceptables hasta los 4 días, después del corte, mientras que la variedad “Adelita” fue visualmente aceptable hasta los 6 días después del corte o almacenamiento.
- 2) La PFP fue afectado tanto por los días de almacenamiento como por las dosis de irradiación aplicadas en las dos variedades de rambután. En la variedad “Jetlee”, la dosis de 150 Gy afectó PFP al tercer día de almacenamiento. En la variedad “Adelita”, la PFP se presentó en el día uno con la dosis de 300 Gy, y a los tres y seis días con la dosis de 50 Gy.
- 3) El peso de los frutos de rambután para “Jetlee” fue afectada por los días de almacenamiento y la dosis de irradiación. En la variedad “Adelita” el peso de los frutos no fue afectado por la irradiación, pero si por los días de almacenamiento.

- 4) La longitud de los frutos fue afectada, tanto, para la variedad “Jetlee” como “Adelita” por los días de almacenamiento, sin embargo, la irradiación no causó efectos en los frutos.
- 5) Las dosis de irradiación no afectaron en el diámetro de los frutos rambután de la variedad “Jetlee” al hacer la comparación por día y tratamiento. En la variedad “Adelita” la irradiación no causó efecto alguno, pero a partir del tercer día los frutos disminuyeron de diámetro debido a los días de almacenamiento.
- 6) El ángulo de tono del color de los frutos de rambután de la variedad “Jetlee” sólo fue afectado por los días de almacenamiento; mientras que el índice de saturación fue afectado por la dosis de irradiación en el primer, tercer y cuarto día de almacenamiento; y el índice de luminosidad fue afectado por la irradiación en el primer día de almacenamiento. En la variedad “Adelita”, el tono del color de los frutos de rambután fue afectado por los días de almacenamiento en el primer y quinto día, mientras que el índice de saturación y luminosidad fue afectado por la dosis de irradiación en el primer y segundo día de almacenamiento, respectivamente.
- 7) La firmeza de la pulpa de los frutos de rambután de la variedad “Jetlee” no fue afectada por la irradiación, únicamente por los días de almacenamiento y “Adelita” fue afectada por la dosis de irradiación en el día dos con la dosis de 300 Gy.
- 8) El peso de cáscara de la variedad “Jetlee” no fue afectado por la irradiación, lo cual no fue así en el peso del arilo y semilla. El peso de cáscara en la variedad “Adelita” fue afectado por los días de almacenamiento y por dosis de irradiación.
- 9) Los sólidos solubles de la variedad “Jetlee” fueron afectados en los dos primeros días por la dosis de irradiación y días de almacenamiento, sin

embargo en el tercer y cuarto día no se observaron efectos. En la variedad “Adelita” no fue afectada por la irradiación; pero sí por los días de almacenamiento, en el día cinco con la dosis de 150 Gy.

- 10) La irradiación no afectó el pH de los frutos de la variedad “Jetlee”, sin embargo, los días de almacenamiento causaron efecto en el segundo día con la dosis de 150 Gy. En “Adelita” en ninguno de los días de almacenamiento de los frutos irradiados se presentaron efectos en el pH.
- 11) La acidez titulable de la variedad “Jetlee” no fue afectado por los días de almacenamiento ni por la dosis de irradiación. Un efecto similar fue para la variedad “Adelita”, tanto los días de almacenamiento como la dosis de irradiación no influyeron en el contenido de ácido cítrico de los frutos, aunque tuvieron una tendencia a disminuir por los días de almacenamiento.

## **6.2 Recomendaciones**

- 1) La irradiación gamma con fuente de  $\text{Co}^{60}$  puede usarse para el tratamiento cuarentenario de frutos de rambután para exportación sin demeritar su calidad fisicoquímica y vida de anaquel.
- 2) Investigar la interacción de la irradiación con distintas temperaturas de almacenamiento que sean menores a 20 °C, posiblemente porque a temperaturas más bajas, se pueden conservar frutos durante más tiempo.
- 3) Investigar el efecto de la irradiación y días de almacenamiento con otras variedades comerciales de rambután.
- 4) Realizar experimentos de irradiación gamma de  $\text{Co}^{60}$  en combinación con otras técnicas de conservación postcosecha para medir que efecto tiene en la vida de anaquel y la calidad fisicoquímica de los frutos de rambután.

