



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

**ESTUDIOS SOBRE LA MORFOLOGÍA Y  
OSCURECIMIENTO DEL PERICARPIO DE FRUTOS DE  
RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* Linn.)**

JUAN FRANCISCO CABALLERO PÉREZ

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2012

La presente tesis titulada: “ESTUDIOS SOBRE LA MORFOLOGÍA Y OSCURECIMIENTO DEL PERICARPIO DE FRUTOS DE RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* Linn.)” realizada por el alumno Juan Francisco Caballero Pérez, con la dirección del Consejo Particular indicado ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

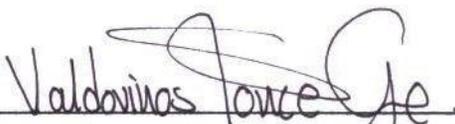
**DOCTOR EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FRUTICULTURA**

**CONSEJO PARTICULAR**

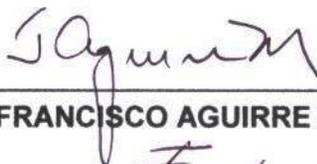
**CONSEJERA:**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. MA. DE LOURDES C. ARÉVALO GALARZA**

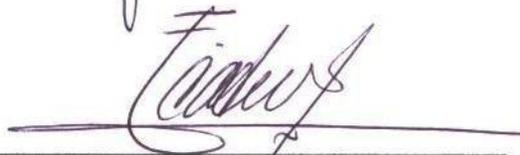
**ASESORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. GUADALUPE VALDOVINOS PONCE**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JORGE CADENA INIGUEZ**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. CARLOS HUGO AVENDAÑO ARRAZATE**

**Montecillo Texcoco, Estado de México, Julio de 2012**

# ESTUDIOS SOBRE LA MORFOLOGÍA Y OSCURECIMIENTO DEL PERICARPIO DE FRUTOS DE RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* Linn.)

Juan Francisco Caballero Pérez, Dr.  
Colegio de postgraduados, 2012

El oscurecimiento del pericarpio en frutos de rambután a pocos días después de la cosecha demerita su calidad limitando su comercialización. La producción de rambután a nivel comercial ha aumentado considerablemente en el sur de México por lo que se ha visto la necesidad de estudiar aspectos de la fisiología del fruto relacionados con la oxidación del pericarpio durante el manejo postcosecha. Las tecnologías postcosecha usadas para reducir el oscurecimiento no han sido efectivas pues tienen beneficios limitados. Por lo anterior, es indispensable conocer el origen del problema e implementar tecnologías que resulten en mayor vida de anaquel. En este sentido, los objetivos de esta investigación fueron conocer las características morfológicas, anatómicas, fisiológicas, físicas y bioquímicas durante el crecimiento y desarrollo de los frutos de tres selecciones de rambután (RI-148, RI-115 y RI-104). También se evaluó el efecto de la aplicación de dos concentraciones de  $\text{CaCl}_2$  (0.1 y 0.2 M) y ácido abscísico (ABA  $10^{-6}$  M) con el fin de modificar el comportamiento estomático y reducir las pérdidas de agua y oscurecimiento del pericarpio durante la vida postcosecha de los frutos de rambután producidos en el Soconusco, Chiapas. Los resultados mostraron que los numerosos estomas en los espiternos, una cutícula delgada y un desarrollado tejido vascular que se prolonga a lo largo de los espiternos contribuyen a la alta pérdida de peso del fruto. El número de espiternos en el fruto no fue un factor determinante en el oscurecimiento del pericarpio y se atribuye más a la densidad estomática del fruto. La aplicación de  $\text{CaCl}_2$  0.2 M con tres aplicaciones quincenales y los tratamientos con  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M y ABA  $10^{-6}$  M con cinco aplicaciones quincenales antes de la cosecha, redujeron en mayor grado la pérdida de peso y el oscurecimiento del pericarpio de los frutos de la selección RJA sin afectar las variables de calidad como azúcares totales, sólidos solubles totales y ácido ascórbico durante el manejo postcosecha.

**Palabras clave:** Desarrollo de fruto, histología, pericarpio, estomas, oscurecimiento, postcosecha.

**MORPHOLOGY AND BROWNING STUDY OF PERICARP  
ON RAMBUTAN FRUITS (*Nephelium lappaceum* Linn.)**

**Juan Francisco Caballero Pérez, Dr.  
Colegio de postgraduados, 2012**

The pericarp browning in rambutan fruits shortly after harvest diminishes their quality limiting their commercialization. The rambutan production at commercial level has increased considerably in the south of Mexico and has seen the need to study aspects of the physiology of the fruit, related with the pericarp oxidation during the postharvest handling. The postharvest technologies used to reduce the weight losses present restrictions and some of them require high investment. Therefore is essential to know the causes of browning and develop technologies that increase the shelf life. In this context, the aim of this research are to know the morphological, anatomical, physiological, physical and biochemical characteristics during the growth and development of the fruits of three selections of rambutan fruits (RI-148, RI-115 and RI-104). Also to evaluate the effect of the application of two concentrations of  $\text{CaCl}_2$  (0.1 and 0.2 M) and abscisic acid ( $10^{-6}$  M) with the objective of reducing the losses of water and diminishing of the pericarp browning during the postharvest handling of the rambutan fruits produced in the Soconusco, Chiapas. The results showed that pericarp have high stomatal density in the spinterns, thin cuticle, and a developed vascular tissue that extends along the spintern; these provoked high loss of weight of the fruit. The number of spinterns per fruit was not a decisive factor for the pericarp browning and it is attributed more to the stomatal density of the fruit. Three applications of 0.2 M  $\text{CaCl}_2$  every fortnight before to harvest and the treatments with 0.1 M  $\text{CaCl}_2 + 10^{-6}$  M ABA and  $10^{-6}$  M ABA with five applications every fortnight before to harvest, diminished in more grade the loss of weight and the pericarp browning of the fruits of the selection RJA without affecting the variables of quality (total sugars, total soluble solids and ascorbic acid) during the postharvest handling.

**Key words: Fruit development, histology, pericarp, stomata, browning, postharvest.**

## **DEDICATORIA**

A nuestro creador quien ha sido mi fortaleza y alto refugio en los momentos más difíciles de mi vida.

**A MI HIJA ARLETTE JAZMÍN** quien llena de alegría mi vida, gracias porque eres mi inspiración y fortaleza, una sonrisa tuya ilumina mi mundo y me da las fuerzas necesarias para luchar y conseguir mis metas.

**A MI MADRE, ROSA PÉREZ TRUJANO** por brindarme sus cuidados y fuerza de espíritu que me impulsa a cumplir todos mis logros y por darme la fortaleza y comprensión en todo momento.

**A MI PADRE, J. JESUS CABALLERO MORÁLES,** digno ejemplo de inspiración y apoyo incondicional en mi vida, por enseñarme a ser capaz y consistente, porque has tenido un camino muy difícil desde niño pero que nunca te rendiste y eso es un gran ejemplo para mí.

**A MIS HERMANAS,** por el efectivo apoyo espiritual; sus estímulos me han motivado a seguir adelante.

**A MIS SOBRINOS** por compartirme su alegría y que este logro represente un estímulo para continuar adelante.

**A MIS TÍOS y AMIGOS** que me ayudaron y animaron con su amor incondicional conduciéndome de una u otra manera a alcanzar este logro tan importante en la vida de un ser humano.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo financiero otorgado para realizar los estudios de doctorado en el Colegio de Postgraduados.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por el apoyo académico y la oportunidad de prepararme en sus aulas y laboratorios.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT), por brindarme la oportunidad de contar con una beca tesis de postgrado para finalizar la escritura del trabajo.

A la Línea Prioritaria de Investigación en Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad (LPI-7), Campus Montecillo, Colegio de Posgraduados por el apoyo económico y uso del equipo para la realización de este trabajo.

A la Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza por la dirección en la realización de este trabajo, su alto sentido de responsabilidad, por sus valiosos y sabios consejos, pero sobre todo, por su paciencia, motivación y apoyo, brindándome la confianza para lograr los objetivos planteados.

A la Dra. Guadalupe Valdovinos Ponce por sus sabios consejos y valiosa colaboración durante el trabajo en laboratorio.

Al Dr. Juan Francisco Aguirre Medina por sus excelentes observaciones y sugerencias en la realización de la presente investigación, acompañado siempre de un trato cordial y amable, que hicieron muy grata la convivencia en esta etapa.

Al Dr. Jorge Cadena Iñiguez por la revisión y aporte científico en el presente trabajo, por su amistad y valiosos consejos.

Al Dr. Carlos Hugo Avendaño Arrazate por su apoyo en la realización de este trabajo, por su confianza y trato amable durante el trabajo realizado en el Campo Experimental Rosario Izapa.

Al Dr. Alfredo Sandoval Esquivés por su apoyo en la realización de este trabajo, por sus observaciones, consejos y trato amable durante el trabajo en campo.

A los Investigadores del Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Tuxtla Chico, Chiapas, por el apoyo logístico, técnico y facilidades para la realización de la fase de campo.

Al Ing. Ruben Joo Ayar, propietario del huerto “La Chinita” en Huehuetán, Chiapas, por sus consejos, disponibilidad en todo momento y las facilidades otorgadas para la realización de la investigación durante la fase de campo.

Al M.C. Alexander Mendoza Lopez por su disposición y sugerencias durante el trabajo de campo.

Al Ing. Bernadito Vidal Ribai Pérez por su apoyo y facilidades otorgadas durante el trabajo de investigación realizado en el laboratorio de Biotecnología del Campo Experimental Rosario Izapa.

Al Sr. Arturo López Veloz, por su apoyo técnico brindado durante la fase de laboratorio y sugerencias durante las pruebas realizadas y el apoyo brindado en todo momento.

Al M.C. David Jaen, por su disposición y trato amable durante los estudios de doctorado.

A la M.C. Cecilia Garcia, por su asesoría y disposición durante la fase de laboratorio.

A los profesores y personal de la Orientación en Fruticultura.

A mis amigos: Marcos V., Gabriel V. y Víctor M. por brindarme su fina amistad.

A quienes estuvieron en los momentos de alegría y permanecieron en los de aflicción, me complace contar con ustedes y llamarlos amigos.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>	
ÍNDICE DE CUADROS	x	
ÍNDICE DE FIGURAS	xii	
I	<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	1
II	<b>OBJETIVOS</b>	4
III	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	5
	3.1. Generalidades sobre Sapindáceas	5
	3.2. Importancia del rambután	6
	3.3. Características botánicas	7
	3.4. Valor nutritivo del fruto	8
	3.5. Cultivares	8
	3.6. Floración	13
	3.7. Requerimientos ambientales	14
	3.8. Crecimiento del fruto	14
	3.9. Oscurecimiento del fruto en postcosecha	14
	3.10. Comportamiento estomático	15
	3.11. Literatura Citada	17
IV	<b>DESARROLLO MORFOLÓGICO E HISTOLÓGICO DEL PERICARPIO DEL FRUTO DE RAMBUTÁN (<i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)</b>	
	Resumen	24
	Abstract	25
	Introducción	25
	Materiales y Métodos	26
	Resultados y Discusión	28
	Conclusiones	39
	Literatura Citada	40
V	<b>CAMBIOS FÍSICOS Y BIOQUÍMICOS DURANTE EL DESARROLLO Y SENESCENCIA DE FRUTOS DE RAMBUTÁN (<i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)</b>	
	Resumen	44
	Abstract	45
	Introducción	45

	Materiales y métodos	46
	Resultados y discusión	49
	Conclusiones	60
	Literatura citada	60
VI	<b>EFFECTO PRECOSECHA DE CaCl<sub>2</sub> Y ÁCIDO ABSCISICO EN LA EN LA DISMINUCIÓN DEL OSCURECIMIENTO DEL PERICARPIO DE FRUTOS DE RAMBUTÁN (<i>Nephelium lappaceum</i> linn.)</b>	
	Resumen	63
	Abstract	64
	Introducción	64
	Materiales y Métodos	65
	Resultados	71
	Discusión	88
	Conclusiones	92
	Literatura Citada	92
VII	<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	97
VIII	<b>PERSPECTIVAS</b>	98

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 3. 1.	Composición química del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) por cada 100 g de arilo	8
CUADRO 3. 2.	Origen y características del fruto de los cultivares de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) en el sureste Asiático	9
CUADRO 3. 3.	Características de los cultivares de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) en Tailandia	11
CUADRO 4. 1.	Estado estomático y distribución estomática durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148	32
CUADRO 5. 1.	Cambios en el contenido de pericarpio (%) durante el desarrollo de los frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	51
CUADRO 5. 2.	Cambios en el contenido de semilla (%) durante el crecimiento de los frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	52
CUADRO 5. 3.	Cambios en el contenido de arilo (%) durante el desarrollo de los frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	53
CUADRO 5. 4.	Cambios en las variables bioquímicas de los frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) durante el desarrollo	54
CUADRO 5. 5.	Características morfológicas de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	55
CUADRO 5. 6.	Cambios en las variables bioquímicas de los frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) durante el almacenamiento a $22 \pm 1$ °C y 65 % HR	59
CUADRO 6. 1.	Cambios en el grado de oxidación del pericarpio de los frutos de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), 4 DDC a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	73
CUADRO 6. 2.	Correlaciones entre variables durante el almacenamiento a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR, de los frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.): A) selección RJA; B) selección RI-104, bajo el tratamiento con $\text{CaCl}_2$ 0.2 M	74
CUADRO 6. 3.	Características morfológicas de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) cultivados en la zona del soconusco, Chiapas, México	75
CUADRO 6. 4.	Efecto del tratamiento con $\text{CaCl}_2$ 0.2 M	76

sobre el estado estomático a lo largo del espiterno del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) de la selección RJA, a cuatro días después de la cosecha

CUADRO 6. 5.	Efecto del tratamiento con $\text{CaCl}_2$ 0.2 M sobre la disminución del grosor del pericarpio (%) de los frutos de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	77
CUADRO 6. 6.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre el contenido de antocianinas y fenoles totales de los frutos de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	78
CUADRO 6. 7.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre los azúcares totales y el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	79
CUADRO 6. 8.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre la acidez y el contenido de ácido ascórbico de los frutos de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	80
CUADRO 6. 9.	Cambios en el grado de oxidación del pericarpio de los frutos de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	82
CUADRO 6. 10.	Densidad estomática y número de estomas por fruto de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) cultivados en Huehuetán, Chiapas, México	82
CUADRO 6. 11.	Efecto de los tratamientos con 0.1 M $\text{CaCl}_2 + 10^{-6}$ M ABA y con $10^{-6}$ M ABA sobre el estado estomático a lo largo del espiterno del fruto de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha	83
CUADRO 6. 12.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre el contenido de antocianinas y fenoles totales de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	84
CUADRO 6. 13.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre los azúcares totales y el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2$ °C y 68 % HR	85
CUADRO 6. 14.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre la acidez y el contenido de ácido ascórbico de los frutos de dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después	86

de la cosecha a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3. 1.	Distribución geográfica del rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) partiendo del país de origen a los países de introducción	5
FIGURA 3. 2.	Plantación comercial de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) en el Soconusco, Chiapas, México	6
FIGURA 3. 3.	Morfología floral del rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	7
FIGURA 3. 4.	Morfología del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.): 1) oval, 2) ovoide y 3) elipsoide (IPGRI, 2003)	8
FIGURA 3. 5.	Frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) producidos en el sureste Asiático	10
FIGURA 3. 6.	Variedades de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) en Sri Lanka	10
FIGURA 3. 7.	Selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) cultivadas en el Soconusco, Chiapas, México.	13
FIGURA 4. 1.	Cambios en la morfología externa e interna durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148	29
FIGURA 4. 2.	Cambios en la longitud del espiterno durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148	30
FIGURA 4. 3.	Micrografías de la sección media del espiterno del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148: A) 50 DDA y B) 100 DDA	31
FIGURA 4. 4.	Fotomicrografías de cortes transversales del pericarpio durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148. A) 25 DDA; B) 50 DDA; C) 75 DDA y D) 100 DDA	35
FIGURA 4. 5.	Cambios en el grosor de la cutícula durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148	36
FIGURA 4. 6.	Fotomicrografía de cortes transversales del pericarpio del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA y C) 100 DDA	37
FIGURA 4. 7.	Fotomicrografía de cortes transversales del mesocarpio del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA; C) 100 DDA	38
FIGURA 4. 8.	Cambios en grosor del endocarpio durante el desarrollo del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	39

	selección RI-148	
FIGURA 4. 9.	Fotomicrografías de cortes transversales del pericarpio del fruto de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA y C) 100 DDA	39
FIGURA 5. 1.	Crecimiento radial (A) y crecimiento longitudinal (B) de frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	49
FIGURA 5. 2.	Incremento de peso fresco de frutos de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.)	50
FIGURA 5. 3.	Diferencias en la proporción de semilla, arilo y pericarpio de tres selecciones de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) a los 89 DDA	53
FIGURA 5. 4.	Cambios en color durante el almacenamiento de frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) a $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y 65 % HR	56
FIGURA 5. 5.	Pérdida de peso en frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) almacenados a $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y 65 % HR	57
FIGURA 5. 6.	Intensidad respiratoria en frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) almacenados a $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y 65 % HR	58
FIGURA 6. 1.	Genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.) cultivados en la zona del Soconusco, Chiapas, México	67
FIGURA 6. 2.	Efectos de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre la pérdida de peso de frutos de cinco genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 68 % HR	72
FIGURA 6. 3.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico sobre la pérdida de peso de frutos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), A) variedad Ex-mood y B) selección RJA, a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 68 % HR	81
FIGURA 6. 4.	Efecto de los tratamientos con $\text{CaCl}_2$ y ácido abscísico en la intensidad respiratoria de frutos dos genotipos de rambután ( <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y 68 % HR. A) Variedad Ex-mood; B) selección RJA	87



## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) pertenece a la familia Sapindaceae. Es una especie tropical originaria de Malasia e Indonesia, su fruto es apreciado por su sabor dulce y pulpa jugosa con alto contenido en vitamina C y riboflavina (Pérez y Jürgen, 2004). Tailandia es el principal productor con una producción estimada de 700 000 t, seguido por Indonesia con 350 000 t y Malasia con 70 000 t (Anónimo, 2004). Existen diferentes cultivares a nivel mundial: en Malasia se dispone de R-134 y R-162, en Singapur el Jitlee, en Tailandia Rongrien (Lye *et al.* 1987) y en Australia R-134, R-167 (Watson, 1988). En los lugares de origen, la clasificación de los cultivares se ha realizado con base en características de producción (Tindall, 1994). Las características de los principales cultivares que crecen en el sureste de Asia han sido revisadas por Lam y Kosiyachinda (1987) considerando las más sobresalientes la forma y tamaño del fruto así como color del pericarpio y textura del arilo. Otros investigadores han la selección de cultivares con base en la determinación de azúcares, sólidos solubles totales y acidez titulable al momento en que el fruto alcanza la madurez de consumo.

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. El fruto de rambután en esta zona es cada vez más conocido y en la actualidad se cultiva en más de 200 hectáreas a nivel de plantaciones frutícolas comerciales; 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). En las primeras investigaciones sobre la selección de genotipos de esta especie, se consideraron variables del fruto como tamaño, peso fresco, grosor de arilo y longitud de la semilla, al momento de la cosecha, sin embargo, los resultados muestran que existe alta variabilidad debido principalmente a que provienen de semilla, no obstante, existen algunas selecciones sobresalientes por su potencial comercial, las denominadas como RI-148, RI-115, RI-104 (Fraire, 1999).

Los cambios durante el desarrollo del fruto son importantes ya que determinan su calidad final. Algunos de estos cambios incluyen color externo, peso fresco, longitud, diámetro (Miccolis y Salveit, 1991) y contenido de sólidos solubles totales (Gardiazabal y Cano, 1999). El

metabolismo postcosecha del fruto es afectado por el tiempo de cosecha o periodo de desarrollo (Nomura *et al.*, 1997). El rambután es un fruto no climatérico y debe ser cosechado cuando ha alcanzado una apariencia visual y calidad comestible óptimas (Mendoza *et al.*, 1972). En México, se considera momento de cosecha cuando el fruto presenta del 80 a 90% de color rojo brillante.

Posterior a la cosecha, el pericarpio del fruto de rambután se torna rápidamente a color oscuro (Pérez y Jürgen, 2004), lo cual limita su comercialización (Kosiyachinda *et al.*, 1987). Pantástico *et al.* (1975) mencionan que el cambio en apariencia del fruto se debe a la deshidratación del pericarpio y la pérdida de humedad que ocurre en gran parte a través de los espiternos, los cuales tienen una densidad estomática mayor que el resto del pericarpio. En el fruto Underhill y Critchley (1993), señalan que aunque el oscurecimiento celular se ha observado en la epidermis del epicarpio, éste no ocurre en el mesocarpio en donde se encuentran la mayoría de las antocianinas, lo cual podría implicar que el desarrollo de pigmentos oscuros es altamente localizado e independiente de la distribución de antocianinas. Zauberman *et al.* (1991), han mencionado que el oscurecimiento del pericarpio puede ser debido a la actividad de enzimas como peroxidasa y polifenol oxidasa, ya que catalizan la oxidación de fenoles a quinonas, las cuales se polimerizan para formar pigmentos cafés (Mayer y Harel, 1979) resultado de una gran deshidratación del tejido provocado por la salida de humedad a través de los estomas, que en su mayoría permanecen abiertos en el fruto.

El comportamiento estomático es el resultado de interacciones entre factores fisiológicos y variaciones ambientales (Kearns y Assman, 1993). Torre y Fjeld (2001), mencionan que el movimiento estomático depende las condiciones ambientales durante el desarrollo del fruto y de las cuales el elemento climático más importante es la humedad relativa. Su apertura y cierre dependen de cambios en el estado de turgencia de las células oclusivas (Shimazaki *et al.*, 2007). Por ejemplo, la disminución del cierre del estoma bajo condiciones de estrés hídrico ha sido reportada en rosas que crecieron a altas humedades relativas (>85%) (Torre y Fjeld, 2001). Sin embargo, los cambios durante el desarrollo del fruto, no han sido estudiados ampliamente, por lo que es necesario evaluarlos para conocer su comportamiento y establecer las características más sobresalientes de los genotipos presentes en México, contribuyendo así a las investigaciones sobre selección y a la generación de información relevante para el manejo del cultivo.

El estoma regula la difusión de gases y por lo tanto afecta dos de los procesos más importantes en la plantas: fotosíntesis y transpiración. Se crea un balance de CO<sub>2</sub> con la pérdida de agua de la planta bajo el efecto de condiciones ambientales como la luz (cantidad y calidad), temperatura, humedad, CO<sub>2</sub> intercelular y ácido abscísico (Schroeder *et al.*, 2001). La apertura del estoma es estimulada por la luz, altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y alta humedad relativa, mientras que el cierre generalmente ocurre bajo condiciones de oscuridad, baja humedad relativa, alta temperatura, baja concentración de CO<sub>2</sub> (Vavasseur y Raghavendra, 2005) y la acción de reguladores de crecimiento como el ácido abscísico (Weyers & Paterson, 2001), el cual es sintetizado en el sistema radical como respuesta al déficit hídrico en el suelo y transportado en la corriente transpiratoria a través del xilema hasta la membrana celular de la célula oclusiva para unirse a un receptor aún no identificado e inducir el cierre del estoma (Davies *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2008). Durante el estrés hídrico en los tejidos de las plantas se genera una acumulación activa de solutos como azúcares y prolina, ésta última actúa como agente osmótico durante el estrés, protegiendo a la planta contra la desecación (Harsh, 2003). El comportamiento estomático involucra procesos de osmoregulación (Morgan, 1984). Este proceso que aparentemente requiere de canales iónicos y transporte activo en membranas (Schroeder & Hedrich, 1989), permite la disminución del potencial osmótico incrementando la presión de turgencia de las células oclusivas, lo cual modifica la apertura del poro (Ludlow *et al.*, 1985). Handa *et al.* (1986), determinaron que la prolina hace una contribución muy sustancial para el ajuste osmótico y adaptación de diversas especies al estrés hídrico. Shimazaki *et al.* (2007), señalan que la luz azul induce la rápida apertura del estoma existiendo una correlación positiva con la fosforilación de la membrana plasmática que activa la enzima hidrógeno ATPasa (H<sup>+</sup>/ATPasa), la cual, estimula la salida de H<sup>+</sup> al apoplasto y la entrada de K<sup>+</sup> a la célula oclusiva, causando hiperpolarización de la membrana. Un incremento en la concentración de Ca<sup>2+</sup> en el citosol también afecta la actividad de la enzima H<sup>+</sup>/ATPasa para controlar el tamaño de la apertura del estoma (Muir y Sanders, 1997). Leonhardt *et al.* (2004), encontraron que cuando se aplicó ácido abscísico en hojas se inhibieron muchas de las enzimas presentes en las células oclusivas involucradas en el metabolismo celular, incluso hubo una disminución en la transcripción de fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC), la cual es estimulada por la luz durante la apertura del estoma (Scheibe *et al.*, 1990). Chwin-Ming y Heilman (1991), mencionan que incrementos de la temperatura afectan las concentraciones internas de CO<sub>2</sub> debido a un aumento en la respiración y estimulando la apertura del estoma, por lo que si disminuye el déficit de presión de vapor en la hoja, con el consecuente estrés hídrico, provoca el cierre del estoma. Landrigan *et al.* (1996), señalan que conforme el potencial de agua disminuye, la célula

pierde turgencia y se plasmoliza favoreciendo alteraciones a nivel de membrana que podrían dar lugar a la oxidación de fenoles y a la muerte de algunas células.