## CAPÍTULO VII

### LITERATURA CITADA

- Abad, T. J. (2014). Estudio del efecto de la combinación de dos tratamientos no convencionales, irradiación con rayos gamma y recubrimiento comestible, en la calidad poscosecha del tomate del árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Tesis profesional de ingeniería química. Instituto Politécnico Nacional. Quito, Ecuador. 129 p.
- AGEXPORT (Asociación Guatemalteca de Exportadores). (2008). Rambután. Ficha 45. Guatemala. 4 p.
- Almeyda, M., Malo, S. E. & Martir, F. W. (1979). Cultivation of neglected tropical fruits with promise. Part 6. The rambutan USDA – SEA. 14 p.
- Almeyda, N. (1981). Frutas tropicales: el rambután. Revista Cafetalera, ANACAFE, 6(203): 23-31.
- Andrade, C. M. J., Moreno, G. C., Henríquez, B. A., Gómez, G. A. y Concellón A. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento poscosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. México, 11(1): 18-27.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Edited by William Horwitz. 17<sup>th</sup> Ed. Maryland, U.S.A. 1298 p.
- Artiles, S. (2006). El rambután y su auge en la región centroamericana. *Boletín Rambután*, 7(3): 14.

- ATN/MT 7957-RG. (2005). Apoyo al comercio agropecuario mediante la aplicación regional armonizada de medidas sanitarias y fitosanitarias. Manual de procedimientos para la aplicación de los tratamientos cuarentenarios. 24 p. Disponible en: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/MANUALDEOPERACIONESPARAPUESTOSDECUARENTENAENAEROPUERTOS.pdf> Consultado el 20 de octubre de 2014.
- Avendaño, Z. C. H., Arévalo, G. L., Sandoval, E. A. y Caballero, P. J. F. (2011). El rambután un cultivo con amplio potencial de explotación en el sur de México. *Agroproductividad*, 4(2): 9-17.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 1-12.
- Caballero, P.J.F., Arévalo, G.M.L., Avendaño, A.C.H., Cadena, I.J., Valdovinos, P. G. y Aguirre, M.J.F. (2011). Cambios físicos y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1): 31-38.
- De la Cruz, T. E., Arriaga, I. M., Sandoval R. L. e Ibáñez P. J. (1996). Morfología y fructificación en aguacate cv. *Hass* sometido a radiación gamma de  $Co^{60}$ . *In: Memorias de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX*, S. C. Coatepec Harinas, México. 12 p.
- De la Garza, N. J. A. (2006). El rambután, frutal con perspectivas de producción para la Huasteca potosino. INIFAP-CIRNE. C.E. desplegable para productores No. 1. Huichihuayán. Tamazunchale, San Luis Potosí, México.
- Delabarre, Y. (1989). Synthèse bibliographique sur le ramboutan on lichi chevelu (*Nephelium lappaceum* L). *Fruits*, 44(1): 33-44.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2014). Food Irradiation. Disponible en: [http://www.epa.gov/radiation/sources/food\\_irrad.html](http://www.epa.gov/radiation/sources/food_irrad.html) Consultado el 11 de Octubre de 2014.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). Committee on commodity problems intergovernmental group on bananas and tropical fruits. Tropical fruits compendium. Fifth session. Yaoundé, Cameroon. 32 p.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). (2003). Manual para el cultivo de rambután en Honduras. San Pedro Sula, Cortés, Honduras. 47 p.

- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). (2006). Manual para el cultivo y propagación de rambután en Honduras. La Lima, Cortés. 57 p.
- Follett, P. A. & Sanxter, S. S. (2000). Comparison of rambutan quality after hot forced-air and irradiation quarantine treatments. *HortScience*, 35(7): 1315-1318.
- Fraire, V. G. (2001). Rambután: alternativa para la producción frutícola del trópico húmedo de México. Folleto Técnico No. 1. Campo Experimental Rosario Izapa, INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Tuxtla Chico, Chiapas, México. 41 p.
- Fundación Produce Nayarit, A. C. (2003). Rambután: una alternativa de producción para el estado de Nayarit. Tríptico. Tepic, Nayarit. 8 p.
- Gutiérrez, Z. A. (2007). Fisiología postcosecha de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) en atmósfera controlada. Tesis de Maestría en Ciencias del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo de México, México. 84 p.
- Hossain, A. M., Hallman, G. J., Khan, S. A. & Islam, S. M. (2011). Phytosanitary irradiation in South Asia. *Journal of Entomology and Nematology*, 3(3): 44-53.
- Hussain, P. R., Meena, R. S., Dar, M. A. & Wani, A. M. (2008). Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma – irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 77(4): 473-481.
- IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). (1986). *Nephelium lappaceum* (Rambután). Genetic resources of tropical and subtropical fruits and nuts (excluding *Musa*). International Board for Plant Genetic Resources. Rome, pp 123-125.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2007). Guía práctica para la exportación de rambután a los Estados Unidos. Managua, Nicaragua. 12 p.
- Infostat. 2008. Software estadístico Infostat versión (2008). Manual del usuario. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Editorial brujas Argentina. Córdoba, Argentina. 336 p.
- ININ. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. (2012). Disponible en: <http://www.inin.gob.mx> Consultado el 13 de Octubre de 2014.

- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). (2003). Descriptors for Rambutan (*Nephelium lappaceum*). International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 55 p.
- Justo, G. M. R. y Hernández, M. 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.
- Kader, A.A. (1986). Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technology*, 40(6): 117-121.
- Kader, A.A. (2001). Quality assurance of harvested horticultural perishables. *Proceeding of 4<sup>th</sup> International Conference on Postharvest*. *Acta Horticulturae*, 553: 51-55.
- Kader, A.A. (2002) *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311. 535 p.
- Kaewchana, R., Niyomlao, W. & Kanlayanarat, S. (2006). Relative humidity influences pericarp browning of litchi cv. "Hong Huay". *The 4<sup>th</sup> International Conference on Managing Quality in Chains*. Bangkok, Thailand *Acta Horticulturae*, 712(2): 823-827.
- Kava, R. D. (2003). *Irradiated Food*. American Council on Science and Health. 5a ed., Broadway, New York, E.U.A. 52 p.
- Kosiyachinda, S., Lam, P.F., Mendoza Jr. D. B., Broto, W. & Wanichkul, K. (1987). Maturity indices for harvesting of rambutan, pp. 32-37. *In: Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology, and Marketing in ASEAN*. Lam, P. F.; Kosiyachinda, S. (eds.). ASEAN Food Handling Bureau. Jakarta, Indonesia. 82 p.
- Kunz, R. (2007). Control of postharvest disease (*Botryodiplodia* sp.) of rambutan and *Annona* species by using a bio-control agent (*Trichoderma* sp.). *The International Center for Underutilised Crops (ICUC) & Industrial Technology Institute (ITI)*, Sri Lanka. 45 p.
- Landrigan, M., Morris, S., Eamus, D. & McGlasson, W. (1996). Postharvest browning of rambutan a consequence of water loss. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(4): 730-734.
- Lee, S. K. & Long, P. C. (1982). Quality attributes of a popular rambutan variety (*Nephelium lappaceum* L. cv. Jit Lee) in Singapore. *Proceedings on the Workshop on Mango and Rambutan*. University of the Philippines at Los Baños. Philippines. pp. 113-116.

- Lye, T., Lamski, S., Maspol, P. & Yong, S.K. (1987). Commercial Rambutan Cultivars in ASEAN. pp. 9-15. *In*: Lam, F. and Kosiyanchinda, S. (eds). Rambutan. Fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau. Jakarta, Indonesia. 82 p.
- McDonald, H., McCulloch, M., Caporaso, F., Winborne, I., Oubichon, M., Rakouski, C. & Prakash, A. (2012). Commercial scale irradiation scale irradiation for insect disinfestation preserves peach quality. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(6): 697 -704.
- McDonald, H., Arpaia, M. L., Caporaso, F., Obenland, O., Were, L.; Rakovski, C. & Prakash, A. (2013). Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose levels on the quality of 'Lane Late' navel oranges. *Postharvest Biology and Tecnology*, 86(2013): 91-99.
- Mcquate, G. T., Follet, P. A. & Yoshimoto, J. M. (2000). Field infestation of rambutan fruits by internal – feeding pests in Hawaii. *Horticulture Entomology*, 93(3): 846-851.
- Mendoza, D. B.; Pantastico, E. B. & Javier, E. B., (1972). Storage and handling of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Philippines Agriculturist*, (55): 322-332.
- Miller, W. R.; McDonald, R. E. & Chaparro, J. (2000). Tolerance of selected orange and mandarin hybrid fruit to low-dose irradiation for quarantine purposes. *HortiScience*, 35(7): 1288-1291.
- Miranda, S. (1985). Empleo de la irradiación gamma para prolongar el período de comercialización de la frutilla. Proyecto de titulación de Ingeniero Químico. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of warm climates*. Media Incorporate Center. Miami, Florida, USA. 505 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-023-FITO-1995. (1999). Norma Oficial Mexicana, por lo que se establece la campaña nacional contra Mosca de la fruta (primera sección). SAGARPA. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/indudes/asp/download.asp?lddocumento=693> Consultado el 10 de Octubre de 2014.
- O'Hare, T. J. (1992). Rambutan: Postharvest physiology and storage. *Tropical. Fruits News*, (26): 4-6.
- Ochse, J. J., Soule, M. J., Dijkam, M. J. & Wehlburg, C. (1976). Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Traducción Blackaller, A. México. Vol. 2. Ed. Limusa, pp. 798-803.