Diversas técnicas postcosecha, como atmósferas modificadas (películas plásticas, encerado, etc.) y el manejo de bajas temperaturas, se han utilizado a fin de reducir las pérdidas de agua del fruto de rambután; sin embargo, los resultados han sido muy limitados (O'Hare *et al.*, 1994). A pesar de su gran potencial de comercialización como fruta exótica, existe escasa información sobre los cambios morfológicos, anatómicos, fisiológicos, físicos y bioquímicos durante el desarrollo del fruto de rambután, por lo que en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos.

## II. OBJETIVOS

1. Definir la susceptibilidad del fruto de rambután a la deshidratación con base en la evaluación de los cambios morfológicos y anatómicos del pericarpio durante su crecimiento y desarrollo.
2. Determinar la calidad al momento de la cosecha de los frutos de rambután de tres selecciones (RI-148, RI-115 y RI-104) con base en los cambios físicos y bioquímicos durante el crecimiento y desarrollo.
3. Analizar el patrón de senescencia de frutos de rambután de cada selección con base en sus cambios fisiológicos, físicos y bioquímicos, relacionados con la morfología del fruto, después de la cosecha.
4. Determinar el efecto de la aplicación precosecha de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y ácido abscísico sobre el comportamiento estomático, pérdida de agua y oscurecimiento del pericarpio durante el manejo postcosecha de frutos de rambután de las selecciones mencionadas.
5. Evaluar el efecto de la aplicación precosecha de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y ácido abscísico sobre la deshidratación y oscurecimiento del pericarpio durante el manejo postcosecha de frutos de rambután de la variedad Ex-mood y la selección RJA con base en sus cambios fisiológicos, físicos y bioquímicos, relacionados con la morfología del fruto.



### 3.2. Importancia del rambután.

El rambután (*N. lappaceum* Linn.), es un fruto nativo de las regiones tropicales húmedas de la península de Malasia, en el sureste de Asia y la isla de Sumatra en Indonesia (Watson, 1984), y tiene dos sinonimias *Euphoria nephelium* y *Dimocarpus crinita*. El nombre de rambután deriva del término Malayo “rambut” que significa pelo y hace referencia a las protuberancias carnosas en forma de pelo (espiternos) que cubren el fruto (Laksmi *et al.*, 1987). Su nombre común 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). Esta especie se puede encontrar huertas comerciales en Indonesia, Filipinas, Borneo, Tailandia y Norte de Australia (Tindall, 1994). La producción mundial se concentra en el Sureste de Asia, principalmente Tailandia, Indonesia, Malasia, Singapur y Filipinas (Laksmi *et al.*, 1987). En años recientes se han establecido plantaciones en Hawái, fuera de las áreas de mayor producción (Follet y Sanxter, 2000). La continua difusión del rambután a otros países ha incrementado su popularidad en mercados extranjeros, por lo que ha surgido la necesidad de realizar investigación en este cultivo. El rambután fue introducido a la región del Soconusco, Chiapas, México entre los años 1950 y 1960. Durante los primeros 30 años el cultivo se mantuvo como una planta exótica y ornamental en algunas huertas familiares, pero actualmente se cuenta con plantaciones a nivel comercial (Pérez y Jürgen, 2004) (Figura 3.2).

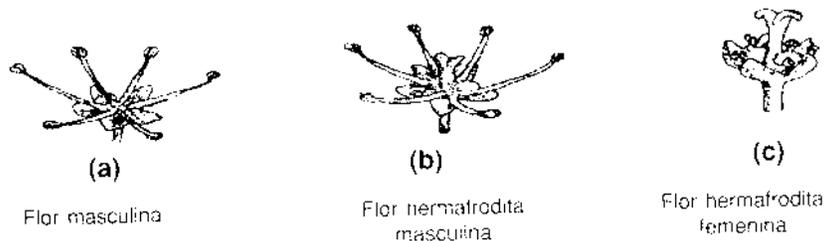


**FIGURA 3. 2. Plantación comercial de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) en el Soconusco, Chiapas, México.**

### 3.3. Características botánicas

**Árbol.** Es un árbol que alcanza alturas de 10 a 20 metros, con hojas alternas de 10 a 30 centímetros de largo y de 3 a 10 centímetros de ancho. Un árbol promedio puede dar de 5,000 a 6,000 frutos (150-200 kg). Los rendimientos iniciales oscilan desde 1.2 toneladas por hectárea llegando hasta 20 toneladas por hectárea (Morton, 1987).

**Flor.** Las flores son pequeñas de 2.5-5 mm, apétalas y semejantes a un disco. Los árboles de rambután son masculinos (no producen fruto), femeninos o hermafroditas (producen flores femeninas y un pequeño porcentaje de flores masculinas). Los árboles masculinos son raros, por lo que las plantaciones más comunes son las hermafroditas (Morton, 1987) (Figura 3.3).

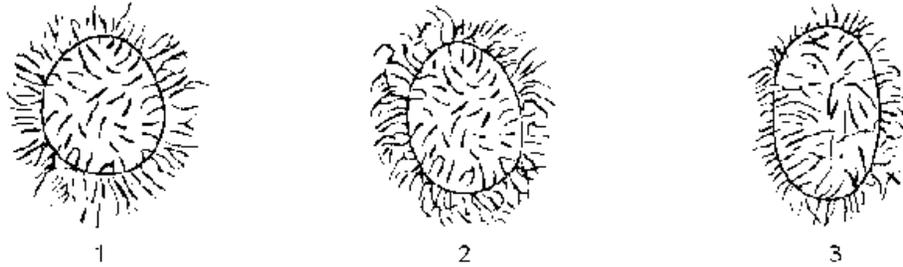


**FIGURA 3. 3. Morfología floral del rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.).**

**Fuente: Delabarre (1989)**

**Fruto.** El fruto es una drupa redonda u ovoide de 3 a 6 cm de largo y 3 a 4 cm de ancho (Figura 3.4). El pericarpio es de color rojo, amarillo y en algunos casos anaranjado; tiene un grosor de 2 a 4 mm y está cubierto de protuberancias carnosas (espiternos) (Van Welzen y Verheij *et al.*, 1991). La parte comestible (arilo) de la fruta es color blanco translúcido con un sabor ácido-dulce y en algunas variedades comerciales se adhiere a la semilla (Tindall *et al.*, 1994). La semilla es café brillante (Ong *et al.*, 1998). La vida de anaquel del rambután es corta dado su alta transpiración; el arilo y la semilla se deterioran poco en un plazo de 8 a 10 días y la superficie externa se oscurece dándole una apariencia comercial inadecuada (Landrigan *et al.*, 1996).

El peso del fruto va de 25 a 45 gramos y el peso del arilo depende de la estación y del cultivar; el rango va de 28 a 54 % del peso total del fruto. Los sólidos solubles totales pueden alcanzar 24 °Bx (Lye *et al.*, 1987).



**FIGURA 3. 4. Morfología del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.): 1) oval, 2) ovoide y 3) elipsoide (IPGRI, 2003).**

### 3.4. Valor nutritivo del fruto

Por el sabor dulce y en ocasiones ligeramente ácido de la pulpa, el fruto se consume en fresco y se utiliza para hacer mermeladas, dulces, aguas frescas y jarabes (Fraire, 2001). El agua es el mayor componente del fruto, aunque también tiene proteínas, carbohidratos y vitaminas (Cuadro 3.1).

**CUADRO 3. 1. Composición química del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) por cada 100 g de arilo (Watson, 1984).**

Composición	Cantidad
Agua	83 g
Valor calórico	63 cal
Proteína	0.8 g
Carbohidratos	14.5 g
Calcio	25 mg
Vitamina C	20-45 mg
Hierro	3 mg

### 3.5. Cultivares

Se conocen muchos cultivares que se distinguen por el color y tamaño de los frutos, de la semilla, calidad y grado de adherencia del arilo, forma del árbol y otros caracteres (León, 2000). Whitehead (1959), describe el fruto de localizadas en el sureste asiático (Cuadro 3.2).

**CUADRO 3. 2. Origen y características del fruto de los cultivares de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) 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	Ácido		No	en fresco
Bingjai	Indonesia	Verde	Dulce			
Chompu	Tailandia	Rosa	Dulce		Parcial	en fresco, enlatado
Chooi Ang	Malasia	rosa-rojo	Acidez baja		Si	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
Singapura	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

El mercado de exportación de rambután exige que solamente se comercialicen frutos de la más alta calidad (Strong 1992). En Malasia los cultivares producidos son R-134 y R-162, en Singapur, "Jitlee", en Tailandia, "Rongrien" (Lye *et al.* 1987), en Australia "R-134", "R-167", "Jitlee" y "Rongrien" (Watson 1988) (Figura 3.5) y en Sri Lanka las variedades Malwana Special, Malaysian Yellow y Malaysian Red (Kunz, 2007) (Figura 3.6).



FIGURA 3. 5. Frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) producidos en el Sureste Asiático.



FIGURA 3. 6. Variedades de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) en Sri Lanka. Fuente: Kunz (2007).

El contenido de sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT) de los frutos al momento de la cosecha varía según el cultivar (Cuadro 3.3).

**CUADRO 3. 3. Características de los cultivares de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) en Tailandia (Lam y Kosiyachinda, 1987).**

<b>Cultivar</b>	<b>SST (%)</b>	<b>AT (%)</b>
Binjai	18	0.19
Jitlee	19.2	0.27
Lebakbulus	17	0.4
Maharlika	20.4	0.42
R3	19.7	0.23
R134	21.1	ND
R162	20.1	ND
Rapih	17.2	0.07
Rongrien	20	0.3
Seechompoo	19	0.18
Seematjan	17.9	0.35
Seejonja	19.5	0.55

ND = No disponible.

#### **Características de los cultivares en Tailandia.**

**Rongrien.** Es el cultivar más popular originario de un semillero introducido desde Penang, Malasia. Los frutos son de forma ovoide-globosa de 50-55 mm de largo y 38-40 mm de diámetro y pesan de 40-50 gramos. El pericarpio es delgado, color rojo oscuro, con las puntas de los espiternos color verde. El arilo es dulce, grueso y fácilmente se separa de la semilla. El contenido de sólidos solubles totales es de 18-21% (Tindall *et al.*, 1994).

**Seechompoo.** El fruto es globoso, largo (50 mm), de 38 mm de diámetro y pesa de 28-35 gramos. El pericarpio es delgado y de color rojo oscuro en la madurez comercial. El arilo es dulce y se separa fácilmente de la semilla. Los sólidos solubles totales van desde 18-21% (Tindall *et al.*, 1994).

### **Características de los cultivares en Malasia.**

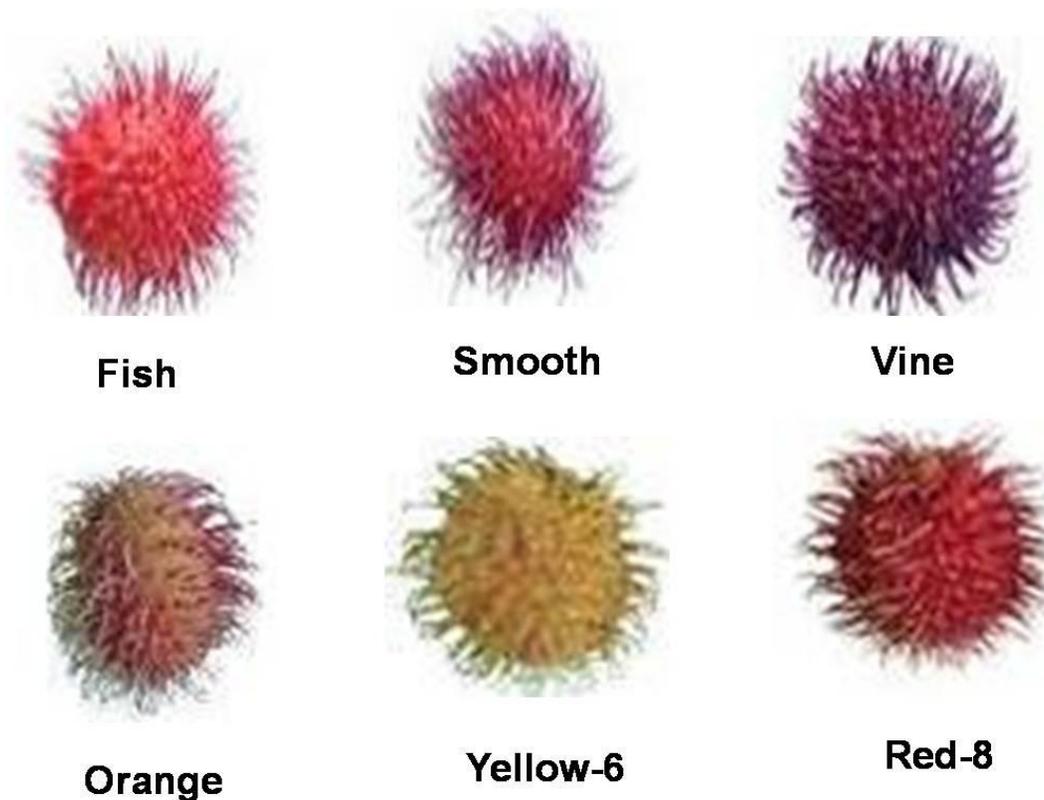
**Lebakbulus.** El fruto es grande y redondo con un pericarpio de color amarillo-rojo cuando madura, el arilo es jugoso, ligeramente ácido y se desprende fácilmente del arilo (Tindall *et al.*, 1994).

**Binjai.** El fruto es grande, ovalado y el pericarpio es de color rojo brillante en la madurez. El arilo es dulce, tiene una textura crujiente y no es jugoso (Tindall *et al.*, 1994).

**Rapiah.** El fruto es de tamaño pequeño a mediano y redondo. El pericarpio es de color rojo cuando madura, el arilo es grueso y fácilmente se desprende de la semilla (Tindall *et al.*, 1994).

### **Características de las selecciones en México.**

En México se cuenta con selecciones de rambután producidas en la región del Soconusco, Chiapas y en los estudios de selección actualmente destacan los materiales denominados Fish, Smooth y Vine con altos valores de grados Brix (18.8, 19.3 y 20.7 °Bx) y las selecciones Orange, Yellow-6 y Red-8 son menos susceptibles a la oxidación del pericarpio (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011) (Figura 3.7).



**FIGURA 3. 7. Selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) cultivadas en el Soconusco, Chiapas, México.**

### **3.6. Floración**

En Malasia el rambután tiene dos periodos de floración (de marzo a julio y de julio a noviembre), lo cual sucede en respuesta a la presencia de lluvias seguidas de un periodo seco. Los periodos de floración difieren regionalmente de acuerdo a la latitud (Tindall *et al.*, 1994). Para la costa de Chiapas, el período de floración está comprendido durante los meses de enero a abril, aunque la floración más fuerte ocurre en los meses de febrero y marzo (Fraire, 1999). Dependiendo del cultivar, la floración puede extenderse por un periodo de 23 a 28 días con un promedio de amarre de fruto de 3.4%. Pueden producirse de 40 a 60 frutos por panícula, pero muy frecuentemente son 12 a 13 los que alcanzan la madurez. El tiempo requerido desde amarre de fruto a la cosecha es de 107 a 111 días (Van Weltzen *et al.*, 1988).

### **3.7. Requerimientos ambientales**

El rambután para su desarrollo requiere de lluvias bien distribuidas (2000-3000 mm anuales), suelos arcillo-arenosos profundos con alto contenido de materia orgánica, pH de 5.5 a 6.5 y alta humedad relativa (>80%). La planta crece desde el nivel del mar hasta los 800 m de altitud. Las temperaturas óptimas para el cultivo son de 22 a 32 °C. La estación seca no debe ser mayor a 2 meses (Morton, 1987).

### **3.8. Crecimiento del fruto**

Estudios en el crecimiento del fruto de rambután cv. Seechompoo en Tailandia muestran un patrón de crecimiento simple sigmoideal, alcanzando su madurez de consumo a las 16 semanas después de anthesis. En frutos de 'Binjai' el crecimiento del fruto presenta un patrón de crecimiento similar (Kosiyachinda *et al.*, 1987). En México los frutos de las selecciones RI-148 y RI-115 alcanzan la madurez de consumo a los 96 días después de la anthesis (Caballero-Pérez *et al.*, 2011).

### **3.9. Oscurecimiento del fruto en postcosecha**

El rambután es un fruto no climatérico (Mendoza *et al.*, 1972; O'Hare, 1995) y a pocos días después de la cosecha presenta oscurecimiento del pericarpio, atribuido a diversas causas. Underhill y Simons (1993), reportan que el oscurecimiento puede deberse a una reducción en el contenido de antocianina y/o a la acción de la enzima polifenol oxidasa (PPO) (Underhill y Critchley, 1993). Esta enzima está ampliamente distribuida en frutos y cataliza la oxidación de fenoles a quinonas, las cuales se polimerizan para formar pigmentos de color café (Mayer y Harel, 1979). La enzima peroxidasa es también capaz de oxidar compuestos fenólicos a quinonas y requiere la presencia de peróxido de hidrógeno (Bucheli y Robinson, 1994). Mendoza *et al.* (1972) y Pantástico *et al.* (1975) mencionan que el oscurecimiento del fruto se debe a la deshidratación del pericarpio que ocurre a través de los espiternos, los cuales tienen una alta densidad estomática. Este oscurecimiento del pericarpio causado por la deshidratación puede ser minimizado manteniendo una alta humedad relativa alrededor del fruto.

### 3.10. Comportamiento estomático

**Definición de estoma.** El estoma es un poro que se encuentra en la superficie de la partes aéreas de las plantas superiores (Edwards *et al.*, 1998). Está formado por dos células especializadas en la epidermis llamadas células oclusivas, las cuales son morfológicamente distintas del resto de las células epidérmicas y son las responsables de controlar la apertura estomática (Franks y Farquhar, 2007). En algunas especies, las células oclusivas están acompañadas por células subsidiarias que juegan un papel importante en los movimientos estomáticos de carácter mecánico, o como reserva de iones (Raschke y Fellows, 1971). La cutícula de la hoja es casi impermeable al agua y al CO<sub>2</sub>, por lo cual el papel del estoma es regular el movimiento de gas entre la parte interna y externa de la hoja (Cowan y Troughton, 1971).

La apertura estomática es estimulada por factores externos como la longitud de onda de la luz (luz azul), altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (para una efectiva tasa fotosintética) y alta humedad relativa. El cierre es promovido por la oscuridad, baja humedad relativa y alta temperatura (Willmer y Fricker, 1996; Shimazaki *et al.*, 2007) así como hormonas vegetales como el ácido abscísico (Weyers y Paterson, 2001).

**Humedad y CO<sub>2</sub>.** Las plantas requieren de CO<sub>2</sub> suficiente en la hoja para la fotosíntesis, conservando el agua para evitar deshidratación y la ruptura metabólica; sin embargo, el agua es transpirada al absorber CO<sub>2</sub> a través del estoma (Hetherington y Woodward, 2003).

**Luz.** La respuesta a la luz azul, involucra la activación de la enzima H<sup>+</sup>/ATPasa en la membrana plasmática del estoma (fosforilación de la membrana), la cual bombea H<sup>+</sup> hacia el apoplasto y estimula la entrada de K<sup>+</sup> a la célula oclusiva, lo cual induce la hiperpolarización de la membrana favoreciendo la apertura estomática (Shimazaki *et al.*, 2007). La luz estimula incrementos de la fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) y una mayor acumulación de malato durante la apertura estomática (Scheibe *et al.*, 1990). La zeaxantina (Zeiger y Zhu, 1998) y las fototropinas (Doi *et al.*, 2004) se han sugerido como receptores de luz azul. En los estomas de *Vicia faba* la zeaxantina es el único receptor de luz azul (Roelfsema *et al.*, 2006). Es importante mencionar que la respuesta del estoma a la luz azul varía de acuerdo con la calidad de la misma, lo cual modifica el estado de apertura del estoma (Shimazaki *et al.*, 2007).

La oscuridad causa que la enzima H<sup>+</sup>/ATPasa sea desactivada y quizá activa un cambio en el flujo de K<sup>+</sup> e H<sup>+</sup>, aunque el mecanismo no está bien establecido (Edwards *et al.*, 1988). Durante la oscuridad los protones son importados a la vacuola (Blatt *et al.*, 1998) probablemente vía H<sup>+</sup>/ATPasa en el tonoplasto (Askerlund y Sommerin, 1996). Es posible que el flujo de protones hacia la vacuola sea responsable del incremento en pH (0.2 - 0.3) del citosol de la célula oclusiva (Blatt *et al.*, 1998). El incremento de pH en el citosol estimula la apertura de los canales de entrada de K<sup>+</sup> en la vacuola (Allen y Sanders, 1997) y la apertura de los canales de salida de K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en la membrana plasmática de la célula oclusiva (Blatt *et al.*, 1998), estos eventos conducen al encogimiento de las células oclusivas y la apertura del estoma se reduce.

**Ión calcio (Ca<sup>2+</sup>).** Las proteínas que ligan Ca<sup>2+</sup> son sensores potenciales que perciben los cambios en los niveles de Ca<sup>2+</sup> del citosol y regulan las respuestas celulares a través de la interacción con las proteínas designadas. El Ca<sup>2+</sup> induce el cierre estomático al estimular los canales de salida de K<sup>+</sup> y la entrada de H<sup>+</sup> vía la enzima H<sup>+</sup>/ATPasa (Schroeder *et al.*, 2001b). Estudios recientes sugieren que la entrada de Ca<sup>2+</sup> en las células oclusivas juega un papel importante en el cierre del estoma inducido por el ácido abscísico (Pei *et al.*, 2000). Se ha reportado que concentraciones bajas de ácido abscísico (0.1 μM) en la célula oclusiva de *Commelina communis* favorecen la entrada del calcio (MacRobbie, 2000). Pei *et al.* (2000) reportaron que el ácido abscísico genera especies reactivas de oxígeno en células oclusivas de *Arabidopsis* lo cual estimula los canales de entrada de Ca<sup>2+</sup> en la membrana plasmática de las células oclusivas. McAinsh *et al.* (1995), mencionan que concentraciones altas de calcio extracelular causan cambios en el calcio a nivel del citosol de las células oclusivas lo cual conduce al cierre del estoma (Allen *et al.*, 2001).

**Ácido abscísico.** Durante un periodo de sequía, el ácido abscísico reduce la pérdida de agua de las plantas a partir de la transducción de señales químicas en las células oclusivas que llevan al cierre estomático (Schroeder *et al.*, 2001a). Posterior a la hiperpolarización de la membrana plasmática de la célula oclusiva, el ácido abscísico estimula los canales de entrada de calcio al citosol desde el apoplasto (Pei *et al.*, 2000), induciendo el cierre estomático (Allen *et al.*, 2001). Los incrementos de Ca<sup>2+</sup> en el citosol pueden activar el flujo de Ca<sup>2+</sup> desde la vacuola, activando canales de salida de Ca<sup>2+</sup> en el tonoplasto (Allen y Sanders, 1997). Se necesita una cantidad suficiente de Ca<sup>2+</sup> para estimular la fosforilación de H<sup>+</sup>/ATPasa y desactivarla (Kinoshita *et al.*, 1995). Como sucede con la respuesta de la célula oclusiva a la oscuridad, la

desactivación de H<sup>+</sup>/ATPasa, modifica el flujo de K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> hacia el apoplasto por lo que se vuelve menos ácido.

El calcio en el citosol funciona como un segundo mensajero en una amplia variedad de señales de transducción que se efectúan como respuestas al ácido abscísico (Allen *et al.*, 1999). Leonhardt *et al.* (2004), señalan que cuando se rociaron las hojas de *Arabidopsis thaliana* con ácido abscísico, se inhibieron muchas de las enzimas involucradas en el metabolismo de la célula oclusiva, incluso una disminución en la transcripción de la PEPC.

### LITERATURA CITADA

- Allen, G.J., Kuchitsu, K., Chu, S.P., Murata, Y., Schroeder J.I. 1999.** *Arabidopsis abi1-1* and *abi2-1* phosphatase mutations reduce abscisic acid-induced cytoplasmic calcium rises in guard cells. *Plant Cell* 11: 1785-1798.
- Allen, G.J., Chu, S.P., Harrington, C.L., Schumacher, K., Hoffmann, T., Tang, Y.Y., Grill, E., and Schroeder, J.I. 2001.** A defined range of guard cell calcium oscillation parameters encodes stomatal movements. *Nature* 411: 1053–1057.
- Allen, G.J. and Sanders, D. 1997.** Vacuolar ion channels of higher plants. *Advances in Botanical Research* 25: 217-252.
- Anónimo. 2004.** Compendio sobre las frutas tropicales. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 16 p.
- Askerlund, P., Sommarin, M. 1996.** Calcium efflux transporters in higher plants, pp. 281-299. *In: Membranes: specialized functions in plants.* Smallwood, M., Knox, J.P., Bowles, D.J. (eds.). Oxford: Bios.
- Avendaño-Arrazate, C.H., Arévalo-Galarza, L., Sandoval-Esquivel, A., Caballero-Pérez, J. F. 2011.** El rambután un cultivo con amplio potencial de explotación en el sur de México. *Agroproductividad* 2:9-17.
- Bailey, L.H. 1949.** Handbook of cultivated plants. Mcmillan, New York.
- Blatt, M.R., Leyman, B., Grabov, A. 1998.** Cellular responses to water stress, pp. 99-124. *In: Cold drought, heat and salt stress: molecular responses in higher plants.* Shinozaki, K. (ed.). R.G. Landes Co.
- Bucheli, C.S., Robinson, S.P. 1994.** Contribution of enzymatic browning to colour in sugarcane juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42: 257-261.

- Caballero-Pérez, J.F., Arévalo-Galarza, M.L., Avendaño-Arrazate, C.H., Cadena-Iñiguez, J., Valdovinos-Ponce, G., Aguirre-Medina, 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.
- Chwin-Ming, Y., Heilman, J.L. 1991.** Short term high temperature effects on stomatal behaviors of rice plants. I. occurring at the vegetative stage. Journal of Agricultural Research of China 40: 233-242.
- Cowan, I.R., Troughton, J.H. 1971.** The relative role of stomatal in transpiration and assimilation. Planta 97: 325-336.
- Davies, W.J., Kudoyarova, G., Hartung, W. 2005.** Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. Journal of Plant Growth Regulators 24: 285-295.
- Delabarre, Y. 1989.** Synthèse bibliographique sur le ramboutan ou litchi chevelu (*Nephelium lappaceum* L.). Fruits 44(1): 33-44.
- Doi, M., Shigenaga, A., Emi, T., Kinoshita, T., Shimazaki, K. 2004.** A transgene encoding a blue-light receptor, phot1, restores blue-light responses in the *Arabidopsis phot1 phot2* double mutant. Journal of Experimental Botany 55: 517-523.
- Edwards, M.C., Smith, G.N., Bowling, D.F.J. 1988.** Guard cells extrude protons prior to stomatal opening- a study using fluorescence microscopy and pH micro-electrodes. Journal of Experimental Botany 39: 1541-1547.
- Follett, P.A., Sanxter, S.S. 2000.** Comparison of rambutan quality after hot forced-air and irradiation quarantine treatments. HortScience 35: 1315-1318.
- Fraire, V.G. 2001.** El Rambután: Alternativa para la producción frutícola del trópico húmedo de México. Folleto técnico No. 1. CIRPS-INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 36 p.
- Franks, P., Farquhar, G.D. 2007.** The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. Plant Physiology 143: 78-87.
- Gardiazabal, F., Cano, G. 1999.** Caracterización de 10 cultivares de chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) y su respuesta a la polinización artificial en Quillota, Chile. Acta Horticulturae 497: 239-253.
- Handa, S., Handa, A.K., Hasegawa, P.M., Bressan, R.A. 1986.** Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. Plant Physiology 80: 935-945.

- Harsh, N. 2003.** Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environment Experimental of Botany* 50: 253-264.
- Hetherington, A.M., Woodward, F.I. 2003.** The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424: 901-908.
- Huang, S., Hart, H., Lee, H., Wicker, L. 1990.** Enzymatic and colour changes during post-harvest storage of lychee fruit. *Journal of Food Science* 55: 1762-1763.
- Huang, D., Wu, W., Abrams, S.R. 2008.** The relationship of drought-related gene expression in *Arabidopsis thaliana* to hormonal and environmental factors. *Journal of Experimental Botany* 59: 2991-3007.
- IPGRI. 2003.** Descriptors for Rambutan (*Nephelium lappaceum*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 55 p.
- Kearns, E.V., Assmann, S.M. 1993.** The guard cell-environment connection. *Plant Physiology* 102: 711-715.
- Kopka, J., Provar, N.J., Muller-Rober, B. 1997.** Potato guard cells respond to drying soil by a complex change in the expression of genes related to carbon metabolism and turgor regulation. *Plant Journal* 11: 871-882.
- 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.
- Kinoshita, T., Nishimura, M., Shimazaki, K. 1995.** Cytosolic concentration of Ca<sup>2+</sup> regulates the plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase in guard cell of fava bean. *The Plant Cell* 7: 1333-1342.
- Kunz, R. 2007.** Control of postharvest disease (*Botryodiplodia* sp.) of rambutan and *Annona* species by using a bio-control agent (*Trichoderma* sp.). The International Centre for Underutilised Crops (ICUC) & Industrial Technology Institute (ITI), Sri Lanka. 45 p.
- Laksmi, L.D.S., Lam, P.F., Mendoza Jr, D.B., Kosiyachinda, S., Leong, P.C. 1987.** Status of the rambutan industry in ASEAN, pp. 1-8. *In: P.F. Lam and S. Kosiyachinda (eds.) Rambutan: Fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN.* ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lam, P.F., Kosiyachinda, S. 1987.** Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, 82 p.

- Lam, P.F., Kosiyachinda, S., Lizada, M.C.C., Mendoza, D.B. Jr., Prabawati, S., Lee, S.K. 1987.** Postharvest physiology and storage of rambutan, pp. 39-50. *In*: Lam, P.F., Kosiyachinda, S. (eds.). Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Landrigan, M., Morris, S.C., Eamus, D., McGlasson, W.B. 1996.** Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Scientia Horticulturae* 66: 201-208.
- León, J. 2000.** Botánica de los cultivos tropicales. Tercera edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 440 p.
- Leonhardt, N., Kwak, J.M., Robert, N., Waner, D., Leonhardt, G., Schroeder, J. 2004.** Microarray expression analyses of *Arabidopsis* guard cells and isolation of a recessive abscisic acid hypersensitive protein phosphatase 2C mutant. *The Plant Cell* 16: 596-615.
- Ludlow, M.M., Fisher, M.J., Wilson, J.R. 1985.** Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume grown in controlled conditions and in the field. *Australian Journal of Plant Physiology* 12: 131-149.
- Lye, T.T., Laksmi, L.D.S., Maspol, P., Yong, S.K. 1987.** Commercial rambutan cultivars in ASEAN, pp. 9-15. *In*: Lam, P.F., Kosiyachinda S. (eds.). Rambutan: fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malaysia.
- MacRobbie, E.A.C. 2000.** ABA activates multiple  $Ca^{2+}$  fluxes in stomatal guard cells, triggering vacuolar  $K_{(Rb)}$  release. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97: 12361-12368.
- Mayer, A. M., Harel, E. 1979.** Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry* 18: 193-215.
- McAinsh, M.R., Webb, A.A.R., Taylor, J.E., Hetherington, A.M. 1995.** Stimulus-induced oscillations in guard cell cytosolic free calcium. *Plant Cell* 7: 1207-1219.
- Mendoza, D. B., Pantastico, E. B., Javier E. B. 1972.** Storage and handling of rambutan (*Nephilium lappaceum* L.). *Philippine Agriculture* 55: 322-332.
- Miccolis, V., Salveit M.E. 1991.** Morphological and physiological changes during fruit growth and maturation of seven melon cultivars. *Journal of the American Society for horticultural science* 116(6): 1025-1029.
- Morgan, J.M. 1984.** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 299-319.
- Morton, J. 1987.** Sapindaceae, pp. 249-269. *In*: Fruits of warm climates. Julia F. Morton, Miami, FL.

- Nomura, K., Terai, H., Yabe, K., Maeda, M., Rahman, M., Yoshida, M., Yonemoto, J. 1997.** Comparison of changes in sugars and ethylene production of cherimoya fruit grown at different seasons. *Journal of Horticultural Science* 72(4): 617-622.
- Muir, S., Sanders, D. 1997.** Inositol 1,4,5-triphosphate-sensitive  $\text{Ca}^{2+}$  release across nonvacuolar membranes in cauliflower. *Plant Physiology* 114: 1511-1521.
- O'Hare, T.J., Prasad, A., Cooke, A.W. 1994.** Low temperature and controlled atmosphere storage of rambutan. *Postharvest Biology and Technology* 4: 147-157.
- O'Hare, T.J. 1995.** Postharvest physiology and storage of rambutan. *Postharvest Biology and Technology* 6: 189-199.
- Ong, P.K.C., Acree, T.E., Lavin, E.H. 1998.** Characterization of Volatiles in Rambutan Fruit (*Nephelium lappaceum* L.). *Journal for Agricultural Food Chemistry* 46(2): 611-615.
- Pantastico, E.B., Pantastico, J.B., Cosico, V.B. 1975.** Some forms and functions of the fruit and vegetable epidermis. *Philippine Journal Biology* 4: 175-197.
- Paull, R.E., Chen N.J. 1987.** Effect of storage temperature and wrapping on quality characteristics of litchi fruit. *Scientia Horticulturae* 33: 223-236.
- Pei, Z.M., Murata, Y., Benning, G., Thomine, S., Klüsener, B., Allen, G.J., Grill, E., Schroeder, J.I. 2000.** Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells. *Nature* 406: 731-734.
- Pérez, R.A., Jürgen, P.A. 2004.** Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología* 20(3): 24-26.
- Raschke, K., Fellows, M.P. 1971.** Stomatal movement in *Zea mays*: shuttle of potassium and chloride between guard cells and subsidiary cells. *Planta* 101: 296-316.
- Roelfsema, M.R.G., Konrad, K.R., Marten, H., Psaras, G.K., Hartung, W., Hedrich, H. 2006.** Guard cells in albino leaf patches do not respond to photosynthetically active radiation, but are sensitive to blue light,  $\text{CO}_2$  and abscisic acid. *Plant Cell and Environment* 29: 1595-1605.
- Scheibe, R., Reckmann, U., Hedrich, R., Raschke, K. 1990.** Malate dehydrogenases in guard cells of *Pisum sativum*. *Plant Physiology* 93: 1358-1364.
- Schroeder, J.I., Hedrich, R. 1989.** Involvement of ion channels and active transport in osmoregulation and signaling in higher plant cells. *Trends in Biochemistry Science* 14: 187-192.
- Schroeder, J.I., Allen, G.J., Hugouvieux, V., Kwak, J.M., Waner, D. 2001b.** Guard cell signal transduction. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology* 52: 627-658.

- Schroeder, J.I., Kwak, J.M., and Allen, G.J. 2001a.** Guard cell abscisic acid signalling and engineering drought hardiness in plants. *Nature* 410: 327-330.
- Scott, K.J., Brown, B.I., Chaplin, G.R., Wilcox, M.E., Bain, J.M. 1982.** The control of rotting and browning of litchi fruit by hot benomyl and plastic film. *Scientia Horticulturae* 16:253-262.
- Seibert, B. 1991.** *Nephelium* L. *In: Verheij, E.W.M., Coronel, R.E. (eds.). plant resources of Southeast Asia 2. Edible Fruits and Nuts.* Pudoc, Wageningen, the Netherlands.
- Shimazaki, K.I., Doi, M., Assmann, S.M., Kinoshita, T. 2007.** Light regulation of stomatal movements. *Annual Review of Plant Biology* 58: 219-247.
- Strong, M. 1992.** Technical report on the tropical exotic fruit trees in Guatemala, Costa Rica, Honduras and Belize. Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE). Mimeografiado. 12 p.
- Taniyama, T., Rao, M.L.N., Subbauh, S.V., Ikeda, K. 1987.** Cultivation and ecophysiology of stomatal aperture in some rice cultivars of India. *Japan Journal of Crop Science* 56: 226-231.
- Tindall, H.D. 1994.** Sapindaceous fruits: botany and horticulture. *Horticultural Reviews* 16: 143-196.
- Tindall, H.D., Menini, U.G., Hodder, A.J. 1994.** Rambutan cultivation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Plant production and protection paper 121. Rome, Italy. 185 p.
- Torre, S., Fjeld, T. 2001.** Water loss and postharvest characteristics of cut roses grown at high or moderate relative humidity. *Scientia Horticulturae* 89: 217-226.
- Underhill, S.J.R., Simons, D.H. 1993.** Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp desiccation and the importance of postharvest micro-cracking. *Scientia Horticulturae* 54: 287-294.
- Underhill, S.J.R., Critchley, C. 1993.** Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during storage. *Journal of Horticultural Science* 68(3): 327-335.
- Van Welzen, P.C., Lamb, A., Wong, W.W.W. 1988.** Edible Sapindaceae in Sabah. *Nature Malaysiana* 13: 10-25.
- Van Welzen, P.C., Verheij, E.W.M. 1991.** *Nephelium lappaceum* L. *in: Plant Resources of South-East Asia* Wageningen: Pudoc No.2. Edible fruits and nuts. Verheij, E.W.M., Coronel, R.E. (eds.). Pudoc, Netherlands.
- Vavasseur, A., Raghavendra, A.S. 2005.** Guard cell metabolism and CO<sub>2</sub> sensing. *New Phytologist* 165: 665-682.

- Watson, B.J.** 1984. Rambutan (*Nephelium lappaceum*), pp. 198-203. *In: Tropical tree fruits for Australia*. Page, P.E. (ed.). Queensland Department of Primary Industry. Horticulture Branch.
- Watson, J.** 1988. Rambutan cultivars in north Queensland. *Queensland Agricultural Journal*. pp. 37-41.
- Welzen, P.C., Verheij, E.W.M.** 1991. *Nephelium lappaceum* L., pp. 235-240. *In: Plant Resources of Southeast Asia. 2. Edible fruits and Nuts*. Verheij, E.W.M., Coronel R.E. (eds.). Pudoc, Wageningen, the Netherlands.
- Welzen, P.C., Lamb, A., Wong, W.W.W.** 1988. Edible Sapindaceae in Sabah. *Nature Malaysiana* 13:10-25.
- Weyers, J.D.B., Paterson, N.W.** 2001. Plant hormones and the control of physiological processes. *New Phytologist* 152: 375-407.
- Whitehead, C.** 1959. The rambutan, a description of the characteristics and potential of the more important varieties. *Malaysian Agriculture Journal* 42: 53-57.
- Willmer, C.M., Fricker, M.** 1996. *Stomata*, 2nd edn. London: Chapman & Hall.
- Zauberman, G., Ronen, R., Akerman, M., Weksler, A., Rot, I., Fuchs, Y.** 1991. Postharvest retention of red colour of litchi fruit pericarp. *Scientia Horticulturae* 47: 89-97.
- Zeiger, E., Zhu, J.X.** 1998. Role of zeaxanthin in blue light photoreception and the modulation of light-CO<sub>2</sub> interactions in guard cells. *Journal of Experimental Botany* 49: 433-442.

#### IV. DESARROLLO MORFOLÓGICO E HISTOLÓGICO DEL PERICARPIO DEL FRUTO DE RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* Linn.)

#### MORPHOLOGICAL AND HISTOLOGICAL DEVELOPMENT OF RAMBUTAN FRUIT (*Nephelium lappaceum* Linn.) PERICARP

J. F. Caballero-Pérez<sup>1</sup>; M. L. Arévalo-Galarza<sup>1\*</sup>; C. H. Avendaño-Arrazate<sup>2</sup>;  
J. Cadena-Iñiguez<sup>3</sup>; G. Valdovinos- Ponce<sup>1</sup>; J. F. Aguirre-Medina<sup>4</sup>; J. Valdez-Carrasco<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue describir los cambios morfológicos e histológicos durante el desarrollo del pericarpio de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. La caracterización del pericarpio, incluyendo los espiternos y el estado estomático, fue evaluada en frutos cosechados los 25, 50, 75 y 100 días después de antesis (DDA). Los resultados mostraron que el número de espiternos desde el inicio del desarrollo del fruto hasta la cosecha se mantuvo constante; el número de estomas por espiterno y por fruto fue de aproximadamente 3,197 y  $1.04 \times 10^6$ , respectivamente, a 100 DDA. El grosor de la cutícula del pericarpio disminuyó significativamente (40.52 %) desde los 50 hasta los 100 DDA. Finalmente, la presencia de estomas anomocíticos formados por células oclusivas son clasificados como los menos susceptibles a disminuir la apertura del poro, lo cual permite la pérdida de humedad y alta deshidratación durante la madurez y senescencia del fruto.

**Palabras clave: pericarpio, arilo, deshidratación, espiternos, estoma.**

---

<sup>1</sup> Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, México. CP 56230. \* Autor responsable: [larevalo@colpos.mx](mailto:larevalo@colpos.mx), Tel. 5959520200 ext. 1571

<sup>2</sup> Campo Experimental Rosario Izapa. INIFAP. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas.

<sup>3</sup> Campus San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Agustín de Iturbide No. 73. Salinas de Hidalgo, Salinas, San Luis Potosí.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Belisario Domínguez, kilómetro 1081, Sin Número, Terán Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29050

## ABSTRACT

The aim of this research was to describe the morphological and histological changes during the pericarp development of the RI-148 selection of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.). Pericarp characterization, including spinterns and stomatal state, was evaluated in fruits harvested at 25, 50, 75 and 100 days after anthesis (DAA). The results showed that the number of spinterns per fruit was constant from the beginning of fruit development until harvest; the stomatal number for spinterns and for fruit was around 3,197 y  $1.04 \times 10^6$ , respectively at 100 DDA. The cuticle thickness of the pericarp had a significant decrease (40.52 %) from 50 DAA to 100 DAA. Finally, the presence of anomocytic stoma, which are less susceptible to diminishing their opening of pore, provoked the loss of moisture and high dehydration during fruit maturity and senescence.

**Key words:** pericarp, aril, dehydratation, spinterns, stomata.

## INTRODUCCIÓN

El rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), originario de Malasia e Indonesia, es un fruto del trópico húmedo perteneciente a la familia Sapindaceae (Popenoe, 1920; Morton, 1987; Wall, 2006). El árbol mide de 10 a 20 metros, es de copa densa y tronco ligeramente áspero de corteza gris, el fruto es una drupa redonda u ovoide de 3 a 8 centímetros de longitud y 3 a 4 centímetros de diámetro con peso entre 25 y 45 gramos (León, 1987; Lye *et al.*, 1987). El pericarpio del fruto de color rojo, amarillo y en algunos casos anaranjado; tiene un grosor de 2 a 4 milímetros cubierto de protuberancias blandas (espiternos) que pueden variar entre 200-300 por fruto con longitud de 10 a 12 milímetros, dependiendo del cultivar o selección (Van Welzen y Verheij *et al.*, 1991; Caballero-Pérez *et al.*, 2011). La parte comestible (arilo) del fruto es blanca translúcido con sabor ácido-dulce y en algunas variedades o selecciones comerciales se adhiere a la semilla (Tindall *et al.*, 1994; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011), la cual es de forma ovoide o elipsoide de color café brillante (Ong *et al.*, 1998). Los frutos de rambután presentan rápidos cambios en su apariencia después de la cosecha, debido al oscurecimiento del pericarpio y los espiternos (Mendoza *et al.*, 1972), el cual es estimulado por la deshidratación (Pantástico *et al.*, 1975). Tales cambios tienen un impacto negativo en el valor comercial del fruto (Kosiyachinda *et al.*, 1987). De acuerdo con Denna (1970) la estructura y composición de

cada región del pericarpio confiere la capacidad al fruto de resistir la pérdida de humedad. Huang *et al.* (2004) mostraron que frutos de litchi cv. Huaizhi con mayor grosor del tejido esponjoso en el pericarpio, presentaron menor deshidratación. La pérdida de agua en forma de vapor en el fruto de rambután, ocurre mayormente a través de los estomas presentes en los espiternos, cuya densidad es variable entre cultivares y ubicación (Pantástico *et al.*, 1975). Sin embargo, se desconoce la implicación del resto de las estructuras del pericarpio en la deshidratación del fruto, por lo que el objetivo de la presente investigación fue describir los cambios morfológicos y anatómicos del pericarpio durante el crecimiento y desarrollo del fruto que pudieran estar involucrados en la susceptibilidad a la deshidratación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y descripción del área de estudio

La evaluación se llevó a cabo en el Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Tuxtla el Chico, Chiapas, México, ubicado entre los 14°58' N, 92° 09' O a una altitud de 435 m. La temperatura media anual de 23 °C, con HR del 85 % y precipitación de 3,100 mm (INAFED, 2005). La vegetación es de selva alta siempre verde con el crecimiento de algunas especies como cedro (*Cedrella mexicana*), amate (*Ficus cotinifolia*), mata palo (*Ficus involuta*), caoba (*Swaetania macrophylla*) y bayalté (*Aspidosperma megalocarpum*) donde prospera el cultivo de rambután. Los suelos son del tipo andosol-mólico (Helbig, 1964).

### Material biológico

Se evaluaron frutos de tres árboles injertados de diez años de edad de la selección RI-148 en etapa reproductiva, el portainjerto se obtuvo de plantas obtenidas a partir de semilla de frutos de rambután criollo. El experimento se llevó a cabo del 18 de mayo al 1 de agosto de 2008. Se realizaron cuatro muestreos cada 25 días después de la antesis (DDA) (25, 50, 75 y 100 DDA) para evaluar los cambios morfológicos e histológicos de los frutos considerando las siguientes variables:

**Número y longitud de espiternos:** De cada muestreo se tomaron diez frutos por árbol (30 repeticiones) y en cada fruto se cuantificaron los espiternos. En cada fruto se tomó un espiterno

de cada una de las secciones (basal, media y apical), al cual se le midió la longitud desde la base hasta la punta.

**Densidad estomática y estado estomático:** Para determinar la densidad estomática se hicieron impresiones con una resina dental (Xantopren®) del pericarpio de 20 frutos por árbol. La resina se aplicó sobre el pericarpio y al secar se desprendió como una impresión en negativo, al cual se le colocó una pequeña cantidad de barniz transparente para uñas. Una vez que la capa de barniz se polimerizó, se desprendió para formar una impresión en positivo y se colocó con el relieve en forma inversa a su desprendimiento en un portaobjetos. Se obtuvieron tres impresiones de cada sección del espiterno (basal, media y apical), observando tres campos visuales por impresión en un microscopio de luz (Carl Zeiss, modelo 392560-9002) utilizando el objetivo de 40 aumentos y en cada uno se contaron el número de estomas. Para observar el estado del estoma de cada fruto muestreado se tomaron tres fragmentos de pericarpio de aproximadamente 1 cm de longitud. Las muestras se fijaron en glutaraldehído (2.5%) por 24 h, se deshidrataron en etanol (10, 20, 30, 50, 70, 95 y 100%) y se desecaron a punto crítico con CO<sub>2</sub>. Finalmente, el material se colocó sobre bases de aluminio, se cubrió con oro y se observó en un Microscopio Electrónico de Barrido (Jeol, Modelo JSM-5410LV) en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados y se tomaron fotomicrografías en cinco áreas distintas de cada una de las secciones del espiterno en cada muestra. La apertura estomática y el cierre estomático se cuantificaron a partir de imágenes digitales con el programa Image Tool versión 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

**Número de estomas del espiterno y del fruto:** Del lote de frutos considerado para determinar la densidad estomática se tomó un espiterno de la base, partes central y superior de cada fruto y considerando tres secciones (basal, media, apical) del espiterno se calculó el área en milímetros cuadrados mediante las fórmulas: base ( $(\pi(R+r)h)+(\pi R^2+\pi r^2)$ ), sección media ( $(2\pi rh)+2\pi r^2$ ), sección apical ( $(\pi rh)+\pi r^2$ ), donde R=radio de la base del espiterno, r=radio de la parte superior de la base del espiterno, h= longitud de la sección, considerando su similitud con los cuerpos geométricos tronco de cono, cilindro recto y cono recto, respectivamente. Las mediciones se realizaron con el programa Image Tool versión 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002) a partir de imágenes digitales tomadas con un microscopio estereoscópico de luz (Carl Zeiss, modelo 455022-9902), con adaptación de una cámara de alta resolución Moticam 480. Posteriormente, se calculó el número el número de estomas por espiterno y fruto.