- Paull, R. E. & N. Chen. (1987). Changes in longan and rambutan during postharvest storage. *Hortscience*, 22(6): 1303-1304.
- Pérez, C. F. (2005). Irradiación de alimentos en España, Unidad Técnica de Protección Radiológica. España, 23 p.
- Pérez, R. A. (2009). El cultivo de rambután, una alternativa consolidada en el Soconusco, Chiapas. *In: Memorias del XXII Curso de Actualización frutícola*. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S.C. Coatepec, Harina, México. pp. 185-219.
- Pérez, R. A. y Jürgen, P. A. (2004). Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología*, 20(3): 24-26.
- Pérez, R. A. y Pohlan, J. (2004). Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután, en el Soconusco, Chiapas, México; LEISA, *Revista de Agroecología*, 20(3): 24-26.
- Pimentel, A. R. M. & Walder, M. J. M. (2004). Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. *Laboratório de Irradiação de Alimentos*. Piracicaba, Brazil. *Scientia Agrícola*, 61(2): 146-150.
- Popenoe, W. (1974). *Manual of tropical and subtropical fruits* Hafner press. Mac Millan Publisherg Company Inc. New York, E.U.A. pp. 327-329.
- Prakash, A., Manley, J., De costas, S., Caporaso, F. & Foley, D. (2002). The effects of gamma irradiation on microbiological, physical, and sensory qualities of diced tomatoes. *Radiation Physics and Chemistry*, 63(6): 387-390.
- Prieto, M. E. F. (1997). La irradiación como tratamiento de cuarentena. Instituto de Investigaciones de la Industria Alimentaria. *In: Tratamientos físicos de cuarentena en frutos tropicales y subtropicales*. La Habana, Cuba. pp. 53-56.
- Rodrigo, P. A. (1967). Rambutan and it's relatives. *Philippine Farms Gard*, 4(12): 10-33.
- Ruiz, G. M. R. (2007). Guía práctica de exportación de rambután a los Estados Unidos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Managua, Nicaragua. 12 p.
- Sacramento, C. K. y Andrade, R. A. (2014). El cultivo de rabotam. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 36(1): 079-085.

- Sacramento, C. K., Luna, J. V. U., Muller, C. H., Calvalho, J. E. U. y Nascimento, W. M. O. (2009). Rambotã. *In*: Santos, S. J. A. *et al* (org.) Fruticultura tropical: espécies nativas e exóticas. Brasília, EMBRAPA. pp. 403-421.
- Sacramento, C.K., Nascimento, G. J., Barretto, S. W., Oliveira, R. S. J. y Ahnert, D. (2013). Avaliação da diversidade fenotípica em rambuteiras (*Nephelium lappaceum*) com base na qualidade dos frutos. Bahia, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35(1): 032-038.
- Salem, E. and Moussa, Z. (2014). Extending the Shelf-life of pear fruits by using gamma irradiation. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 47(1): 231-238.
- Sandoval, E. A. 1994. Etapa de injertación del rambután (*Nephelium lappaceum*) en la Costa de Chiapas. Primera Reunión Internacional y segunda Nacional. Frutales nativos e introducidos. Montecillo, México. pp. 272-276.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2007). Irradiación plan de trabajo operativo entre México y Estados Unidos de América. 41 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2009). Manual de procedimientos para verificar y certificar tratamientos fitosanitarios y empresas prestadoras del servicio. Dirección General Fitosanitaria, Méico, 41 p.
- SIAP/SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera / Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación). (2014). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Cierre de la producción agrícola por estado. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> Consultado el 30 de septiembre de 2014.
- Silva, J. M., dos Santos, G. M. C., Maciel, S. M. I. & Villar, P. H. (2011). Evaluation of quality of mango cultivar Tommy Atkins radiated with greater degree of maturity. International Nuclear Atlantic Conference (INAC). Belo Horizonte, MG, Brazil. 6 p.
- Sriram, T. A. (1969). Rambutan, a popular fruit tree. *Indian Horticulture*, 13(3): 12-34.
- Tee, E. S. (1982). Nutrient composition of Malaysian foods. A preliminary table. Division of Human Nutrition, Institute for Medical Research, Kuala Lumpur, Malaysia. 73 p.