**Características histológicas:** De cada muestreo en 12 frutos se tomaron fragmentos de pericarpio de 1.5 cm y se fijaron en FAA (formaldehído al 37%, ácido acético glacial, alcohol etílico al 96% y agua destilada (10:50:5.35) por 24 h. Las muestras se deshidrataron gradualmente en etanol y se incluyeron en paraplast (SIGMA, Paraplast Embedding Media) en un procesador automático de tejidos (Tissue-Tek II, Modelo 4640-B, C.O. Sakura finetechnical). Las muestras se cortaron transversalmente a 10  $\mu\text{m}$  de grosor con un micrótopo rotatorio (American Optical Company, modelo Spencer 829). Los cortes obtenidos se desparafinaron en una estufa a 56-58 °C durante 20 minutos y en tres cambios de xileno de 3 minutos cada uno. Posteriormente, se colocaron en una mezcla de xileno más etanol absoluto 1:1 y se hidrataron hasta etanol al 96 % por 3 minutos. La tinción se hizo con safranina (metilcelosolve®) – verde rápido (metilcelosolve®) de acuerdo con el protocolo de López *et al.* (2005). Los cortes se montaron en resina sintética y utilizando el objetivo de 40 X de un microscopio de luz (Carl Zeiss, modelo 392560-9002) con adaptación de una cámara de alta resolución Moticam 480, se midió el grosor de cutícula y endocarpio en cinco campos visuales por corte y se procesaron como imágenes digitales con Image Tool versión 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

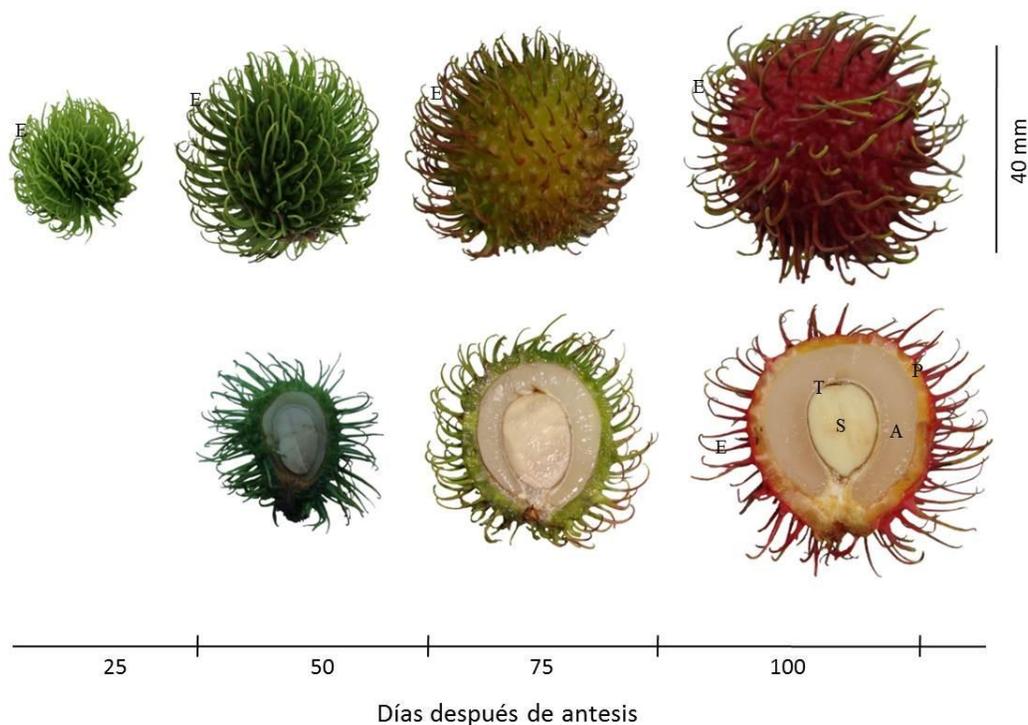
**Análisis estadístico:** Los datos de longitud de los espiternos se graficaron en función del tiempo calculando la media y desviación estándar. Con los datos de cierre estomático, apertura y densidad estomática, así como el número de estomas del espiterno y del fruto se calculó la media y desviación estándar. Se consideró como factor de variación cada uno de los momentos de muestreo y un fruto como unidad experimental. A los resultados del grosor de cutícula y endocarpio, se les realizó un análisis de varianza (diseño completamente al azar), y las medias se compararon con la prueba de Tukey con una  $p \leq 0.05$  (SAS Institute, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

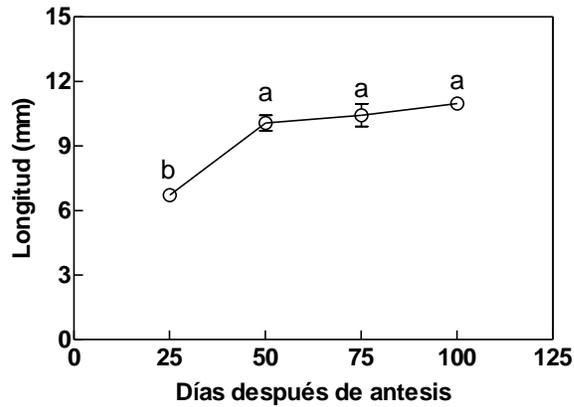
### Desarrollo de espiternos

A los 25 DDA, se observaron numerosas protuberancias blandas de apariencia pilosa (espiternos) con una longitud de  $6.71 \pm 1.11$  mm. La presencia de estas estructuras deriva de los tricomas de la epidermis externa del ovario, el cual finalmente se desarrolla en el pericarpio (Moncur, 1988; Marzinek y Mourão, 2003). A los 50 DDA la longitud del espiterno incrementó significativamente a  $10.06 \pm 1.97$  mm y a los 100 DDA fue de  $10.97 \pm 0.77$  mm, cuando el fruto

alcanzó la madurez de consumo (Figuras 4.1 y 4.2). La longitud del espiterno depende del cultivar, Yingsanga *et al.* (2006b) reportan espiternos de 18.4 mm en el cv. Rongrien y de 14.2 mm en frutos del cv. Seechompoo a la cosecha. Pérez y Jürgen (2004), mencionan que la apariencia conjunta de los espiternos es similar a la de los tricomas de las hojas de las plantas, los cuales entre otras funciones incrementan la capa de frontera entre la superficie y el medio ambiente, atribuyendo la función de protección en climas cálidos y de alta precipitación (Landrigan *et al.*, 1994). El número promedio de espiternos por fruto de la selección RI-148 fue de  $328 \pm 20.45$ , permaneciendo invariable desde el inicio del desarrollo del fruto hasta la cosecha. Avendaño *et al.*, (2011), reportaron 370 y 222 espiternos por fruto en la variedad Smooth y la selección Red-3, respectivamente, esta característica le confiere una relación muy alta entre la superficie/volumen que influye en la velocidad de pérdida de humedad (Landrigan *et al.*, 1994; Ben-Yehoshua, 1987).



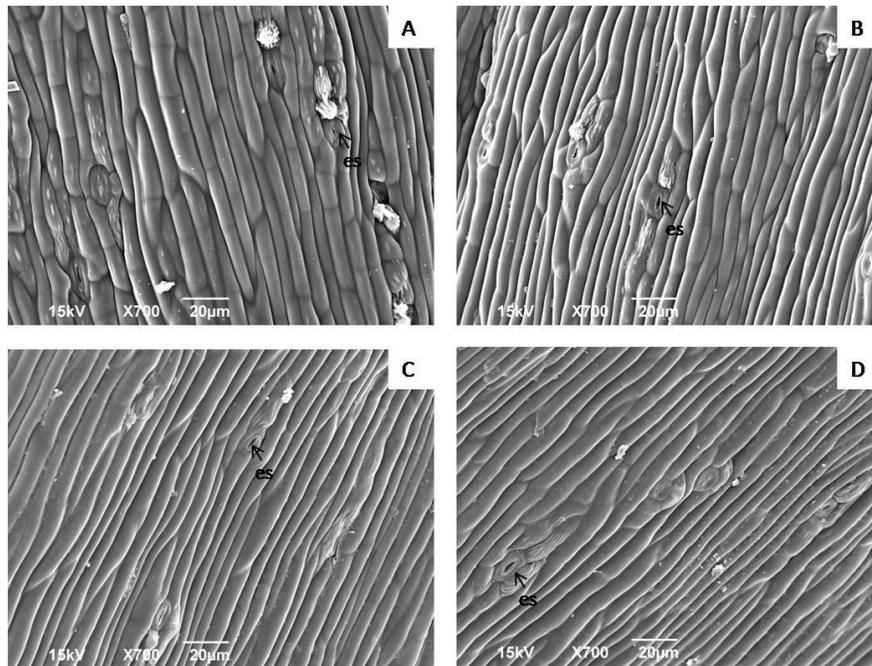
**FIGURA 4. 1. Cambios en la morfología externa e interna durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148; E = espiterno, P = pericarpio, A = arilo, T = testa, S = semilla.**



**FIGURA 4. 2. Cambios en la longitud del espiterno durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. Cada punto representa la media de 30 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .**

#### **Apertura estomática y cierre estomático en espiternos**

Entre los 25 y 100 DDA, se observaron numerosos estomas de tipo anomocítico dispersos en la superficie del pericarpio y espiterno, la mayor parte abiertos (> 80%) (Figura 4.3 y Cuadro 4.1). Los estomas de tipo anomocítico carecen de células subsidiarias y tienen células oclusivas de volumen considerable que presentan menor susceptibilidad a disminuir la apertura del poro, favoreciendo la apertura estomática (Franks y Farquhar, 2007). Se han observado estomas de tipo anomocítico en frutos de *Piriqueta racemosa* y *Turnera weddelliana* pertenecientes a la familia Turneraceae que se desarrollan en climas tropicales (González, 2010).



**FIGURA 4. 3. Micrografías de la sección media del espiterno del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148 a los A) 25 DDA, B) 50 DDA, C) 75 DDA y D) 100 DDA; es = estoma.**

### Densidad estomática en espiternos

Posterior a la antesis, la densidad estomática por milímetro cuadrado del espiterno presentó una disminución hasta el momento de cosecha del fruto, siendo más acentuada en la parte basal del espiterno y constante en la parte media y apical de este, aunque en estas posiciones se presentó la mayor densidad estomática (204-168 estomas/mm<sup>2</sup> y 238 – 196 estomas/mm<sup>2</sup>, respectivamente) (Cuadro 4.1). El número de estomas varía con cultivar, en espiternos del cv. Rongrien se reporta una densidad de 72 estomas·mm<sup>-2</sup> en la base y de 89-156 estomas·mm<sup>-2</sup> en la sección media y apical respectivamente; mientras que en frutos del cv. Seechompoo se presentaron 156 estomas·mm<sup>-2</sup> en la base y de 138-210 estomas·mm<sup>-2</sup> en la sección media y apical del espiterno (Yingsanga *et al.*, 2006a)

**CUADRO 4. 1. Estado estomático y distribución estomática durante durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148, valores promedio de 20 frutos.**

Variable	Días después de antesis			
	25	50	75	100
<b>Sección del espiterno</b>				
<b>Apertura estomática (Número/mm<sup>2</sup>)</b>				
Basal	98±21.63	85±17.40	80±14.76	80±14.76
Media	179±18.90	161±32.58	154±20.62	151±31.73
Apical	202±20.62	181±34.36	179±23.21	178±24.02
<b>Cierre estomático (Número/mm<sup>2</sup>)</b>				
Basal	21±24.64	12±17.40	11±16.91	7±14.76
Media	25±23.63	17±18.41	15±18.29	17±18.41
Apical	36±26.96	27±26.84	19±18.41	18±18.45
<b>Densidad estomática (Número/mm<sup>2</sup>)</b>				
Basal	119±23.21	97±22.01	91±18.45	87±18.08
Media	204±24.27	178±29.14	169±23.98	168±29.35
Apical	238±26.42	208±25.09	198±20.73	196±22.55
<b>Número de estomas</b>				
Basal	394	311	348	310
Media	1852	1881	1823	1819
Apical	1089	1105	1025	1068
<b>Número de estomas por espiterno</b>	3335	3297	3196	3197
<b>Número de estomas por fruto</b>	1.09 x 10 <sup>6</sup>	1.08 x 10 <sup>6</sup>	1.04 x 10 <sup>6</sup>	1.04 x 10 <sup>6</sup>

De acuerdo con Hieke *et al.* (2002), el número de estomas por fruto está determinado a partir de la antesis y se mantiene constante durante el desarrollo, asumiendo que no existe división celular durante la ontogenia de la formación de estomas nuevos. Knoche *et al.* (2001) señalan que durante el desarrollo se presenta la dispersión de los estomas sobre el área superficial del fruto, conduciendo a una disminución de la densidad estomática. Lo anterior explica la disminución de la densidad estomática observada durante el crecimiento del espiterno (Cuadro 4.1). Además la densidad estomática del rambután es mucho mayor que lo reportado en otros frutos de clima templado como cereza (>1.04 estomas·mm<sup>-2</sup>) (Peschel *et al.*, 2003), y

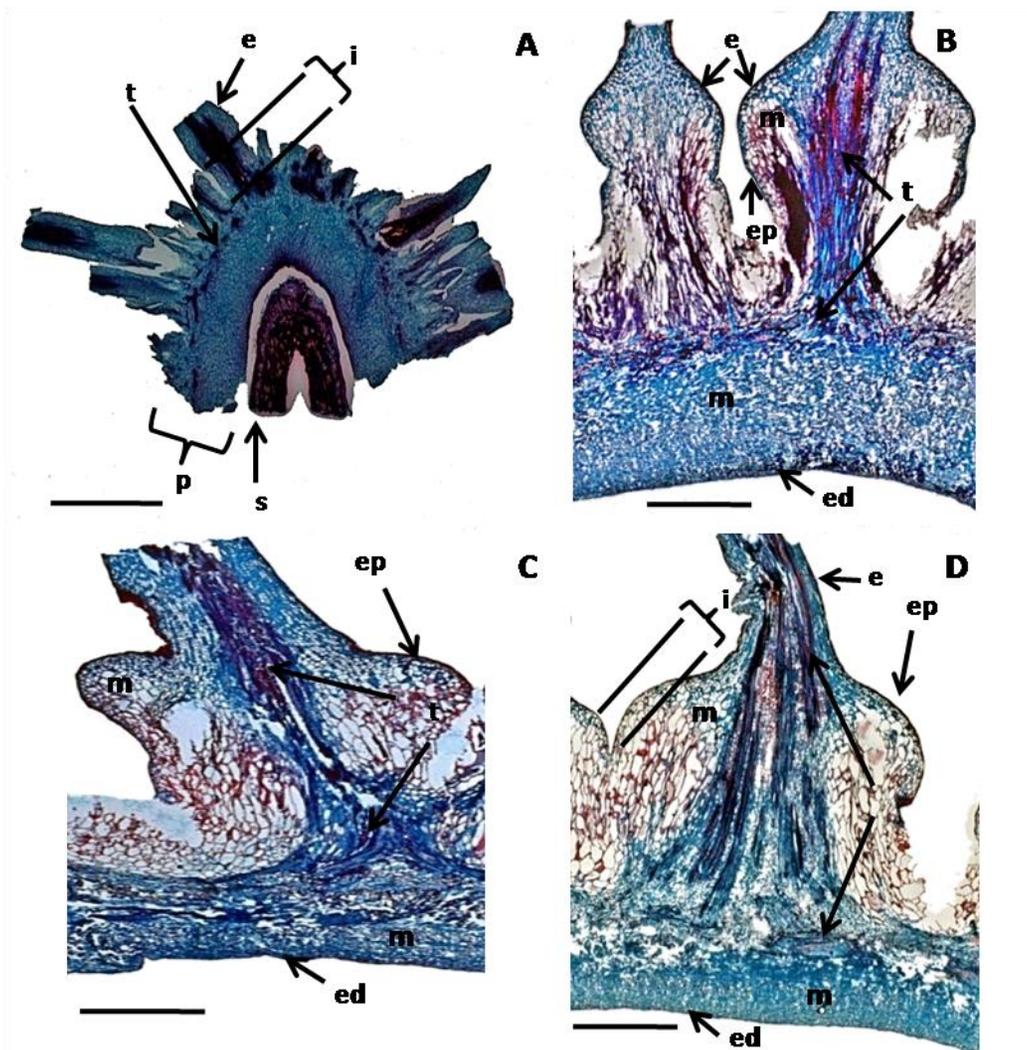
de origen subtropical y tropical como aguacate ( $60 \text{ estomas} \cdot \text{mm}^{-2}$ ), naranja "Shamouti" ( $70 \text{ estomas} \cdot \text{mm}^{-2}$ ) (Blanke y Bower, 1990) y banana ( $44 \text{ estomas} \cdot \text{mm}^{-2}$ ) (Johnson y Brun, 1966). El número de estomas por espiterno fue de 3,337 a 3,199 durante el desarrollo del pericarpio (Cuadro 4.1), considerando un promedio de 328 espiternos por fruto, representa  $1.09 \times 10^6$  a  $1.04 \times 10^6$  estomas por fruto, éstos valores son superiores a los reportados en otros frutos, por ejemplo, Blanke (1992) reporta que en frutos del aguacate cv. Fuerte en desarrollo presentan entre 20,000 y 30,000 estomas por fruto, mientras que en manzana se reportan 3,000 estomas por fruto.

Es importante mencionar que el incremento de la longitud de los espiternos en el fruto de rambután durante el desarrollo del pericarpio proporciona mayor superficie de contacto con el ambiente, lo cual modifica la intensidad de transpiración. Bajo condiciones extremas de estas variables ( $33 \text{ }^\circ\text{C}$ , y  $95 \text{ \% HR}$ ), incrementa la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  intracelular debido a un aumento en la respiración causando la apertura estomática, que a la vez incrementa la pérdida de agua (transpiración) transportada a través del sistema vascular del fruto, el cual unido al árbol, tiene abastecimiento continuo de agua procedente de la raíz. Bajo condiciones de alta humedad relativa ocurre una excesiva pérdida de agua durante la postcosecha y consecuentemente causa la deshidratación y oscurecimiento del pericarpio (Yang y Heilman, 1991; Nakano *et al.*, 2003), lo que sugiere que la falta de funcionalidad estomática afecta la vida de almacenamiento del fruto. Se ha demostrado que plantas desarrolladas en condiciones de alta humedad relativa (baja presión de vapor de agua DPV) afectan el control de la apertura y cierre estomático. Por ejemplo, rosas de corte desarrolladas en alta humedad relativa ( $85 \text{ \%}$ ) presentan fallas en el cierre estomático en respuesta al déficit hídrico, provocando deshidratación y corta vida de florero, por presentar alta tasa de transpiración (Torre *et al.*, 2003).

### **Desarrollo del pericarpio**

El pericarpio y la semilla crecen primero que el arilo, se ha sugerido que el pericarpio proporciona sustancias y espacio limitado para el crecimiento del arilo (Huang y Xu, 1983). A los 25 DDA, la estructura del pericarpio mostró células parenquimatosas pequeñas y de pared delgada formando un tejido compacto sin diferenciación de estratos celulares (Figura 4.4 A). Hacia la porción más externa de este tejido se observó tejido vascular. De igual forma, se observaron invaginaciones profundas debidas probablemente a la presencia de los espiternos.

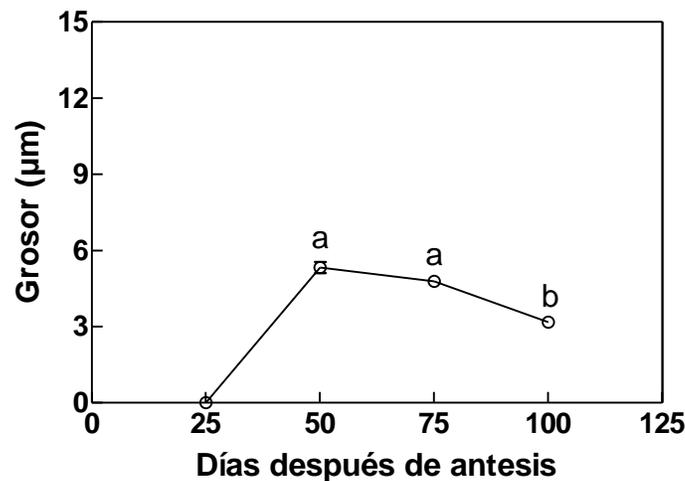
Dichas invaginaciones se hicieron más evidentes conforme avanzó el desarrollo del fruto. En el caso del fruto de litchi, se ha reportado que durante su desarrollo hay alta división celular (Joubert, 1986), así como la presencia de invaginaciones y braquiesclereidas bajo la epidermis las cuales contribuyen a la protección y soporte del epicarpio (Huang y Xu, 1983; Nacif *et al.*, 2001). De los 50 a los 75 DDA, se presentó un adelgazamiento del tejido parenquimatoso del mesocarpio, lo cual fue más notorio a los 100 DDA. Las células más cercanas a la base de los espiternos fueron de mayor tamaño, dándole una apariencia laxa al tejido y a lo largo de éstos se observaron células de parénquima de menor tamaño formando una estructura más compacta; mientras que las localizadas hacia el endocarpio fueron pequeñas y organizadas de manera compacta (Figuras 4.4 B, C y D). La capa de células entre estos tipos celulares se presenta colapsada. Esta estructura podría ser explicada si se considera al pericarpio como un gran accesorio que se extiende, e indica la intensidad de la presión ejercida por la expansión y turgencia del arilo. Es importante mencionar que en la base de los espiternos se observó tejido de parénquima compacto el cual también se encuentra a lo largo de éstos.



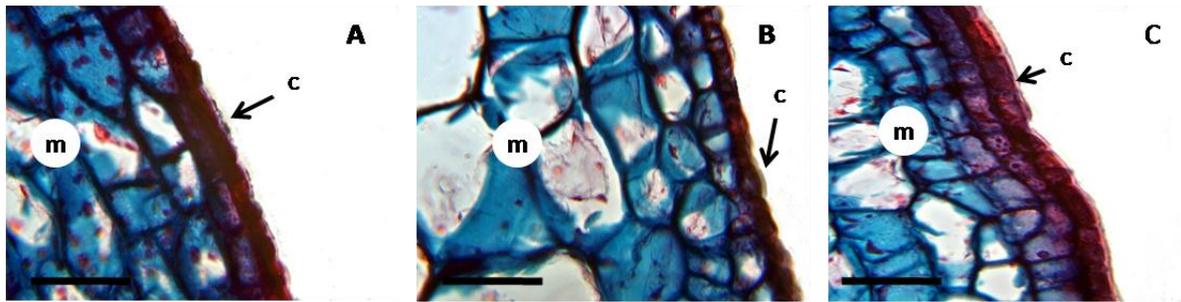
**FIGURA 4.** 4. Fotomicrografías de cortes transversales del pericarpio durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. A) 25 DDA; B) 50 DDA; C) 75 DDA y D) 100 DDA, i = invaginación, e = espiterno, p = pericarpio, s = semilla, ep = epicarpio, m = mesocarpio, ed = endocarpio, t = tejido vascular. Escala = 1000  $\mu$ m.

Hasta los 50 DDA, se definieron las tres estructuras del pericarpio: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Figura 4.4 B). La cutícula presentó inicialmente un espesor de  $5.33 \pm 1.21 \mu\text{m}$ , disminuyendo a los 75 DDA en un 10.31 % con grosor de  $4.78 \pm 1.14 \mu\text{m}$ . A los 100 DDA, la cutícula tuvo un espesor de  $3.17 \pm 0.72 \mu\text{m}$ , mostrando una reducción significativa total del 40.52 % desde los 50 DDA (Figura 4.5 y 4.6: A, B y C). En el desarrollo de frutos de litchi, se ha observado una reducción de la cutícula de 78.51% a partir de los 21 DDA hasta la madurez del fruto como resultado de la rápida expansión del pericarpio y la reducción en la síntesis de la

cutícula. Debido a la forma y estructura de las capas de cera de la cutícula, éstas limitan la salida del vapor de agua y crean una barrera contra la pérdida de humedad, pero su adelgazamiento y cambios en estructura durante el desarrollo del fruto de rambután probablemente acentúen la pérdida de humedad durante la madurez del fruto, toda vez que se ha reportado el incremento en la permeabilidad cuticular al agua cuando existen condiciones de alta humedad relativa, explicados posiblemente por los cambios en el grado de hidratación de los grupos polares de las ceras epicuticulares (Pantastico, 1975; Underhill y Critchley, 1992; Kerstiens, 2006). Huang *et al.* (2004), al evaluar la estructura del pericarpio durante el desarrollo de frutos de litchi mostraron que el patrón de acumulación de cutícula difiere entre cultivares, los frutos del cv. Huaizhi acumularon cutícula en la superficie entera de células epidérmicas desde etapas tempranas, en contraste con los frutos del cv. Nuomici donde la acumulación de cutícula fue más localizada, estos autores sugieren que el patrón de acumulación de cutícula del cv. Huaizhi contribuyó más a prevenir la pérdida de agua que en frutos del cv. Nuomici. Deng (1997), sugirió que una cutícula delgada contribuye a la alta deshidratación en frutos de litchi, mientras que en frutos de pimiento se encontró una correlación negativa entre grado de deshidratación y el grosor de cutícula (Lownds *et al.*, 1993; Pantastico *et al.*, 1975).

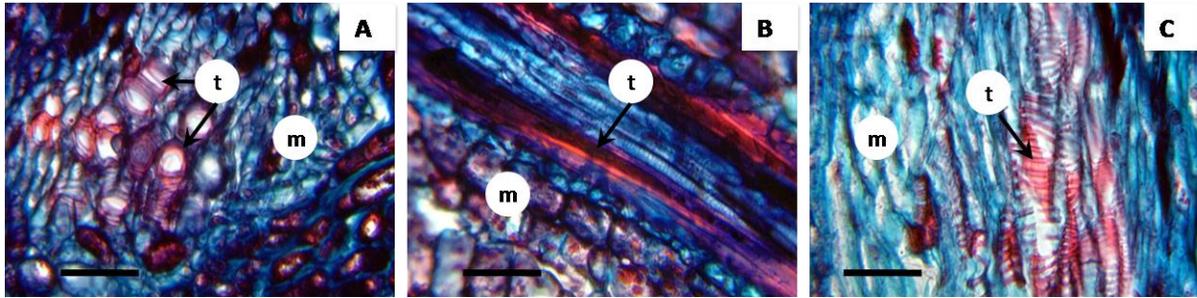


**FIGURA 4. 5. Cambios en el grosor de la cutícula durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. Cada punto representa la media de 12 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .**



**FIGURA 4. 6. Fotomicrografía de cortes transversales del pericarpio del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA y C) 100 DDA, m = mesocarpio, c = cutícula. Escalas = 40  $\mu$ m.**

A los 50 y 75 DDA, las células del mesocarpio presentaron dos tipos de parénquima: a) parénquima compacto con células isodiamétricas en el área cercana al epicarpio y b) parénquima con células de mayor tamaño y espacios intercelulares en zonas cercanas al endocarpio. En ambos se observó la presencia de tejido vascular, estructura que se definió a los 100 DDA (Figura 4.7 A, B y C). De acuerdo con Fahn (1990), la turgencia de las células del parénquima proporciona solidez general al pericarpio del fruto. Deng (1997), señala que los espacios intercelulares del parénquima permiten la circulación del aire necesario para el intercambio gaseoso y la respiración. Por su parte, Hieke *et al.* (2002), mencionan que el estoma regula la salida de vapor de agua y la entrada de CO<sub>2</sub> (necesario para la fotosíntesis) en el fruto en interacción hidráulica con las células subsidiarias, así como las células epidérmicas y parenquimatosas subyacentes mediante cambios en el potencial hídrico de las células oclusivas en respuesta al grado de transpiración. Caballero-Pérez *et al.* (2011), reportaron que frutos de rambután con mayor grosor de pericarpio a (selección RI-104) las pérdidas de peso del fruto fueron menores a las del resto de las selecciones evaluadas. Lo anterior sugiere que el estado hídrico de las células del mesocarpio contribuye a reemplazar el agua perdida a través de los espiternos, mismos que se conectan vascularmente con el pericarpio. En frutos de rambután cv. Rongrien, se observó que la presencia de tejido vascular (xilema y floema) entre las células de parénquima a lo largo del espiterno incrementa el flujo de agua durante la transpiración, en respuesta al gradiente decreciente de potencial hídrico establecido entre el fruto y el medio ambiente (Azcon-Bieto y Talón, 1993; Yingsanga *et al.*, 2006a).



**FIGURA 4. 7. Fotomicrografía de cortes transversales del mesocarpio del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA; C) 100 DDA, m = mesocarpio, t = tejido vascular. Escalas = 30  $\mu\text{m}$ .**

A los 50 DDA, se observó el endocarpio formado por una capa uniestratificada de células pequeñas y pared delgada. El espesor de esta capa fue de  $24.00 \pm 3.25 \mu\text{m}$  y disminuyó significativamente en 35.25 % ( $15.54 \pm 3.13 \mu\text{m}$ ) a los 75 DDA. A los 100 DDA, el grosor del endocarpio se redujo significativamente en 43.12 % (Figura 4.8 y 4.9: A, B y C), siendo el arilo y el pericarpio los componentes más importantes del fruto con 44 y 47 % del total (Caballero-Pérez *et al.*, 2011). De acuerdo con Huang *et al.* (2004), el endocarpio junto con el mesocarpio constantemente soportan la presión ejercida por la expansión del arilo durante el desarrollo del fruto de litchi y por tanto estos tejidos confieren resistencia a la deformación por parte del pericarpio.

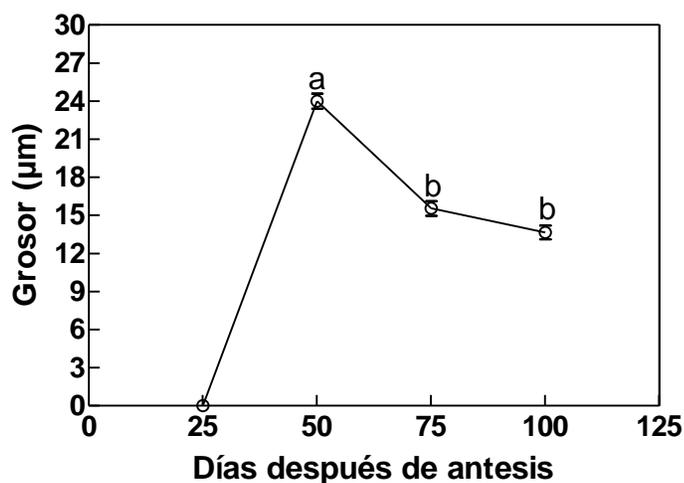


FIGURA 4. 8. Cambios en grosor del endocarpio durante el desarrollo del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. Cada punto representa la media de 12 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .

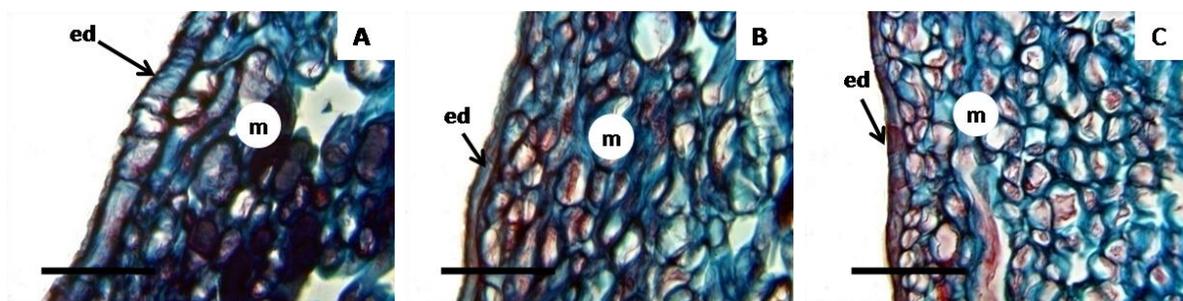


FIGURA 4. 9. Fotomicrografías de cortes transversales del pericarpio del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) selección RI-148. A) 50 DDA; B) 75 DDA y C) 100 DDA, m = mesocarpio, ed = endocarpio. Escalas = 50  $\mu$ m.

## CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del pericarpio de frutos de rambután RI-148, los espiternos mostraron crecimiento notable y la presencia de estomas anomocíticos en su mayoría abiertos. El número de estomas por espiterno fue 3,197 encontrándose el 57 % de éstos en la sección

media, a los 100 DDA. El pericarpio presenta 328 espiternos y un total de  $1.04 \times 10^6$  estomas por fruto. A partir de los 50 DDA se observaron los componentes estructurales del pericarpio: epicarpio, mesocarpio y endocarpio. Conforme avanza el estado de desarrollo la cutícula y el endocarpio de los frutos se reducen significativamente. El mesocarpio está formado por parénquima compacto y esponjoso con presencia de un desarrollado tejido vascular que se prolonga a lo largo del espiterno. Estas características están involucradas en la susceptibilidad a la deshidratación de los frutos.

#### LITERATURA CITADA

- Avendaño-Arrazate, C.H., Arévalo-Galarza, L., Sandoval-Esquivel, A., Caballero-Pérez, J. F. 2011.** El rambután un cultivo con amplio potencial de explotación en el sur de México. *Agroproductividad* 2:9-17.
- Azcon-Bieto, J., Talon, M. 1993.** Fisiología y bioquímica vegetal. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. 581 p.
- Ben-Yehoshua, S. 1987.** Transpiration, water stress and gas exchange, pp. 113-70. In: J. Weichmann (ed.). *Postharvest physiology of vegetables*. Marcel Dekker, New York.
- Blanke, M.M., Bower, J.P. 1990.** Possible role of stomata in transpiration of avocado fruit. *Acta Horticulturae* 275: 449-450.
- Blanke, M.M. 1992.** Photosynthesis of avocado fruit. *Proceedings of Second World Avocado Congress I*: 179-189.
- Caballero-Pérez, J.F., Arévalo-Galarza, M.L., Avendaño-Arrazate, C.H., Cadena-Iñiguez, J., Valdovinos-Ponce, G., Aguirre-Medina, 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.
- Deng, Y.C. 1997.** Causes and control of postharvest browning of Litchi. *Guangdong Agricultural Science* 1: 21-22.
- Denna, D.W. 1970.** Transpiration of the waxy bloom in *Brassica oleracea* L. *Australian Journal of Biological Science* 23: 27-31.
- Fahn, A. 1990.** *Plant Anatomy*. Pergamon Press, Oxford. 588 p.
- Franks, P.J., Farquhar, G.D. 2007.** The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. *Plant Physiology* 143:78-87.
- González, A.M. 2010.** Anatomía y desarrollo del fruto en *Piriqueta* y *Turnera* (Turneraceae). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 45(3-4): 257-272.

- Helbig, C. 1964.** El Soconusco y su zona cafetalera en Chiapas. Instituto de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. p. 14, 17 y 23.
- Hieke, S., Menzel, C.M., Lüdders, P. 2002.** Effects of leaf, shoot and fruit development on photosynthesis of lychee trees (*Litchi chinensis*). *Tree Physiology* 22: 955-961.
- Huang, H., Xu, J. 1983.** The developmental patterns of fruit tissues and their correlative relationships in *Litchi chinensis* Sonn. *Scientia Horticulturae* 19: 335-342.
- Huang, X.M., Yuan, W.Q., Wang, H.C., Li, J.G., Huang, H.B., Shi, L., Jinhua, Y. 2004.** Linking cracking resistance and fruit desiccation rate to pericarp structure in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79: 897-905.
- INAFED. 2005.** Los municipios del estado de Chiapas. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los municipios de México.  
[www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm](http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm)  
 (Consultado el 26 de julio, 2010).
- Johnson, B.E., Brun, W.A. 1966.** Stomatal density and responsiveness of banana fruit stomates. *Plant Physiology* 41: 99-191.
- Joubert, A.J. 1986.** Litchi, pp. 233-246. *In: CRC handbook of fruit set and development.* Monselisse S. P. (ed.). CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Kerstiens, G. 2006.** Water transport in plant cuticles: an update. *Journal of Experimental Botany* 57 (11): 2493-2499.
- Knoche, M., Peschel, S., Hinz, M., Bukovac, M.J. 2001.** Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface: II. Conductance of the cuticle in relation to fruit development. *Planta* 213: 927-936.
- Kosiyachinda, S., Lam, P.F., Mendoza, D.B., Mendoza Jr., 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, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Landrigan, M., Sarafis, V., Morris, S.C., McGlasson, W.B. 1994.** Structural aspects of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning. *Journal of Horticultural Science* 69: 571-579.
- León, J. 1987.** Botánica de los cultivos tropicales. 2ª (ed). IICA, San José, Costa Rica. 445 p.
- López C, Ma. L., Márquez, G.J., Murguía, S.G. 2005.** Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas. Facultad de Ciencias, UNAM. 178 p.

- Lownds, N.K., Banaras, M., Bosland, P.W. 1993.** Relationship between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (*Capsicum annum* L.). *Hortscience* 28:1182-1184.
- Lye, T., Lamski, S., Maspol, P., Yong, S.K. 1987.** Commercial Rambutan Cultivars in ASEAN. pp. 9-15. *In: Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN.* Lam P. F.; Kosiyanchinda S. (eds.). ASEAN Food Handling Bureau. Jakarta, Indonesia. 82 p.
- Marzinek, J., Mourão, K.S.M. 2003.** Morphology and anatomy of the fruit and seed in development of *Chorisia speciosa* A. St.- Hil.- Bombacaceae. *Revista Brasileira de Botânica* 26(1): 23-34.
- Mendoza, D. B., Pantastico, E. B., Javier E. B. 1972.** Storage and handling of rambutan (*Nephilium lappaceum* L.). *Philippine Agriculture* 55: 322-332.
- Menzel, C.M. 1985.** Propagation of lychee: a review. *Scientia Horticulturae* 25: 31-48.
- Miranda, D.F. 1975.** La vegetación de Chiapas. Primera parte. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. p. 12-13.
- Moncur, M.W. 1988.** Floral development of tropical and subtropical fruit and nut species: An atlas of scanning electron micrographs. Printed by Csiro, Melbourne, Australia. 181 p.
- Morton, J. 1987.** Rambutan, pp. 262-265. *In: Fruits of warm climates.* Julia F. Morton (ed.). Miami, FL.
- Nacif, S.R., Paoli, A.A.S., Salomão, L.C.C. 2001.** Morphological and anatomical development of the litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster). *Fruits* 56(4): 225-233.
- Nakano, R., Ogura, E., Kubo, Y., Inaba, A. 2003.** Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiology* 131: 276-286.
- Ong, P.K.C., Acree, T.E., Lavin, E.H. 1998.** Characterization of Volatiles in Rambutan Fruit (*Nephelium lappaceum* L.). *Journal for Agricultural Food Chemistry* 46(2): 611-615.
- Pandey, R.M., Sharma, H.C. 1989.** The litchi ICAR, New Delhi, India, 1–79.
- Pantastico, E.B., Pantastico, J.B., Cosico, V.B. 1975.** Some forms and functions of the fruit and vegetable epidermis. *Philippine Journal Biology* 4: 175-197.
- Pérez, R.A., Jürgen, P.A. 2004.** Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología* 20(3): 24-26.
- Peschel, S., Beyer, M., Knoche, M. 2003.** Surface characteristics of sweet cherry fruit: stomata-number, distribution, functionality and surface wetting. *Scientia Horticulturae* 97: 265-278.

- Popenoe, W. 1920.** Manual of the tropical and subtropical fruits. Macmillan Publishing Company, New York. 474 p.
- SAS. 2002.** SAS/STAT Guide for personal Computers. Version 9. SAS Institute N. C. USA. 890 p.
- Singh, P., Singh I.S. 1995.** Physico-chemical changes during fruit development in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Mysore Journal of Agricultural Sciences 29(3): 252-255.
- Tindall, H.D., Menini, U.G., Hodder, A.J. 1994.** Rambutan cultivation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Plant production and protection paper 121. Rome, Italy. 185 p.
- Torre, S., Fjeld, T., Gislerod, H.R., Moe, R. 2003.** Leaf anatomy and stomatal morphology of greenhouse roses grown at moderate or high air humidity. Journal of the American Society for Horticultural Science 128: 598-602.
- Underhill, S.J.R., Critchley, C. 1992.** The physiology and anatomy of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during fruit development. Journal of Horticultural Science 67(4): 437-444.
- Underhill, S.J.R., Simons, D.H. 1993.** Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp desiccation and the importance of postharvest microcracking. Scientia Horticulturae 54: 287-294.
- Van Welzen, P.C., Verheij, E.W.M. 1991.** *Nephelium lappaceum* L. in: Plant Resources of South-East Asia Wageningen: Pudoc No.2. Edible fruits and nuts. Verheij, E.W.M., Coronel, R.E. (eds.). Pudoc, Netherlands.
- Wall, M.M. 2006.** Ascorbic acid and mineral composition of longan (*Dimocarpus longan*), lychee (*Litchi chinensis*) and rambutan (*Nephelium lappaceum*) cultivars grown in Hawaii. Journal of Food Composition and Analysis. 19: 655-663.
- Wilcox C., D., Dove, S.B., Doss, W.M., Greer, D.B. 2002.** UTHSCSA Image Tool. IT Version 3.0. Department of Dental Diagnostic Science. University of Texas Health Science Center, San Antonio Texas, USA. 57 p.
- Yang, C-M., Heilman, J.L. 1991.** Short-term high temperature effects on stomatal behaviors of Rice Plants. I. Occurring at the vegetative stage. Journal of the Agricultural Research of China 40(2): 233-242.
- Yingsanga, P., Srilaong, V., Kanlayanarat, S., Kabanoff, E., McGlasson, W.B. 2006a.** Microscopy studies of the morphology of fruit of 'Rongrien' rambutan method. ActaHorticulturae 712: 461-466.
- Yingsanga, P., Srilaong, V., Kanlayanarat, S. 2006b.** Morphological differences associated with water loss in rambutan fruit 'Rongrien' and 'See-Chompoo'. Acta Horticulturae 712: 453-459.

## V. CAMBIOS FÍSICOS Y BIOQUÍMICOS DURANTE EL DESARROLLO Y SENESCENCIA DE FRUTOS DE RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* Linn.)<sup>1</sup>

### PHYSICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES DURING THE DEVELOPMENT AND SENESCENCE OF RAMBUTAN FRUITS (*Nephelium lappaceum* Linn.)<sup>1</sup>

J. F. Caballero-Pérez<sup>2</sup>; M. L. Arévalo-Galarza<sup>2\*</sup>; C. H. Avendaño-Arrazate<sup>3</sup>; J. Cadena-Iñiguez<sup>4</sup>; G. Valdovinos-Ponce<sup>2</sup>; J. F. Aguirre-Medina<sup>3</sup>

#### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar los cambios físicos y bioquímicos durante el crecimiento, desarrollo y etapa postcosecha de los frutos de rambután de tres selecciones sobresalientes de Tuxtla Chico, Chiapas (RI-148, RI-115 y RI-104). Después de antesis se realizaron evaluaciones físicas y químicas en el crecimiento de los frutos y a la cosecha se evaluaron las características de calidad durante seis días a  $22 \pm 1$  °C y 65 % HR. Los resultados mostraron un patrón de crecimiento simple sigmoideal. Durante el desarrollo los frutos de las selecciones RI-148 y RI-115 tuvieron un peso fresco de 39.27 g y 35.42 g y un contenido de arilo a la cosecha de 44.28 % y 40.90 % respectivamente, mientras que los del RI-104 fueron de menor tamaño (18.51 g) pero con mayor grosor de pericarpio, mostrando menor susceptibilidad a la oxidación. El número y longitud de espiternos del fruto no parecen determinar el grado de obscurecimiento de éste.

**Palabras clave:** desarrollo de fruto, postcosecha, obscurecimiento, pericarpio.

---

<sup>1</sup>Artículo Publicado en la Revista Chapingo Serie Horticultura. 17 (1):31-38. 2011

<sup>2</sup>Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, México. CP 56230. \* Autor responsable: [larevalo@colpos.mx](mailto:larevalo@colpos.mx), Tel. 5959520200 ext. 1571

<sup>3</sup>Campo Experimental Rosario Izapa. INIFAP. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas.

<sup>4</sup>Campus San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Agustín de Iturbide No. 73. Salinas de Hidalgo, Salinas, San Luis Potosí.

## ABSTRACT

The aim of this research was to characterize the physical and biochemical changes during growth, development and postharvest behavior of rambutan fruits in outstanding selections from Tuxtla Chico, Chiapas (RI-148, RI-115 and RI-104). After anthesis chemical and physical parameters were evaluated in fruits, at harvest quality characteristics were performed at  $22 \pm 1$  °C and 65 % RH. The results showed a sigmoidal pattern of growth. During the development, the fruits of the selections RI-148 and RI-115 had a fresh weight of 39.27 g y 35.42 g and aril content at harvest of 44.28 % and 40.90 % respectively, while those of the RI-104 were smaller (18.51 g) but with thicker pericarp, showing less oxidation susceptibility. The number and length of spinterns seems not to be the main factor related to fruit browning.

**Key words: fruit development, postharvest, browning, pericarp.**

## INTRODUCCIÓN

El rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) (Sapindaceae) es un fruto tropical, originario de Malasia e Indonesia, apreciado por su sabor dulce, pulpa jugosa y contenido de vitamina C y riboflavina (Pérez y Jürgen, 2004). Tailandia es el principal productor mundial con 700 000 t, seguido por Indonesia con 350 000 t y Malasia con 70 000 t (Anónimo, 2004). Existen diferentes materiales a nivel mundial: en Malasia, el R-134 y el R-162, en Singapur el Jitlee, y en Tailandia el Rongrien (Lye *et al.* 1987) en los que se han realizado estudios de selección con fines de exportación, a partir de variables químicas y físicas del fruto a la cosecha como son forma, tamaño, color del pericarpio, proporción de arilo, sólidos solubles totales y acidez titulable (Nakasone y Paull, 1998; Vargas, 2003). Andrade *et al.* (2008) caracterizaron dos selecciones de rambután (B-03 y F-16) cultivadas en Brasil, con base en el tamaño del fruto, grosor del pericarpio, tamaño y peso de la semilla. En México, el cultivo de rambután fue introducido a la región del Soconusco, estado de Chiapas entre 1950 y 1960, estimando a la fecha una superficie cultivada de 2,000 hectáreas. En 2008 la producción de rambután fue de 865.6 t, con un valor total de 11.10 millones de pesos, siendo los principales estados productores Chiapas, Tabasco y Nayarit (SIAP, 2008). 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 los primeros materiales introducidos a la región de Tuxtla Chico, Chiapas, se realizaron trabajos de selección de genotipos, considerando el tamaño y peso del fruto, contenido de arilo y volumen de semilla al momento de la cosecha. Sin embargo, aún cuando se han detectado selecciones sobresalientes tales como la RI-148, RI-115 y RI-104, se desconocen sus características de crecimiento y las variables que determinan su calidad comercial (Fraire, 1999). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue caracterizar los cambios físicos y bioquímicos durante el crecimiento, desarrollo y senescencia de frutos de rambután de estos tres genotipos sobresalientes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del experimento y material vegetal**

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Tuxtla el Chico, Chiapas, México; ubicado entre los 14°58' LN, 92°9' LO y altitud de 435 m, con una temperatura media anual de 23.3 °C, 82.7 % HR (INAFED, 2005) y suelo tipo andosol (Pérez y Jürgen, 2004). Se evaluaron los frutos de nueve árboles injertados de 12 años de edad y en etapa reproductiva de las selecciones: RI-148, RI-115 y RI-104 (3 árboles por selección). Cada 15 días después de la anthesis (DDA) se midió el crecimiento y desarrollo de los frutos considerando el diámetro y longitud de 90 frutos por selección (30 frutos por árbol). Por otro lado, cada 20 días se cosecharon 27 frutos por selección (nueve frutos por árbol) para determinar su desarrollo en peso fresco, porcentaje de pericarpio y arilo, sólidos solubles totales y azúcares totales. Finalmente, para evaluar su calidad se cosecharon 104 frutos por selección, en madurez de consumo, definida por el pericarpio rojo brillante en el 80-90 % de la superficie del fruto que se dividieron en tres grupos (72, 12 y 20 frutos). Para medir las variables químicas (sólidos solubles totales, azúcares totales, acidez titulable y ácido ascórbico) se consideraron 12 frutos por día durante seis días. Al grupo de 12 frutos se les midió durante seis días la pérdida de peso, intensidad respiratoria y grado de oxidación. Finalmente, en los 20 frutos se determinó la longitud y el número de espiternos. Las condiciones de almacenamiento fueron a  $22 \pm 1$  °C y con 65 % HR.

## **Crecimiento y desarrollo del fruto**

Durante el experimento se evaluaron: a) Diámetro y longitud del fruto: el diámetro se midió en la parte ecuatorial del fruto en forma perpendicular a la sutura del pericarpio; para medir la longitud, se consideraron los extremos (apical y basal) del fruto con un vernier digital, los resultados se expresan en milímetros; b) Peso fresco: se determinó con una balanza electrónica (Ohaus Modelo AP210, New Jersey, USA) expresando los resultados en gramos; c) Porcentaje de pericarpio y arilo: se disectaron el pericarpio, el arilo y la semilla de cada fruto y se pesaron independientemente en una balanza electrónica (Ohaus Modelo AP210, New Jersey, USA). La proporción de cada componente del fruto se expresó en porcentaje con relación a su peso total; d) Azúcares totales (AzT): se utilizó el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971), para la solución madre se trituró 1 g de pulpa, se mezcló con 60 ml de etanol (80 %), y se colocó en ebullición por 10 min. De esta solución se tomó 1 ml para ser evaporado en baño maría; posteriormente, se diluyó en agua destilada (60-150 ml). Se tomó 1 ml de esta dilución y se ajustó el volumen a 3 ml con agua destilada en tubos de ensayo que se colocaron en baño de agua fría y se le agregaron 6 ml de la solución de antrona. Posteriormente, los tubos se colocaron en baño maría en ebullición por 3 min, se pusieron en agua fría y al final se leyó la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro (Bausch & Lomb Modelo Spectronic 20, New York, USA), usando una curva estándar de glucosa como referencia; e) Sólidos solubles totales (SST): 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 (Atago Modelo Palette 100, Tokio, Japón). Los resultados se expresaron en grados Brix.

## **Cosecha y senescencia del fruto**

El comportamiento postcosecha de los frutos fue evaluado a través del registro de: a) Número y longitud de espiternos: se realizó a la cosecha, la longitud se midió con un vernier digital, desde el área basal hasta el ápice, expresando los resultados en milímetros; b) Oscurecimiento del fruto: se determinó diariamente durante seis días con base en una escala subjetiva: 1= oxidación total (100 %), 2= oxidación (80 %), 3= oxidación media (50 %), 4= oxidación baja (30 %), 5= sin oxidación (<20 %); c) Pérdida fisiológica de peso: cada fruto se consideró una repetición, reportando la pérdida de peso acumulativa respecto al peso inicial del fruto. El resultado se reportó en porcentaje, de acuerdo con la siguiente fórmula: Pérdida

fisiológica de peso =  $[(\text{Peso inicial}-\text{Peso final})/\text{Peso inicial}] \times 100$ ; d) Intensidad respiratoria: se determinó por cromatografía de gases, de acuerdo con el método estático (Salveit y Sharaf, 1992), utilizando un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard Modelo 5890 Serie II, USA) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID). Se colocaron tres frutos por recipiente (una repetición) con volumen conocido y se cerró durante 1 hora; Posteriormente se tomó una muestra de 1 ml del espacio de cabeza y se inyectó en el cromatógrafo utilizando estándares de dióxido de carbono ( $492 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ ). Se realizaron cuatro repeticiones por selección. Los resultados de intensidad respiratoria se reportaron como  $\text{ml kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ; e) Acidez titulable (AT): se realizó con el método de la AOAC (1990), para lo cual se tomaron 2 ml de jugo del arilo, se agregaron tres gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N. Los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico; f) Ácido ascórbico: se determinó con base en el método del 2,6-diclorofenol indofenol (AOAC, 1990). Se tomó 1 ml de jugo del arilo, el cual fue homogeneizado con 10 ml de ácido oxálico, y del que se tomó una alícuota de 5 ml que se tituló con la solución de Tillman, hasta que el color rosa permaneció visible por un minuto. La cantidad en  $\text{mg}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$  de ácido ascórbico se calculó por referencia con soluciones de ácido ascórbico de concentración conocida.