- Thayer D.W. & Rajkowski K.T. (1999). Developments in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Technology*, 53(11): 62-65.
- Tindall, D., Menini, G. & Hodder. (1994). Rambutan cultivation FAO. Plant Production and Protection Paper 121. Food and Agricultura Organization of the United Nations (ONU). Roma, Italia. 163 p.
- Tindall, H. D. (1994). Sapindaceous fruits: botany and horticulture. *Horticultural Reviews*, 16(1):143-196.
- USDA-APHIS (United States Department of Agriculture - Animal and Plants Healt Inspection Service). (2010). Treatment manual. Chapter 3. Nonchemical treatments. Irradiation. Disponible en: [http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/sports/download/treatment\\_pdf/03\\_08\\_nonchemicaltreatmentsirradiation.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/sports/download/treatment_pdf/03_08_nonchemicaltreatmentsirradiation.pdf) Consultado el 20 de Octubre de 2014.
- USDA-APHIS (United States Department of Agriculture - Animal and Plants Healt Inspection Service) (2006). Treatments for fruits and vegetables. Rules and Regulations, Federal Register, 71 (18): 4451-4464.
- USDA-APHIS (United States Department of Agriculture / Animal and Plants Healt Inspection Service). (2008). Treatments for fruits and vegetables. Rules and Regulations, Federal Register, 73 (88): 24851-24856.
- Valmayor, R. V., Mendoza, D. B., Aycardo, H. B. & Palencia, C. O. (1970). Growth and flowering habits, floral biology and yield of rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn). *Philippines Agriculture*, 54(1970): 359-374.
- van Welzen P. C. & Verheij E. W. (1991). *Nephelium lappaceum* L. In E.W.M. Verheij and R.E. Coronel (Eds). *Plant Resources of South-East Asia Wageningen: Pudoc No.2. Edible fruits and nuts*. Poduc, Netherlands, pp 233-239.
- Vargas, A. (2003). Descripción morfológica y nutricional del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum*). *Agronomía mesoamericana*, 14(2): 201-206.
- Vázquez, G. F. (2001). El rambután: alternativa para la producción frutícola del trópico húmedo de México. Folleto técnico No.1. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Rozario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas. 45 p.
- Ventura, D., Rufino, J., Nunes, C. y Mendes, N. (2010). Utilização da irradiação no tratamento de alimentos: processamento geral de alimentos. Escola Superior Agrária de Coimbra. 31 p.
- Walker, T. E. (1988). *Nephelium lappaceum* – Rambutan. In: Gardner, R. J., Chaudri, S.H. (eds). *The propagation of tropical fruit trees*. C. A. B.

- International. Slough, England. Horticultural review. Farrham Royal, 4: 518-529.
- Wanichkul, K. & Kosiyachinda, S. (1982). Fruit development and harvesting index of rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) var. Seeehompoo. Proceedings of the Workshop on Mango and Rambutan, University of the Philippines at Los Baños, Philippines. pp. 117-124.
- Watson, B. J. (1984). Rambután (*Nephelium lappaceum*). In: Tropical tree fruits for Australia. Page, P. E. (ed.). Queensland Department of Primary Industry. Horticulture Branch. pp. 198-203.
- Watson, B. J. (1988). Rambutan cultivars in north Queensland. Queensland Agricultural Journal, 144(1): 37- 41.
- Wells, I. & Bagshaw, J. (1989). Handling rambutans after harvest. Queensland Fruit and Vegetables News, (2): 16-17.
- Whitehead, C. (1959). The rambutan, a description of the characteristics and potencial of the more important varieties. Malaysian Agriculture Journal 42(2): 53-57.
- Wijeratnam, R. S. W., Abeyesekere M. & Sivakumar D. (1998). Studies on maturity and low temperature storage of three rambutan cultivars grown in Sri Lanka. International Postharvest Science Conference Postharvest 96. Acta Horticulturae 464: 514.
- Wills, R. B. H., Lim, J. S. K. & Greenfield, H. (1986). Composition of Australian foods. 31. Tropical and sub-tropical fruit. Food Technology in Australia, 38(3): 118-123.
- Wills, R. B. H., Lee, T. H., Graham, D., McGlasson, W. B. & Hall, E. (1981). Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. AVI Publishing Company Inc. Westport, Conn. USA. 161 p.
- Zee, F. T. (1995). Rambutan. New Crop Fact sheet. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/cropfactsheets/Rambutan.html>  
Consultado el 3 de noviembre de 2014.