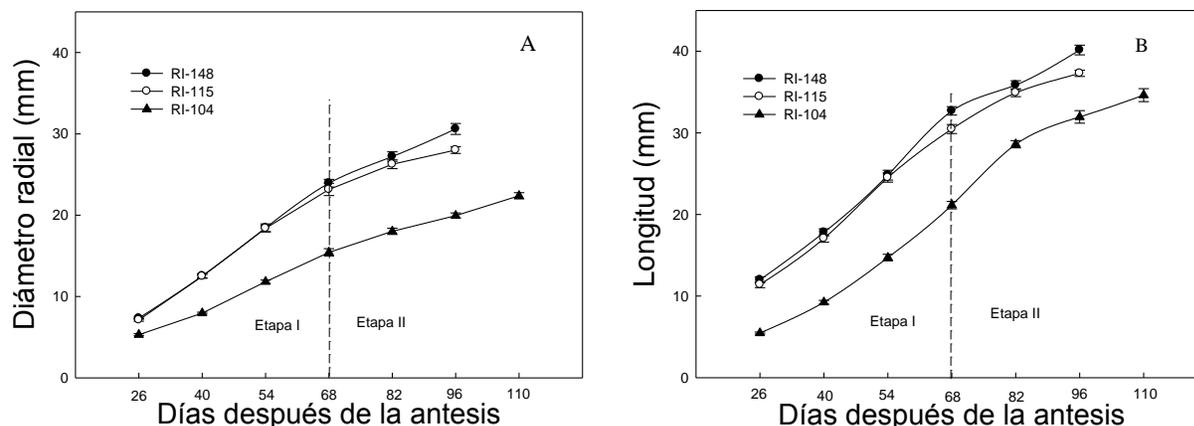
### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos durante el crecimiento: diámetro y longitud; así como las de postcosecha: intensidad respiratoria, pérdida fisiológica de peso y contenido de ácido ascórbico se graficaron en función del tiempo, calculando la media y desviación estándar. Se consideró como tratamiento cada uno de los genotipos evaluados y un fruto como unidad experimental. A los resultados del contenido de pericarpio, arilo y semilla; así como la pérdida fisiológica de peso e intensidad respiratoria, se les realizó un análisis de varianza (diseño completamente al azar), y las medias se compararon con la prueba de Tukey con una  $p \leq 0.05$  (SAS Institute, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento y desarrollo del fruto

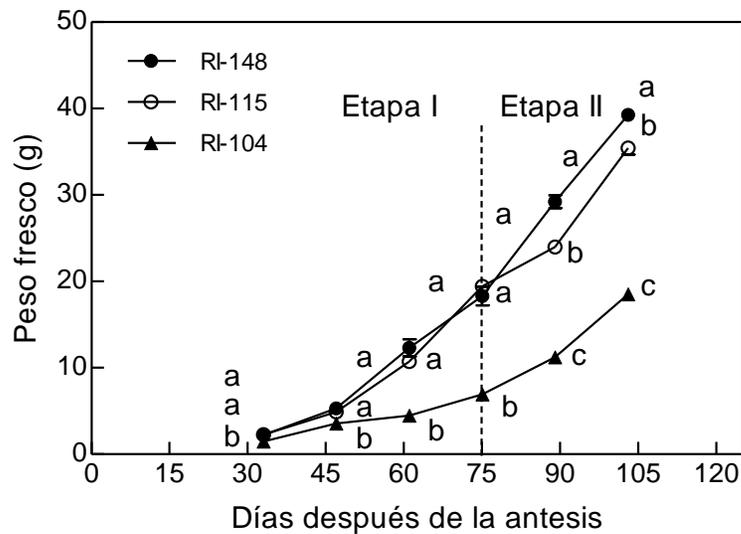
El crecimiento del fruto de rambután es de tipo sigmoideal, dividido en dos etapas, con mayor crecimiento longitudinal que radial. Las diferencias entre selecciones se deben principalmente a la duración de la etapa I, caracterizada por el crecimiento del pericarpio (Figuras 5.1: A, B). Las selecciones RI-115 y RI-148 mostraron mayor velocidad de crecimiento inicial respecto a la selección RI-104. Las selecciones RI-148 y RI-115 alcanzaron su desarrollo a los 96 DDA, mientras que la selección RI-104 lo alcanzó hasta los 110 DDA; determinando así las categorías de desarrollo precoz e intermedio para estas selecciones.



**FIGURA 5. 1. Crecimiento radial (A) y crecimiento longitudinal (B) de frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.). Cada punto representa la media de 90 observaciones  $\pm$  desviación estándar.**

El periodo desde amarre hasta cosecha es similar a lo reportado por Van Welzen *et al.* (1988) en ciertos genotipos de rambután con variaciones de 107 a 111 DDA; pero menor, comparado con lo reportado por Landrigan *et al.* (1996), para el cv. Rongrien en la zona de producción del sureste asiático, cuyos frutos requieren de 105 a 126 DDA hasta la cosecha. En Tailandia, los frutos de rambután son cosechados desde los 90 hasta 120 días después de la floración (Kosiyachinda *et al.*, 1987). Las diferencias en los periodos de crecimiento se atribuyen al estímulo del crecimiento (división y expansión celular) en los periodos iniciales de fruto, competencia por fuentes de carbohidratos o condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa (Köhne y Schutte, 1991; Ryugo, 1993; Schechter *et al.*, 1993).

Con respecto a la acumulación de peso fresco, las selecciones RI-148 y RI-115 mostraron un incremento notable a partir de los 61 DDA, alcanzando alrededor del 50 % de su peso total al día 75. En contraste, la selección RI-104 inició la acumulación a partir del día 75, alcanzando 61 % de su peso a los 89 DDA y un peso fresco final de 18.51 g a los 103 DDA, el cual fue significativamente menor al de los frutos de RI-148 y RI-115; el incremento en la velocidad de crecimiento coincide con el crecimiento y desarrollo de las células del arilo (etapa II) (Figura 5.2).



**FIGURA 5. 2. Incremento de peso fresco de frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.). Cada punto representa la media de 27 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes en el mismo día, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .**

El tamaño del fruto depende de la velocidad de crecimiento durante la primera fase de la división celular del pericarpio, la cual se ve influenciada por la temperatura del aire que promueve un crecimiento temprano a través de los cambios en la tasa o ritmo de división celular (Nitsch, 1953); sin embargo, debido a que las tres selecciones se desarrollaron en el mismo ambiente, las diferencias pueden ser atribuidas mayormente a factores genéticos (Andrade *et al.*, 2008).

En cuanto al contenido de pericarpio, se observaron diferencias significativas entre las selecciones a partir de los 89 DDA. Al final de la evaluación (103 DDA), los frutos con mayor y menor contenido de pericarpio fueron las selecciones RI-104 y RI-148, respectivamente (Cuadro 5.1).

**CUADRO 5. 1. Cambios en el contenido de pericarpio (%) durante el desarrollo de los frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), valores promedio de 27 repeticiones.**

Selección	Días después de la antesis					
	33	47	61	75	89	103
	%					
RI-148	87.15 a <sup>z</sup>	82.90 a	68.55 b	61.60 b	46.21 c	46.99 c
RI-115	89.95 a	88.11 a	72.57 b	58.63 b	49.47 b	50.74 b
RI-104	91.06 a	87.60 a	89.70 a	72.84 a	73.68 a	62.19 a
CV (%)	7.83	9.78	16.38	18.00	7.47	10.45

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación.

El desarrollo de la semilla es detectable a partir de los 33 DDA, mostrando incremento en su proporción con el fruto hasta los 61 DDA para RI-148 y RI-115 y 75 DDA para RI-104; el incremento corresponde al llenado y endurecimiento de los cotiledones (Cuadro 5.2). A los 103 DDA se observó que en la selección RI-104 la semilla representa casi el 20 % del peso del fruto; mientras que en las selecciones RI-148 y RI-115 es de alrededor del 9 %. Kawabata *et al.* (2007) señalan que el desarrollo de la semilla de frutos de rambután cv. Binjai inició antes de la sexta semana y terminó cuatro semanas después con el endurecimiento de los cotiledones. Es posible que la reducción en el peso de la semilla se deba al movimiento de agua desde esta al arilo y pericarpio a partir del día 75 en las tres selecciones; en frutos de litchi se ha reportado un flujo negativo de agua en estados avanzados del embrión y del endocarpio y un flujo positivo en el arilo (Huang y Xu, 1983; Vieira *et al.*, 1996).

**CUADRO 5. 2. Cambios en el contenido de semilla (%) durante el crecimiento de los frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), valores promedio de 27 repeticiones.**

Selección	Días después de la antesis					
	33	47	61	75	89	103
	%					
RI-148	12.85 a <sup>z</sup>	15.35 a	17.29 a	12.57 b	9.66 b	8.73 b
RI-115	10.05 a	11.89 a	17.13 a	12.21 b	10.49 b	8.36 b
RI-104	8.94 a	12.40 a	8.65 b	25.58 a	17.56 a	19.22 a
CV (%)	65.93	61.03	69.85	61.78	30.15	42.50

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación.

La presencia de arilo se observó en los frutos de la selección RI-148 a partir de los 47 DDA; mientras que en las selecciones RI-115 y RI-104 fue a los 61 DDA. El contenido de arilo fue considerablemente mayor en los frutos de las selecciones RI-148 y RI-115, mostrando diferencias significativas con respecto a la selección RI-104 (Cuadro 5.3). Andrade *et al.* (2008), muestran que hay diferencias notables en el contenido de arilo entre selecciones de rambután en Brasil, con 50.83 % en la selección B-03 y 18.04 % en la F-16.

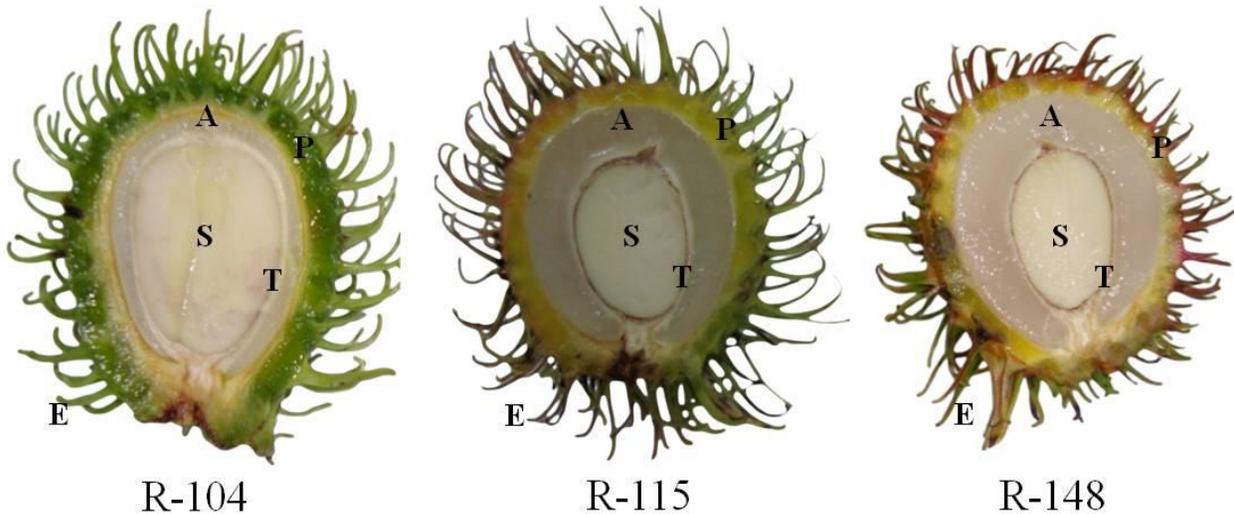
En las selecciones RI-148 y RI-115 se presenta una reducción del pericarpio y semilla (Cuadros 5.1 y 5.2), así como un aumento en el contenido de arilo entre los 61 y 89 DDA; mientras que para la selección RI-104 el crecimiento del arilo se presenta entre los 75 y 103 DDA (Cuadro 5.3), con un contenido de semilla dos veces mayor que las otras selecciones y dos veces menor en el arilo. En este sentido, se ha mencionado que la semilla aporta sustratos al arilo, que ejercen presión sobre el interior del pericarpio durante el crecimiento y desarrollo (Cheng, 1984; Joubert, 1986).

**CUADRO 5. 3. Cambios en el contenido de arilo (%) durante el desarrollo de los frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), valores promedio de 27 repeticiones.**

Selección	Días después de la antesis					
	33	47	61	75	89	103
RI-148	ND <sup>z</sup>	1.75	14.16 a <sup>y</sup>	25.28 a	43.47 a	44.28 a
RI-115	ND	ND	10.31 a	29.16 a	39.98 b	40.90 a
RI-104	ND	ND	1.64 b	1.58 b	8.76 c	18.59 b
CV (%)	-	-	85.62	35.03	15.47	19.49

<sup>z</sup>ND= No detectado. <sup>y</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación.

En la Figura 5.3 se muestran las diferencias morfológicas entre los componentes del fruto a los 89 DDA; en la selección RI-104 se presenta menor desarrollo del arilo con un pericarpio y testa de la semilla más gruesos, mientras que las selecciones RI-115 y RI-148 tienen mayor proporción de arilo, y en consecuencia pericarpio y testa más delgados.



**FIGURA 5. 3. Diferencias en la proporción de semilla, arilo y pericarpio de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) a los 89 DDA. Componentes del fruto: semilla (S), arilo (A), pericarpio (P), testa (T) y espiternos (E).**

Con respecto a los cambios bioquímicos, la acumulación de azúcares totales (AzT) en los frutos, fue diferencial entre selecciones. En RI-148 inició con 1.45 % a los 47 DDA; mientras que en las selecciones RI-115 y RI-104 fue de 6.93 % y 2.50 % a los 61 DDA, respectivamente. La acumulación máxima de AzT se presentó entre los 89 y 103 DDA. La selección RI-115 mostró una acumulación de azúcares significativamente menor a los 103 DDA (Cuadro 5.4).

**CUADRO 5. 4. Cambios en las variables bioquímicas de los frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) durante el desarrollo, valores promedio de 27 repeticiones.**

Selección	Días después de la antesis					
	33	47	61	75	89	103
Azúcares totales (%)						
RI-148	ND <sup>z</sup>	1.45	7.09 a <sup>y</sup>	8.83 a	14.35 a	16.24 a
RI-115	ND	ND	6.93 a	8.29 a	13.12 a	13.17 b
RI-104	ND	ND	2.50 b	2.56 b	5.34 b	16.24 a
CV (%)	-	-	32.75	24.31	23.38	19.70
Sólidos solubles totales (°Bx)						
RI-148	ND	1.7	8.64 a	11.22 a	15.81 a	16.39 b
RI-115	ND	ND	8.63 a	11.21 a	16.74 a	17.95 a
RI-104	ND	ND	2.54 b	5.45 b	9.79 b	17.78 a
CV (%)	-	-	37.33	25.19	11.48	8.28

<sup>z</sup>ND= No detectado. <sup>y</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación.

En las selecciones RI-115 y RI-104 la acumulación de SST inició a los 61 DDA, en contraste en la selección RI-148 la acumulación inició a los 47 DDA alcanzando a los 103 DDA un valor final de 16.39 °Bx, significativamente menor al resto de las selecciones (Cuadro 5.4). Los resultados son similares a los que se reportan en materiales de Costa Rica, como el R-134 con 18.3 °Bx o de Brasil con el genotipo B-67 con 19.5 °Bx (Vargas, 2003; Andrade *et al.*, 2008). En el caso de litchi se ha observado que la acumulación de azúcares en el arilo excede la tasa de multiplicación y expansión de las células; ocurriendo la acumulación de azúcares una vez

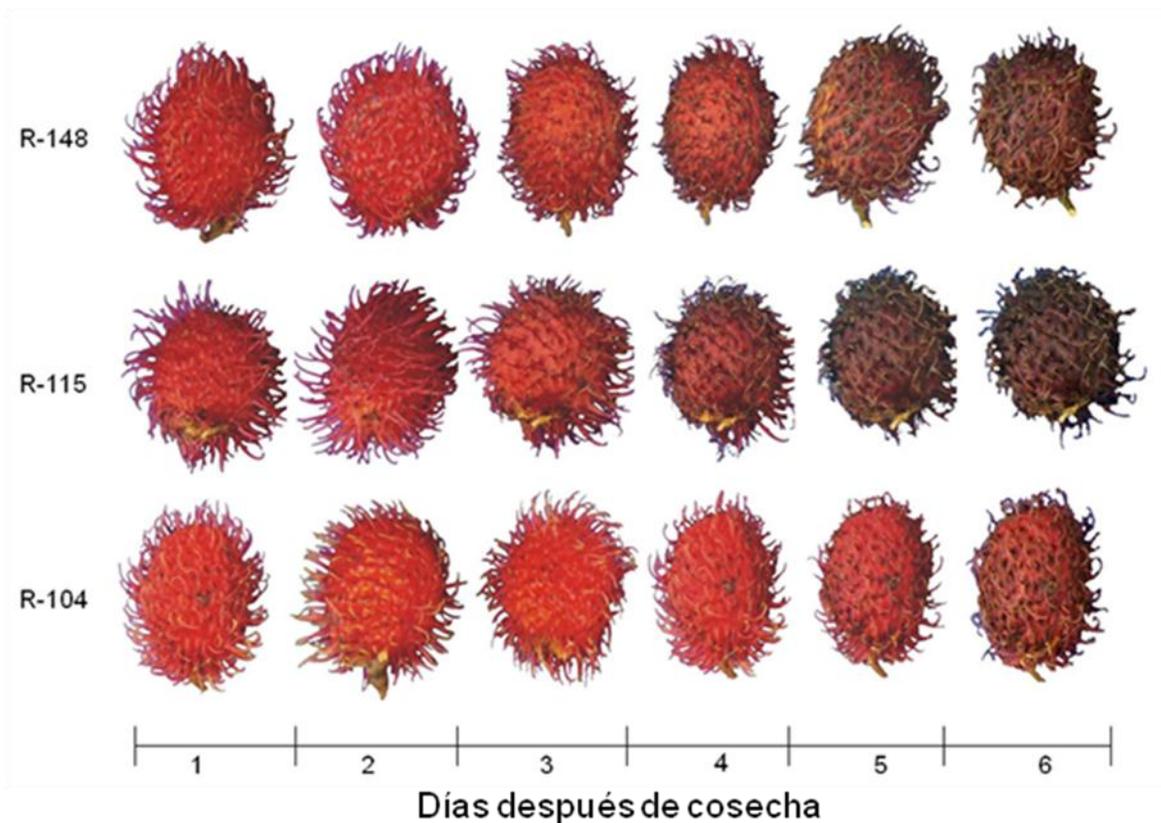
que el fruto inicia la maduración, lo que muestra que la demanda del arilo es activada por cambios internos del metabolismo (Huang, 2005).

### **Cosecha y senescencia del fruto**

En el cuadro 5.5 se observa que los frutos de la selección RI-148 tuvieron un número de espiternos mayor, pero de menor longitud, mientras que la selección RI-115 tuvo el menor número de espiternos por fruto. El tiempo de oxidación de los frutos entre selecciones fue diferente, los frutos de RI-115 mostraron el 30% de oxidación a los dos días de la cosecha (DDC), los de RI-148 fue a los 3 DDC y la selección RI-104 a los 4 DDC, logrando mantener por más tiempo el color característico del fruto (Figura 5.4). El comportamiento de los frutos de la selección RI-104 se debió posiblemente a que presentó mayor grosor de pericarpio, el cual quizás contribuyó a reemplazar el agua perdida a través de los espiternos, mismos que se conectan vascularmente con el pericarpio. Al respecto Landrigan *et al.*, (1996) mencionan que cuando el fruto muestra pérdidas de peso mayores a 20 %, la oxidación se hace evidente en los espiternos y entonces se extiende hacia el pericarpio en etapas avanzadas de deshidratación.

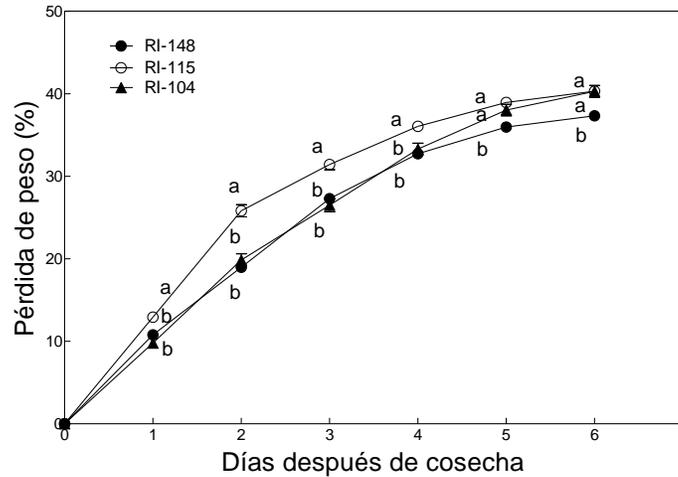
**CUADRO 5. 5. Características morfológicas de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.). Valores promedio de 20 repeticiones ± Desviación Estándar.**

<b>Selección</b>	<b>Número de Espiternos</b>	<b>Longitud del espiterno (mm)</b>
RI-148	357 ± 24.40	10.7 ± 2.90
RI-115	314 ± 37.95	11.5 ± 1.92
RI-104	327 ± 29.22	11.9 ± 2.54



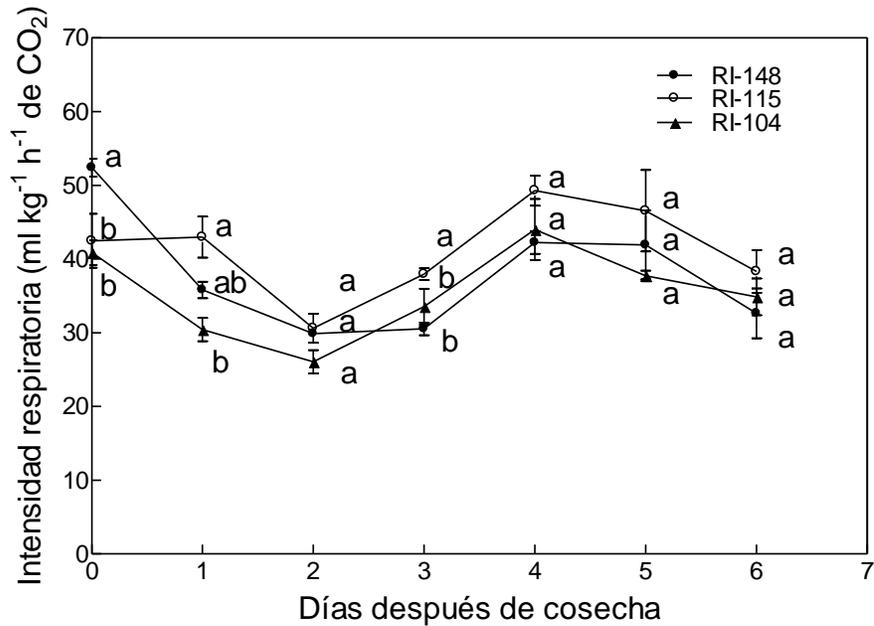
**FIGURA 5. 4. Cambios en color durante el almacenamiento de frutos de rambután (*Nephelium lappaceumm* Linn.) a  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  y 65 % HR.**

La pérdida de peso en los frutos almacenados de la selección RI-115 fue de 25.91 % con respecto al peso inicial al segundo día después de cosecha; mientras que los frutos de las selecciones RI-148 y RI-104 tuvieron pérdidas del 18.79 % y 20.00 % respectivamente al mismo día (Figura 5.5). Al quinto día después de la cosecha, la pérdida de peso fue de 39.06 %, 38.00 % y 35.88 % para las selecciones RI-115, RI-104 y RI-148, respectivamente. De lo anterior se puede observar que la selección RI-115 aunque tiene menor número de espiternos con longitud intermedia tiene mayores pérdidas de peso que los frutos de las selecciones RI-148 y RI-104 a los 4 DDC, periodo dentro del cual es más evidente la oxidación de los espiternos y pericarpio. Se ha mencionado que la pérdida de peso del fruto de rambután es directamente proporcional al número de espiternos del fruto; sin embargo, es importante considerar la densidad estomática en los espiternos de estas selecciones, que influye en la cantidad de oxígeno disponible para la actividad de las enzimas polifenol-oxidasa y peroxidasa, presentes en el tejido y responsables del oscurecimiento (Yingsanga *et al.*, 2008).



**FIGURA 5. 5. Pérdida de peso en frutos de rambután (*Nephelium lappaceumm* Linn.) almacenados a  $22 \pm 1$  °C y 65 % HR. Cada punto representa la media de 12 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes en el mismo día, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .**

El patrón respiratorio de las tres selecciones fue comparable, mostrando un comportamiento no climatérico con valores entre 26.07 y 52.4  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  (Figura 5.6). Valores similares se reportan en frutos cv. Jit Lee con 62  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  a 25 °C y para frutos del cv. Rongrien con 76.35  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  con cuatro días de almacenamiento a 13 °C (McLauchlan *et al.*, 1994; Wongs y Kanlayanarat, 2005).



**FIGURA 5. 6. Intensidad respiratoria en frutos de rambután (*Nephelium lappaceumm* Linn.) almacenados a  $22 \pm 1$  °C y 65 % HR. Cada punto representa la media de cuatro observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes en el mismo día, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ .**

El rambután siendo fruto no climatérico, durante el período postcosecha no muestra variación en el contenido de AzT y SST (Cuadro 5.6). La AT expresada como porcentaje de ácido cítrico se mantuvo con poca variación durante el período postcosecha, con valores similares a lo reportado por Kader (2006) de 0.36 %. La selección RI-104 presentó una acidez de 0.46% a los seis días de almacenamiento, significativamente mayor que las otras dos selecciones.

**CUADRO 5. 6. Cambios en las variables bioquímicas de los frutos de tres selecciones de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) durante el almacenamiento a  $22 \pm 1$  °C y 65 % HR, valores promedio de 12 repeticiones.**

Selección	Días después de cosecha					
	1	2	3	4	5	6
Azúcares totales (%)						
RI-148	14.83 a <sup>y</sup>	13.29 a	15.95 a	14.94 a	16.33 a	14.71 b
RI-115	14.15 a	13.36 a	16.57 a	16.56 a	15.10 a	16.23 ab
RI-104	15.91 a	15.54 a	17.62 a	17.04 a	16.73 a	17.47 a
CV (%)	18.68	18.94	11.99	15.47	15.07	14.15
Sólidos solubles totales (°Bx)						
RI-148	17.98 a	17.60 b	18.53 a	16.57 b	18.87 b	18.68 b
RI-115	18.09 a	18.57 ab	17.93 a	18.13 ab	19.37 ab	19.22 ab
RI-104	18.91 a	20.29 a	19.34 a	19.08 a	20.73 a	20.09 a
CV (%)	8.45	10.07	9.24	13.29	8.65	6.89
Acidez titulable (%)						
RI-148	0.37 ab	0.38 ab	0.37 a	0.25 b	0.32 ab	0.32 b
RI-115	0.30 b	0.33 b	0.27 b	0.28 b	0.25 b	0.35 b
RI-104	0.43 a	0.45 a	0.39 a	0.38 a	0.40 a	0.46 a
CV (%)	23.48	20.97	23.39	30.69	23.59	20.69

<sup>y</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación.

Finalmente, el contenido de ácido ascórbico entre la cosecha y el sexto día de almacenamiento varió significativamente de 31.15 a 16.33 mg·100 ml<sup>-1</sup> para RI-148; de 25.12 a 14.91 mg·100 ml<sup>-1</sup> para RI-115 y de 28.27 a 14.19 mg·100 ml<sup>-1</sup> para RI-104. Al respecto Paull y Chen (1987) reportan un comportamiento similar en rambután, con pérdidas del 61 % de ácido ascórbico entre la cosecha y seis días de almacenamiento.

## CONCLUSIONES

El crecimiento de los frutos de rambután fue simple sigmoideal, característica de especies de la familia Sapindaceae. Durante el crecimiento de los frutos, las selecciones RI-148 y RI-115 fueron más precoces en alcanzar la madurez de consumo, mayor tamaño y acumulación de arilo, así mismo, presentaron menor porcentaje de volumen de semilla al momento de la cosecha; mientras que los frutos de RI-104 tuvieron mayor contenido de pericarpio y semilla. Los cambios bioquímicos como el contenido de azúcares y acidez de las tres selecciones son similares a las variedades comerciales reportadas para rambután. El número y tamaño de los espiternos del fruto no parece ser el factor determinante en la susceptibilidad a la oxidación del fruto. Después de la cosecha los frutos de rambután muestran una tasa de respiración moderada con un comportamiento no climatérico, con cambios bioquímicos poco significativos. La selección RI-104 tiene menor susceptibilidad a la oxidación con un contenido de azúcares aceptable; sin embargo, tiene una proporción de arilo muy baja.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1990.** Association of Official Analytic Chemists. William Horwitz (ed.). 12<sup>th</sup> edition. Washington, D. C., USA. 1094 p.
- Cheng, R.Y. 1984.** Seeded and seedless fruits growth of "Sah Keng" Litchi. *Journal Agriculture Research China* 33: 257-264.
- Andrade, R.A., De Macedo, L.E.G., Geraldo, M.A.B., Paula, R.C., Pitta, J.J.L. 2008.** Caracterização morfológica e química de frutos de rambután. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal-SP* 30(4): 958-963.
- ANÓNIMO. 2004.** Compendio sobre las frutas tropicales. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 16 p.
- Fraire, V.G. 1999.** Informe Técnico del Campo Experimental Rosario Izapa. CIRPS-INIFAP-SAGDR. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 34 p.
- Huang, H., Xu, J. 1983.** The developmental patterns of fruit tissues and their correlative relationships in *Litchi chinensis* Sonn. *Scientia Horticulturae* 19: 335-342.
- Huang, H.B. 2005.** Fruit set, development and maturation: A. Litchi, pp. 115-137. *In: Litchi and longan botany production and uses.* Menzel, C. M.; Waite, G. K. (eds.). CAB International, Wallingford, USA.

- INAFED. 2005.** Los municipios del estado de Chiapas. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los municipios de México.  
[www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm](http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm)  
 (Consultado el 26 de julio, 2010).
- Joubert, A.J. 1986.** Litchi, pp. 233-246. *In: CRC handbook of fruit set and development.* Monselisse, S. P. (ed.). CRC Press, Boca Raton, Fla., USA.
- Kader, A.A. 2006.** Rambután (Mamón Chino) Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. University of California, Davis. Postharvest Technology Research & Information Center. Davis, California, USA. 2 p.
- Kawabata, A.M., Nago, M.A., Tsumura, T., Aoki, D.F., Hara, K.Y., Pena, L.K. 2007.** Phenology and Fruit Development of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) Grown in Hawai'i. *Journal Hawaiian Pacific Agriculture* 14: 31-39.
- Köhne, J.S., Schutte, J.M. 1991.** Increasing Hass fruit size. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 14: 38-40.
- 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.
- Landrigan, M., Morris, S.C., Eamus, D., McGlasson, W.B. 1996.** Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Scientia Horticulturae* 66: 201-208.
- Lye, T., Lamski, S., Maspol, P., Yong, S.K. 1987.** Commercial Rambutan Cultivars in ASEAN. pp. 9-15. *In: Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN.* Lam P. F.; Kosiyachinda S. (eds.). ASEAN Food Handling Bureau. Jakarta, Indonesia. 82 p.
- McLauchlan, R.L., Barker, L.R., Prasad, A. 1994.** Temperature effects on respiration of rambutan and carambola, pp. 38-39. *In: Queensland Department of Primary Industries, Horticulture Postharvest Group Biennial Review.* McLauchlan, R; Meiburg, G.; Bagshaw, J. (eds). Department of Primary Industries, Brisbane, Qld.
- Nakasone, H.Y., Paull, R.E. 1998.** Tropical fruits. CAB International. New York. USA. 445 p.
- Nitsch, J.P. 1953.** The physiology of fruit growth. *Annual Review of Plant Physiology* 4: 199-236.
- Paull, R.E., Chen, J.N. 1987.** Changes in longan and rambutan during postharvest storage. *Hortscience* 22(6): 1303-1304.
- Pérez, R.A., Jürgen, P.A. 2004.** Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología* 20(3): 24-26.

- Ryugo, K. 1993.** Fruticultura ciencia y arte. AGT Editor S. A., D.F., México. 460 p.
- SAS. 2002.** SAS/STAT Guide for personal Computers. Version 9. SAS Institute N. C. USA. 890 p.
- SIAP. 2008.** Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (Consultado el 26 de julio, 2010).
- Salveit, M.E., Sharaf, A.R. 1992.** Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(5): 793-798.
- Schechter, I., Proctor, J.T.A., Elfving, D.C. 1993.** Characterization of seasonal fruit growth of 'Idared' apple. *Scientia Horticulturae* 54: 203-210.
- Van Welzen, P.C., Lamb, A., Wong, W.W.W. 1988.** Edible Sapindaceae in Sabah. *Nature Malaysiana* 13: 10-25.
- Vargas, A. 2003.** Descripción morfológica y nutricional del fruto de rambutan (*Nephelium lappaceum*). *Agronomía mesoamericana* 14(2): 201-206.
- Vieira, G., Luiz, F.F., Luiz, E.A. 1996.** Growth and development of litchi fruit cv Brewster. *Bragantia Campinas* 55(2): 325-328.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M. 1971.** Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. 245 p.
- Wongs, A.C., Kanlayanarat, S. 2005.** CaCl<sub>2</sub> applications on storage quality of rambutan. *Acta Horticulturae* 687: 213-217.
- Yingsanga, P., Srilaong, V., Kanlayanarat, S., Noichinda, S.; McGlasson, W.B. 2008.** Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn) cvs. Rongrien and See-Chompoo. *Postharvest Biology and Technology* 50: 164-168.

## VI. APLICACIONES PRECOSECHA DE $\text{CaCl}_2$ Y ÁCIDO ABCSÍCICO EN LA REDUCCIÓN DEL OSCURECIMIENTO DE FRUTOS DE RAMBUTÁN

(*Nephelium lappaceum* Linn.)

### PREHARVEST APPLICATIONS OF $\text{CaCl}_2$ AND ABSCISIC ACID IN THE REDUCTION OF PERICARP BROWNING OF RAMBUTAN FRUITS (*Nephelium lappaceum* Linn.)

J. F. Caballero-Pérez<sup>1</sup>; M. L. Arévalo-Galarza<sup>1\*</sup>; C. H. Avendaño-Arrazate<sup>2</sup>;  
J. Cadena-Iñiguez<sup>3</sup>; G. Valdovinos- Ponce<sup>1</sup>; J. F. Aguirre-Medina<sup>4</sup>; A. Sandoval-Esquivas<sup>2</sup>;  
R. Joo-Ayar.

#### RESUMEN

Con la finalidad de evaluar los efectos del cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y ácido abscísico (ABA) en la reducción de la oxidación y deshidratación del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) se realizaron aplicaciones quincenales en etapa precosecha de soluciones de  $\text{CaCl}_2$  (0.1 y 0.2 M) y ABA ( $10^{-6}$  M) solos ó combinados. Para ello se realizaron dos experimentos, en el experimento 1, se evaluaron las selecciones RI-148, RI-115, RI-104, RJA y la variedad Ex-mood, realizándose tres aspersiones precosecha (31, 17 y 2 días antes de cosecha), mientras que en el experimento 2 solo se evaluó la selección RJA y la variedad Ex-mood, con cinco aspersiones precosecha (62, 46, 31, 17 y 2 días antes de la cosecha). Los resultados del primer experimento mostraron que los tratamientos  $\text{CaCl}_2$  (0.2 M) y  $\text{CaCl}_2$  (0.2 M) + ABA ( $10^{-6}$  M) redujeron las pérdidas de peso en frutos de la selecciones RI-148 y RI-104, mientras que en la selección RJA el tratamiento  $\text{CaCl}_2$  (0.1 M) + ABA ( $10^{-6}$  M) tuvo mayor efecto en reducir las pérdidas de peso. En el experimento 2 los frutos de RJA respondieron mejor a los tratamientos ABA ( $10^{-6}$  M) y  $\text{CaCl}_2$  (0.1 M) + ABA ( $10^{-6}$  M). En ambos experimentos, los frutos de rambután de la variedad Ex-mood no respondieron a ninguno de los tratamientos. Las variables de calidad como

---

<sup>1</sup>Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, México. CP 56230. \* Autor responsable: [larevalo@colpos.mx](mailto:larevalo@colpos.mx), Tel. 5959520200 ext. 1571

<sup>2</sup>Campo Experimental Rosario Izapa. INIFAP. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas.

<sup>3</sup>Campus San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Agustín de Iturbide No. 73. Salinas de Hidalgo, Salinas, San Luis Potosí.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Belisario Domínguez, kilometro 1081, Sin Número, Terán Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29050

contenido de ácido ascórbico, azúcares totales, grados Brix y acidez, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de cada genotipo.

**Palabras clave: calcio, ácido abscísico, pérdida de peso, pericarpio, oscurecimiento.**

### ABSTRACT

With the purpose to evaluate the effects of the calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ ) and abscisic acid (ABA) in the decrease of browning and dehydration of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) it was carried out a study on preharvest application, by means of aspersions of solutions of  $\text{CaCl}_2$  (0.1 and 0.2 M), ABA  $10^{-6}$  M, mixed and alone. There were carry out two experiments in the first one there were three aspersions to the fruits of selections RI-148, RI-115, RI-104, and the variety Ex-mood RJA (31, 17 and 2 days before harvest). In the experiment 2, the selection RJA and Ex-mood variety were evaluated with five aspersions RJA (62, 46, 31, 17 and 2 days before harvest). The results of the first experiment shown that under the treatments  $\text{CaCl}_2$  (0.2 M) and  $\text{CaCl}_2$  (0.2 M) + ABA ( $10^{-6}$  M) reduced the weight losses in fruits of RI-148 y RI-104 selections, for RJA selection the best treatment for lower weight losses was  $\text{CaCl}_2$  (0.1 M) + ABA ( $10^{-6}$  M). On the experiment 2, the fruits of RJA selection responded better to the treatments ABA ( $10^{-6}$  M) and  $\text{CaCl}_2$  (0.1 M) + ABA ( $10^{-6}$  M), shown lower weight loss. In both experiments, the fruits of rambutan of Ex-mood variety didn't show significant reductions on the weight losses due to the effect of the treatments. The quality variables like ascorbic acid content, total sugars, grades brix and acidity, they didn't have significant differences among the treatments for every genotype.

**Key words: calcium, abscisic acid, weight loss, pericarp, browning.**

### INTRODUCCIÓN

El rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) se desarrolla en regiones tropicales húmedas del sureste Asiático (Tindall *et al*, 1994) similares a las que prevalecen en la zona del Soconusco, Chiapas, México (Pérez y Jürgen, 2004). Esta especie fue introducida desde hace mas de cuatro décadas y se ha usado como sombra de cafetales y en los huertos de traspatio (Vanderlinden *et al.*, 2004). En la actualidad existen huertas comerciales en producción en las comunidades de Tuxtla Chico, Cacahoatán y Huehuetán, Chiapas en donde se tiene material

criollo y materiales sobresalientes como las selecciones RI-148, RI-115, RI-104, RJA y la variedad Ex-mood (Fraire, 1999). Sin embargo, el oscurecimiento del pericarpio y espiternos (protuberancias carnosas) se hace presente poco después de la cosecha, reduciendo su vida de anaquel y valor comercial (Huang *et al.*, 1990). Estudios anteriores han mostrado que la morfología del fruto afecta la pérdida del color rojo característico debido a la presencia de estomas en los espiternos los cuales permiten la salida de agua del fruto (Wongs y Kanlayanarat, 2005; Yingsanga *et al.*, 2006). Se ha mencionado que las condiciones de alta humedad relativa y temperatura durante el crecimiento y desarrollo del fruto del rambután, provocan la pérdida de la funcionalidad de los estomas permaneciendo abiertos, por lo cual cuando el fruto se cosecha y transfiere a condiciones de baja humedad relativa, la deshidratación del fruto se acelera provocando pérdida de la calidad (Torre *et al.*, 2003; Caballero *et al.*, 2011). Diversos estudios mencionan que el cierre estomático es promovido la temperatura, luminosidad y reguladores del crecimiento como ácido abscísico, el cual interviene en la transducción de señales químicas durante el cierre estomático e incrementa la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el citosol bajo situaciones de estrés hídrico (Leung y Giraudat, 1998; Weyers y Paterson, 2001; Vavasseur y Raghavendra, 2005). Se ha mostrado que cuando las concentraciones de ácido abscísico en el tejido vegetal se encuentran por arriba de lo normal, se incrementa la sensibilidad del estoma, tendiendo a permanecer cerrado por más tiempo, lo cual aumenta la resistencia a la pérdida de agua. La aplicación exógena de  $\text{CaCl}_2$  también ha probado reducir el grado de apertura estomática (Webb y Hetherington, 1997; Neill *et al.* 2002). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la aplicación precosecha de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ : 0.1 y 0.2 M) y ácido abscísico ( $10^{-6}$  M) solos y combinados sobre el comportamiento estomático, y reducir las pérdidas de agua de los frutos de rambután durante la etapa postcosecha.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización y material vegetal**

Las huertas en donde se realizaron los experimentos fueron en el Rancho “La Chinita”, ubicado en el Km 4.5 de la carretera Huehuetán estación-Nueva Victoria, municipio de Huehuetán, entre los 15° 00' LN y 92° 26' LO, altitud de 25 m, temperatura media anual de 28 °C y 80 % HR, con precipitación media anual de 2,326 mm (INAFED, 2005) y el campo

experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Tuxtla el Chico, Chiapas, México; ubicado entre los 14°58' LN, 92°9' LO y altitud de 435 m, la temperatura media anual es de 23.3 °C y 82.7 % HR (INAFED, 2005), suelo tipo andosol-mólico (Pérez y Jürgen, 2004) y una precipitación media anual de 3134 a 4025 mm (Estación Agroclimática Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP, Zona Pacífico Sur).

La investigación se dividió en dos experimentos, en el experimento 1 se evaluaron los materiales RI-148, RI-115, RI-104 ubicados en el campo experimental Rosario Izapa y la selección RJA y la variedad Ex-mood ubicados en el Rancho “La Chinita”, todos los arboles están injertados de 12 años de edad (Figura 6.1). Se realizaron tres aspersiones (31, 17 y 2 días antes de la cosecha). El experimento 2 se llevo a cabo en el Rancho “La Chinita” con la selección RJA y la variedad Ex-mood realizándose cinco aspersiones (62, 46, 31, 17 y 2 días antes de la cosecha). Los tratamientos en ambos experimentos fueron los siguientes:

Tratamientos:

**T1:** Agua (Testigo)

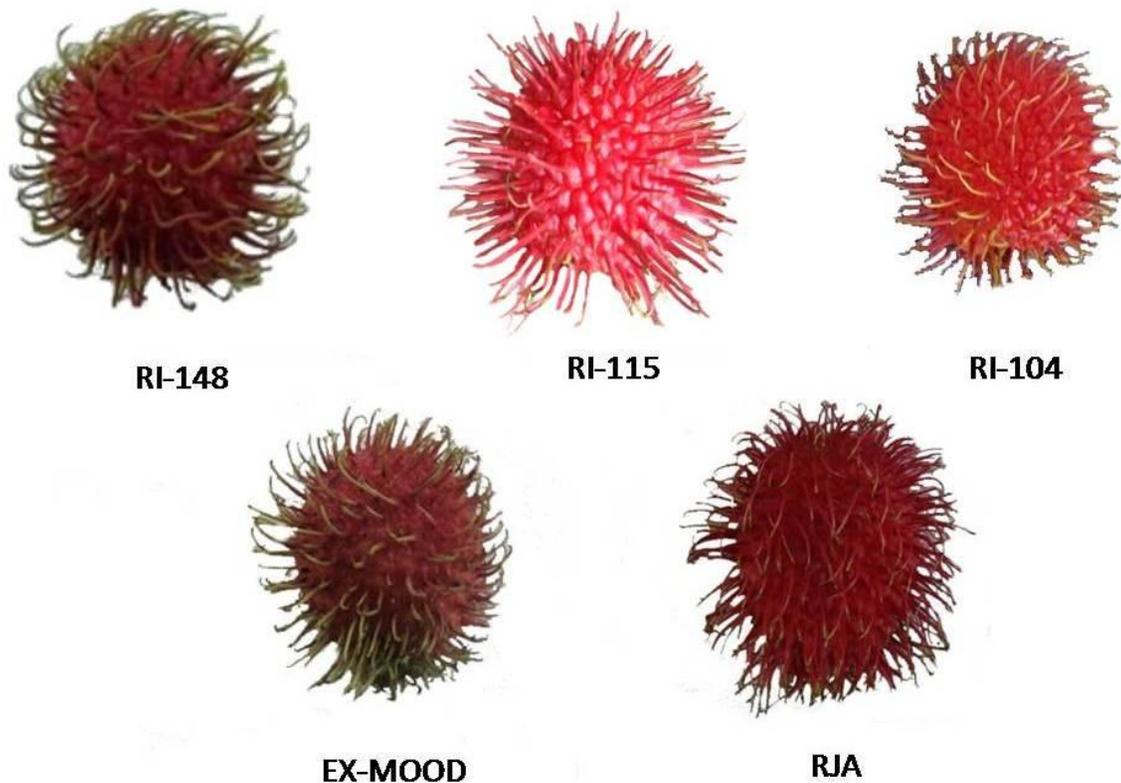
**T2 :** CaCl<sub>2</sub> (0.1 M)

**T3 :** CaCl<sub>2</sub> (0.2 M)

**T4 :** Ácido abscísico (ABA) (10<sup>-6</sup> M)

**T5 :** CaCl<sub>2</sub> (0.1 M) + ABA (10<sup>-6</sup> M)

**T6 :** CaCl<sub>2</sub> (0.2 M) + ABA (10<sup>-6</sup> M)



**FIGURA 6. 1. Genotipos de rambután (*Nephelium lappaceumm* Linn.) cultivados en la zona del Soconusco, Chiapas, México.**

**Experimento 1:** Se eligieron 30 racimos con frutos inmaduros con pericarpio color amarillo y espiternos verdes (ocho semanas después de la antesis) ubicados en el segundo tercio de árboles correspondientes a las selecciones RJA, RI-148, RI-115, RI-104 y la variedad Ex-mood que fueron asperjados tres veces, con las soluciones antes descritas. Por genotipo se cosecharon 345 frutos, en madurez de consumo (definida por el pericarpio rojo brillante en el 80-90 % de la superficie del fruto). El material cosechado se dividió en tres grupos de 15, 90 y 240 frutos y se mantuvieron a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR durante cinco días. En el grupo de 15 frutos por genotipo se determinó el diámetro y longitud del fruto, la longitud y número de espiternos, el grosor del pericarpio y características estomáticas (apertura, densidad y número) en el fruto. Para cada genotipo se midió la pérdida de peso y grado de oxidación (oscurecimiento del fruto) de 15 frutos por tratamiento. Las variables bioquímicas (contenido de antocianinas, fenoles totales, azúcares totales, sólidos solubles totales, acidez titulable y ácido ascórbico) se determinaron en ocho frutos por día para cada genotipo y tratamiento.

**Experimento 2:** Se eligieron 30 racimos con frutos inmaduros con pericarpio color verde (cuatro semanas después de la antesis) ubicados en el segundo tercio de árboles de la selección RJA y la variedad Ex-mood que fueron asperjados cinco veces con cada solución descrita anteriormente. Se consideraron los mismos tratamientos del experimento uno aplicados a los frutos a los 62, 46, 31, 17, y 2 días antes de la cosecha. El tamaño de muestra, variables y la frecuencia de las evaluaciones fue similar al experimento uno incluyendo la determinación de la intensidad respiratoria de los frutos. Los frutos se mantuvieron a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR durante cinco días.

## **Variables**

**Pérdida de peso (PP).** Cada fruto se consideró una repetición, reportando la pérdida de peso acumulativa respecto al peso inicial del fruto. El resultado se reportó en porcentaje, de acuerdo con la siguiente fórmula: Pérdida fisiológica de peso =  $[(\text{Peso inicial}-\text{Peso final})/\text{Peso inicial}] \times 100$ .

**Oscurecimiento del pericarpio.** Se determinó diariamente durante cinco días con base en una escala subjetiva: 1=oxidación total (100 %), 2=oxidación (80 %), 3=oxidación media (50 %), 4=oxidación baja (30 %), 5=sin oxidación (<20 %).

**Diámetro y longitud del fruto.** El diámetro se midió en la parte ecuatorial del fruto en forma perpendicular a la sutura del pericarpio; para medir la longitud, se consideraron los extremos (apical y basal) con un vernier digital, los resultados se expresan en milímetros.

**Longitud del espiterno.** La longitud se midió con un vernier digital, desde la base del espiterno hasta la punta.

**Grosor del pericarpio.** Se midió con un vernier digital la sección transversal del pericarpio, desde la base del espiterno hasta la parte interna del fruto.

**Densidad estomática (DE) y estado estomático:** Para determinar la densidad estomática se hicieron impresiones con una resina dental (Xantopren®) del pericarpio del fruto. La resina se aplicó sobre el pericarpio y al secar se desprendió como una impresión en negativo, al cual se le colocó una pequeña cantidad de barniz transparente para uñas. Una vez que la capa de

barniz se polimerizó, se desprendió para formar una impresión en positivo y se colocó con el relieve en forma inversa a su desprendimiento en un portaobjetos. Se obtuvieron tres impresiones de cada sección del espiterno (basal, media y apical), observando y cuantificando los estomas en tres campos visuales por impresión en un microscopio de luz (Carl Zeiss, modelo 392560-9002) a 40 x. Para observar el estado del estoma se tomaron tres fragmentos de pericarpio de aproximadamente 1 cm de longitud. Las muestras se fijaron en glutaraldehído (2.5%) por 24 h, se deshidrataron en etanol (10, 20, 30, 50, 70, 95 y 100%) y se desecaron a punto crítico con CO<sub>2</sub>. Finalmente, el material se colocó sobre bases de aluminio, se cubrió con oro y se observó en un Microscopio Electrónico de Barrido (Jeol, Modelo JSM-5410LV) en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados y se tomaron fotomicrografías en cinco áreas distintas de cada una de las secciones del espiterno en cada muestra. El número de estomas cerrados y abiertos se cuantificó a partir de imágenes digitales con el programa Image Tool versión 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

**Número de estomas del espiterno y en el fruto:** Para determinar la densidad estomática se tomaron espiternos de la base y partes central y superior de cada fruto y estos a su vez se seccionaron en tres (basal, media, apical) para calcular el área en milímetros cuadrados mediante las fórmulas: base ( $(\pi(R+r)h)+(\pi R^2+\pi r^2)$ ), sección media ( $(2\pi rh)+2\pi r^2$ ), sección apical ( $(\pi rh)+\pi r^2$ ), donde R=radio de la base del espiterno, r=radio de la parte superior de la base del espiterno, h= longitud de la sección. Estas fórmulas se plantearon considerando su similitud con los cuerpos geométricos tronco de cono, cilindro recto y cono recto, respectivamente del espiterno. Las mediciones se realizaron con el programa Image Tool versión 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002) a partir de imágenes digitales tomadas con un microscopio estereoscópico de luz (Carl Zeiss, modelo 455022-9902), con adaptación de una cámara de alta resolución Moticam 480. Posteriormente, con los datos de la densidad estomática se calculó el número de estomas por espiterno y el número de estomas por fruto.

**Contenido de antocianinas (Ant).** Diariamente, se pesó 1 g de pericarpio y se cortó en pequeños trozos. De la muestra obtenida, se colocó 0.5 g en 10 ml de solución de etanol con 2 % HCl 1 N. El extracto fue centrifugado (10 000 xg-20 minutos a 4°C). Finalmente, se leyó la absorbancia a 530 nm con un espectrofotómetro (Bausch & Lomb Modelo Spectronic 20, New York, USA). El contenido de antocianinas totales se calculó de acuerdo a Fuleki y Francis (1968).

**Fenoles totales (Fen).** Se determinó con el método de Litwack (1967). En un mortero congelado se maceró 0.1 g de pericarpio, después se agregaron 4 ml de la solución extractora metanol:cloroformo:agua (2:1:1). La solución se centrifugó (700  $xg$ , 15 minutos). Al sobrenadante se le agregó 10 ml de  $Na_2 CO_3$  al 10% y se incubó (38°C, 15 minutos). En tubos de ensaye, se preparó una mezcla para desarrollar color dependiente de la concentración de fenoles, con 1 ml del sobrenadante producido, al cual se agregaron 3 ml de agua y 1 ml de solución de Folin-Ciocalteu, y se dejó en reposo por 15 minutos. Posteriormente, se leyó la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro (Bausch & Lomb Modelo Spectronic 20, New York, USA), usando una curva estándar de fenol como referencia.

**Azúcares totales (AzT).** Se utilizó el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971), para la solución madre se trituró 1 g de pulpa, se mezcló con 60 ml de etanol (80 %), y se colocó en ebullición por 10 min. De esta solución se tomó 1 ml para ser evaporado en baño maría; posteriormente, se diluyó en agua destilada (60-150 ml). Se tomó 1 ml de esta dilución y se ajustó el volumen a 3 ml con agua destilada en tubos de ensayo que se colocaron en baño de agua fría y se le agregaron 6 ml de la solución de antrona. Posteriormente, los tubos se colocaron en baño maría en ebullición por 3 min, se pusieron en agua fría y al final se leyó la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro (Bausch & Lomb Modelo Spectronic 20, New York, USA), usando una curva estándar de glucosa como referencia.

**Sólidos solubles totales (SST).** 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 (Atago Modelo Palette 100, Tokio, Japón). Los resultados se expresaron en grados Brix.

**Acidez titulable (AT).** Se realizó con el método de la AOAC (1990), para lo cual se tomaron 2 ml de jugo del arilo, se agregaron tres gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N. Los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico.

**Ácido ascórbico (Asc).** Se determinó con base en el método del 2,6-diclorofenol indofenol (AOAC, 1990). Se tomó 1 ml de jugo del arilo, el cual fue homogeneizado con 10 ml de ácido oxálico, y del que se tomó una alícuota de 5 ml que se tituló con la solución de Tillman, hasta que el color rosa permaneció visible por un minuto. La cantidad en  $mg \cdot 100 ml^{-1}$  de ácido ascórbico se calculó por referencia con soluciones de ácido ascórbico de concentración conocida.

**Intensidad respiratoria.** Se determinó por cromatografía de gases, de acuerdo con el método estático (Salveit y Sharaf, 1992), utilizando un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard Modelo 5890 Serie II, USA) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID). Se colocaron tres frutos por recipiente (una repetición) con volumen conocido y se cerró durante 1 hora; Posteriormente se tomó una muestra de 1 ml del espacio de cabeza y se inyectó en el cromatógrafo utilizando estándares de dióxido de carbono ( $492 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ ). Se realizaron cuatro repeticiones por selección. Los resultados de intensidad respiratoria se reportaron como  $\text{ml kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ .

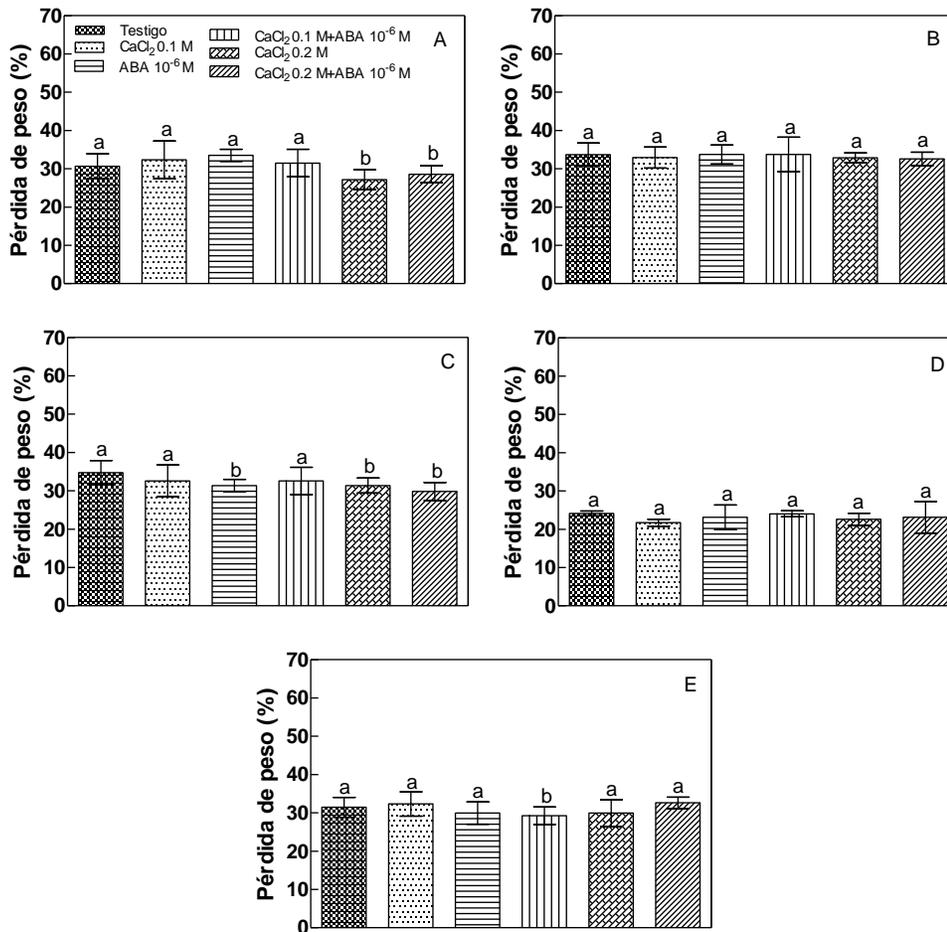
### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Los datos de pérdida de peso se graficaron a cuatro días después de la cosecha, calculando la media y desviación estándar. A los datos de diámetro y longitud del fruto, número y longitud del espiterno, grosor y grado de oscurecimiento del pericarpio, densidad estomática, intensidad respiratoria se les calculó la media y desviación estándar. Durante el periodo de evaluación se tomaron aleatoriamente 8 frutos diariamente por genotipo y por tratamiento (se consideraron dos frutos por repetición) para su análisis. A los resultados de contenido de antocianinas, fenoles totales, azúcares totales, sólidos solubles totales, acidez titulable y ácido ascórbico, se les realizó un análisis de varianza (diseño completo al azar) y comparaciones de medias con la prueba de Duncan con una  $P=0.05$  (SAS Institute, 2002).

## **RESULTADOS**

### **Experimento 1**

A cuatro días después de la cosecha (DDC) se observó que los frutos de RI-104 y RI-148 tratados con  $\text{CaCl}_2$  0.2 M y  $\text{CaCl}_2$  0.2 M + ABA  $10^{-6}$  M tuvieron pérdidas de peso significativamente menores al resto de los tratamientos (Figura 6.2: A y C), mientras que la selección RJA respondió mejor a  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M (Figura 6.2: E). Los frutos de RI-115 y la variedad Ex-mood no respondieron a ninguno de los tratamientos realizados (Figura 6.2: B y D).



**FIGURA 6. 2. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre la pérdida de peso de frutos de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. A) selección RI-148, B) selección RI-115, C) selección RI-104, D) variedad Ex-mood y E) selección RJA. Cada punto representa la media de quince observaciones ± desviación estándar. Letras diferentes en el mismo genotipo, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan a una  $P \leq 0.05$ .**

Los frutos testigo de RI-148, RI-104 y RJA mostraron una oxidación del pericarpio de 40 %, a los cuatro días después de la cosecha, mientras que bajo el tratamiento CaCl<sub>2</sub> 0.2 M los frutos de RJA presentaron menor oxidación del pericarpio (15 %) (Cuadro 6.1) con una PP menor (29.96 %) pero sin mostrar diferencia significativa con el testigo. En contraste en los frutos de RI-104, la oxidación del pericarpio fue de 30 % bajo el mismo tratamiento.

**CUADRO 6. 1. Cambios en el grado de oxidación del pericarpio de los frutos de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), 4 DDC a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR.**

Genotipo	Tratamiento					
	Agua	CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	ABA 10 <sup>-6</sup> M	CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M
RI-148	3.5 ± 0.57	2.5 ± 0.57	2.5 ± 0.57	2.3 ± 0.50	2.5 ± 0.57	2.3 ± 0.50
RI-115	2.5 ± 0.57	1.8 ± 0.50	2.8 ± 0.95	2.3 ± 0.50	2.5 ± 0.57	2.3 ± 0.50
RI-104	3.5 ± 0.57	3.5 ± 0.57	3.8 ± 0.50	2.5 ± 0.57	4.0 ± 0.00	3.5 ± 0.57
Exmood	2.5 ± 0.57	2.5 ± 0.57	2.3 ± 0.50	3.5 ± 0.57	2.0 ± 0.00	3.8 ± 0.50
RJA	3.5 ± 0.57	3.5 ± 0.57	3.5 ± 0.57	3.3 ± 0.50	4.8 ± 0.50	3.3 ± 0.50

Valores promedio de 15 repeticiones ± Desviación Estándar.

1=oxidación total (100 %); 2=oxidación (80 %); 3=oxidación media (50 %); 4=oxidación baja (30 %); 5=sin oxidación (<20 %).

Se observó una baja correlación entre las variables PP y oxidación del pericarpio en los frutos de RJA y RI-104 bajo el tratamiento con CaCl<sub>2</sub> 0.2 M (Cuadro 6.2).

**CUADRO 6. 2. Correlaciones entre variables durante el almacenamiento a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR, de los frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.): A) selección RJA; B) selección RI-104, bajo el tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  0.2 M.**

	X1	X2	X3	X4
<b>A</b>				
X1	1	-0.67	-0.76	-0.96
		0.21	0.13	0.01
X2		1	0.07	0.51
			0.91	0.37
X3			1	0.78
				0.12
X4				1
<b>B</b>				
X1	1	-0.71	-0.93	-0.96
		0.17	0.02	0.01
X2		1	0.54	0.83
			0.34	0.08
X3			1	0.92
				0.03
X4				1

$X_1$ =Pérdida de peso (%);  $X_2$ =Oxidación del pericarpio;  $X_3$ =Contenido de antocianinas ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ );  $X_4$ =Contenido de compuestos fenólicos ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ).

Entre las selecciones se presentaron características morfológicas del fruto diferentes, por ejemplo los frutos de RI-115 y RI-104 fueron de menor tamaño pero similar número de espiternos (Nesp), pero en los frutos de RI-115 los espiternos tuvieron una longitud mayor (Cuadro 6.3), mientras que los frutos de la variedad Ex-mood mostraron dimensiones del fruto semejantes a los anteriores pero con mayor número de espiternos de menor longitud. En contraste los frutos de RI-148 fueron de mayor diámetro y longitud del fruto, lo cual fue comparable con las dimensiones de los frutos de RJA siendo éstos los de mayor número y longitud del espiterno.

**CUADRO 6. 3. Características morfológicas de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) cultivados en la zona del soconusco, Chiapas, México.**

Genotipo	Dimensiones del fruto		Número de espiternos	Longitud del espiterno (mm)	Grosor del pericarpio (mm)
	Diámetro (mm)	Longitud (mm)			
RI-148	40.03±3.45	48.45±2.02	328±20.45	11.72±2.15	3.93±0.70
RI-115	36.46±1.59	46.64±3.34	331±32.93	14.31±1.02	3.67±0.62
RI-104	36.90±2.24	47.76±2.27	322±25.74	12.81±1.99	4.80±0.41
Ex-mood	38.16±1.29	47.44±2.23	339±28.81	11.81±1.84	2.07±0.25
RJA	40.05±2.39	51.38±2.12	401±30.40	13.24±2.00	3.47±0.52

Valores promedio de 15 repeticiones ± desviación estándar.

El porcentaje de estomas cerrados (EC) mostró un incremento significativo en los frutos de RJA tratados con  $\text{CaCl}_2$  0.2 M siendo mayor el efecto en las secciones media y apical de los espiternos (Cuadro 6.4).

**CUADRO 6. 4. Efecto del tratamiento con CaCl<sub>2</sub> 0.2 M sobre el estado estomático a lo largo del espiterno del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) de la selección RJA, a cuatro días después de la cosecha. Valores promedio de 15 repeticiones.**

<b>Sección del espiterno</b>	<b>EA</b>	<b>EC</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>Basal</b>		
Testigo	70.45a	29.54b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	51.29b	48.70a
CV (%)	31.23	37.35
<b>Media</b>		
Testigo	81.86a	18.13b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	25.23b	74.77a
CV (%)	21.81	28.56
<b>Apical</b>		
Testigo	74.24a	25.75b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	38.63b	61.36 <sup>a</sup>
CV (%)	33.07	40.72

<sup>2</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna en cada sección del espiterno son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación. EA = estomas abiertos, EC = estomas cerrados.

En los frutos de RI-104 tratados con CaCl<sub>2</sub> 0.2 M el grosor del pericarpio presentó una disminución paulatina desde 15 %, a la cosecha, hasta 52.5 %, al día cuatro. En contraste los frutos de RJA con el mismo tratamiento mostraron una disminución desde 12.5 % hasta 49 % (Cuadro 6.5).

**CUADRO 6. 5. Efecto del tratamiento con CaCl<sub>2</sub> 0.2 M sobre la disminución del grosor del pericarpio (%) de los frutos de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) a 21 ± 2 °C y 68 % HR.**

Genotipo Tratamiento	Días después de cosecha			
	1	2	3	4
<b>RI-104</b>				
Testigo	27.50 ± 9.57	40.00 ± 14.14	47.50 ± 12.58	57.5 ± 5.00
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	15.00 ± 4.08	37.50 ± 12.58	45.00 ± 5.77	52.5 ± 9.57
<b>RJA</b>				
Testigo	18.75 ± 12.50	46.25 ± 14.93	51.87 ± 7.18	62.50 ± 10.20
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	12.50 ± 14.43	22.75 ± 15.62	37.5 ± 15.84	49.00 ± 12.30

Valores promedio de 8 repeticiones ± Desviación Estándar.

Bajo el tratamiento CaCl<sub>2</sub> 0.2 M los frutos de RJA y RI-104 mostraron un contenido de antocianinas significativamente mayor con valores de 26.73 y 17.56 mg·100 g<sup>-1</sup> respectivamente, así mismo el contenido de fenoles fue significativamente mayor con valores de 22.52 y 12.02 mg·100 g<sup>-1</sup> respectivamente, a los cuatro días después de la cosecha (Cuadro 6.6).

**CUADRO 6. 6. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre el contenido de antocianinas y fenoles totales de los frutos de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Genotipo				
	RI-148	RI-115	RI-104	Ex-mood	RJA
<b>Antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup>)</b>					
Testigo	17.41a <sup>z</sup>	11.30b	8.78b	27.64a	15.35c
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	14.74a	16.26a	18.02a	25.66a	16.04c
ABA 10 <sup>-6</sup> M	10.99a	16.64a	6.94b	24.06a	22.91b
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	13.44a	14.43a	13.43a	17.41b	19.48b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	17.64a	21.30a	17.56a	25.43a	26.73a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	12.37a	14.67a	15.11a	18.55b	29.78a
CV (%)	34.02	33.35	26.39	22.85	16.84
<b>Fenoles totales (mg 100 g<sup>-1</sup>)</b>					
Testigo	7.50b	6.71a	8.47c	9.78a	10.16c
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	6.88b	7.74a	6.68d	10.33a	9.45c
ABA 10 <sup>-6</sup> M	5.22b	7.21a	6.89d	10.57a	18.18b
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	6.26b	8.87a	7.24c	11.06a	11.38c
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	6.83b	9.02a	12.03a	9.63a	22.52a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + 10 <sup>-6</sup> ABA	14.48a	7.45a	10.32b	8.17b	9.24c
CV (%)	19.38	25.23	11.08	17.49	19.14

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

A los cuatro días después de la cosecha los frutos de RJA mostraron menor acumulación de azúcares y sólidos solubles totales (°Bx), mientras que los de mayor acumulación fueron los frutos de RI-115. Los tratamientos de ABA mostraron diferencias significativas en la acumulación de azúcares con respecto al testigo en los frutos de RI-148, RI-104 y RJA (Cuadro 6.7).

**CUADRO 6. 7. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre los azúcares totales y el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Genotipo				
	RI-148	RI-115	RI-104	Ex-mood	RJA
<b>Azúcares totales (g 100 g<sup>-1</sup>)</b>					
Testigo	13.32a <sup>z</sup>	17.54a	16.77a	13.73a	11.58b
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	12.94a	19.59a	15.11a	13.01a	13.22a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	12.30b	20.23a	14.21b	14.86a	12.29b
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	15.75a	17.28a	14.85b	13.22a	11.06c
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	13.96a	15.37b	17.80a	14.55a	11.78b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	12.42b	16.26b	18.70a	13.62a	14.34a
CV (%)	13.36	11.59	14.16	11.6	10.49
<b>Sólidos solubles totales (°Bx)</b>					
Testigo	19.22a	20.00a	19.85a	23.12a	18.40a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	19.32a	19.67a	20.05a	23.40a	16.35a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	18.92a	21.25a	19.92a	22.72a	17.30a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	19.10a	20.42a	20.25a	20.77b	17.47a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	18.85a	19.42a	20.45a	21.87b	17.65a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	19.00a	20.97a	20.55a	24.25a	15.57a
CV (%)	9.19	8.91	5.45	5.84	12.93

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

La acidez titulable expresada como porcentaje ácido cítrico y contenido de Asc no mostraron variaciones entre los tratamientos (Cuadro 6.8).

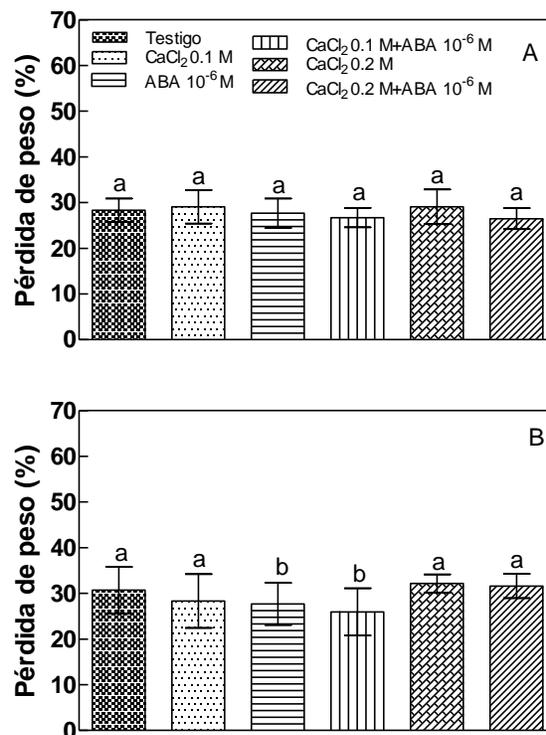
**CUADRO 6. 8 Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre la acidez y el contenido de ácido ascórbico de los frutos de cinco genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Genotipo				
	RI-148	RI-115	RI-104	Ex-mood	RJA
<b>Acidez titulable (%)</b>					
Testigo	0.41a <sup>z</sup>	0.39b	0.51a	0.31a	0.34a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	0.41a	0.56a	0.36b	0.26a	0.34a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.36a	0.59a	0.45a	0.28a	0.37a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.35a	0.41b	0.38b	0.27a	0.32a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	0.32a	0.45b	0.38b	0.29a	0.33a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.45a	0.43b	0.44a	0.28a	0.35a
CV (%)	24.75	18.74	13.41	15.98	15.83
<b>Acido ascórbico (mg 100 ml<sup>-1</sup>)</b>					
Testigo	21.99a	17.73a	13.48b	26.25a	11.35a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	21.99a	15.61a	24.12a	24.12a	11.35a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	21.99a	13.48a	17.74a	19.86a	13.48a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	17.73a	15.61a	17.74a	26.25a	11.35a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	17.73a	19.87a	21.99a	19.86a	15.61a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	21.99a	15.61a	19.87a	21.99a	13.48a
CV (%)	55.16	42.6	28.69	50.92	35.13

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

## Experimento 2

Bajo el tratamiento testigo la PP de los frutos de RJA fue de 30.69 % y en los frutos de la variedad Ex-mood fue de 28.33 %, a los cuatro días después de la cosecha (Figura 6.3: A y B), momento en que la PP de los frutos de RJA bajo los tratamientos  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M y ABA  $10^{-6}$  M fue significativamente menor al resto de los tratamientos (Figura 6.3: B). Los frutos de la variedad Ex-mood no presentaron reducciones significativas en la PP debido al efecto de los tratamientos (Figura 6.3: A).



**FIGURA 6. 3. Efecto de los tratamientos con  $\text{CaCl}_2$  y ácido abscísico sobre la pérdida de peso de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), A) variedad Ex-mood y B) selección RJA, a los cuatro días después de la cosecha a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR. Cada punto representa la media de 15 observaciones  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes en el mismo genotipo, son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan a una  $P \leq 0.05$ .**

Los frutos de RJA mostraron una oxidación del pericarpio de 20 % bajo el tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M y del 30 % bajo el tratamiento con ABA  $10^{-6}$  M con disminución significativa en la PP en ambos casos, a los cuatro días después de la cosecha (Cuadro 6.9).

**CUADRO 6. 9. Cambios en el grado de oxidación del pericarpio de los frutos de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) a los cuatro días después de la cosecha a  $21 \pm 2$  °C y 68 % HR.**

Genotipo	Tratamiento					
	Testigo	$\text{CaCl}_2$ 0.1 M	ABA $10^{-6}$ M	$\text{CaCl}_2$ 0.1 M + ABA $10^{-6}$ M	$\text{CaCl}_2$ 0.2 M	$\text{CaCl}_2$ 0.2 M + ABA $10^{-6}$ M
Exmood	2.6 ± 0.54	1.8 ± 0.44	1.8 ± 0.44	3.7 ± 0.44	3.6 ± 0.54	2.6 ± 0.54
RJA	3.4 ± 0.41	3.7 ± 0.44	4.3 ± 0.44	4.6 ± 0.41	2.7 ± 0.67	2.7 ± 0.67

Valores promedio de 15 repeticiones ± Desviación Estándar.

1=oxidación total (100 %); 2=oxidación (80 %); 3=oxidación media (50 %); 4=oxidación baja (30 %); 5=sin oxidación (<20 %).

La DE en los frutos de la variedad Ex-mood fue significativamente mayor en la sección apical siendo de 17.73 % comparado con los frutos de RJA, los cuales presentaron una densidad estomática mayor en la sección media del espiterno (67 % del total) con número de estomas por fruto de  $2.51 \times 10^6$  (Cuadro 6.10).

**CUADRO 6. 10. Densidad estomática y número de estomas por fruto de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.) cultivados en Huehuetán, Chiapas, México. Valores promedio de 15 repeticiones.**

Genotipo	Densidad estomática ( $e/\text{mm}^2$ )			Estomas por espiterno	Estomas por fruto
	BE	SME	SA		
Ex-mood	63b	109b	141a	2763	$0.93 \times 10^6$
RJA	127a	160a	116b	6276	$2.51 \times 10^6$
CV (%)	23.13	18.61	19.89	7.52	

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación. BE= Base de espiterno, SME= Sección media de espiterno, SA= Sección Apical.

Los frutos de RJA mostraron un incremento significativo en el porcentaje de estomas cerrados (EC) bajo los tratamientos ABA  $10^{-6}$  M y  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M, siendo en éste último de mayor nivel, mientras que los frutos de la variedad Ex-mood no mostraron incremento

significativo en el porcentaje de EC por efecto de los tratamientos ABA  $10^{-6}$  M y  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M (Cuadro 6.11).

**CUADRO 6. 11. Efecto de los tratamientos con 0.1 M  $\text{CaCl}_2$ + $10^{-6}$  M ABA y con  $10^{-6}$  M ABA sobre el estado estomático a lo largo del espiterno del fruto de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha. Valores promedio de 15 repeticiones.**

Sección del espiterno Tratamiento	Ex-mood		RJA	
	EA (%)	EC (%)	EA (%)	EC (%)
<b>Basal</b>				
Testigo	71.84a <sup>z</sup>	28.15b	70.45a	29.54c
ABA $10^{-6}$ M	66.38a	33.61b	45.77b	54.23b
$\text{CaCl}_2$ 0.1 M + ABA $10^{-6}$ M	58.82b	41.17a	35.71b	64.28a
CV (%)	34.12	38.58	42.58	38.34
<b>Media</b>				
Testigo	77.09a	22.90b	81.86a	18.13c
ABA $10^{-6}$ M	73.83a	26.16a	21.24b	78.75b
$\text{CaCl}_2$ 0.1 M + ABA $10^{-6}$ M	70.57a	29.42a	15.48b	84.51a
CV (%)	21.38	41.26	29.35	29.19
<b>Apical</b>				
Testigo	76.05a	23.94a	74.24a	25.75b
ABA $10^{-6}$ M	73.50a	26.49a	31.90b	68.09a
$\text{CaCl}_2$ 0.1 M + ABA $10^{-6}$ M	71.94a	28.05a	28.20b	71.79a
CV (%)	18.14	43.47	41.86	35.76

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna en cada sección del espiterno son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan con una  $P \leq 0.05$ ; CV: coeficiente de variación. EA = estomas abiertos y EC = estomas cerrados.

El contenido de antocianinas de los frutos de RJA bajo los tratamientos con  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M y ABA  $10^{-6}$  M fue significativamente mayor con valores de 17.94 y 16.67  $\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$  respectivamente, así mismo el contenido de fenoles totales fue significativamente mayor con valores de 17.60 y 23.98  $\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$  respectivamente bajo los tratamientos  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M y ABA  $10^{-6}$  M (Cuadro 6.12).

**CUADRO 6. 12. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre el contenido de antocianinas y fenoles totales de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Ex-mood	Genotipo RJA
<b>Antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup>)</b>		
Testigo	14.38a <sup>z</sup>	8.14b
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	13.62a	8.27b
ABA 10 <sup>-6</sup> M	11.71b	16.67a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	16.29a	17.94a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	11.20b	8.91b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	10.31b	9.03b
CV (%)	17.34	10.55
<b>Fenoles totales (mg 100 g<sup>-1</sup>)</b>		
Testigo	11.37c	9.44d
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	11.37c	8.67d
ABA 10 <sup>-6</sup> M	14.95b	23.98a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	21.04a	17.60b
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	14.26b	11.52c
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	9.23c	10.74c
CV (%)	10.95	9.29

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

El contenido de azúcares, °Bx, AT y Asc se mantuvo con poca variación entre los tratamientos, a los cuatro días después de la cosecha (Cuadros 6.13 y 6.14).

**CUADRO 6. 13. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre los azúcares totales y el contenido de sólidos solubles totales de los frutos de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Ex-mood	Genotipo RJA
<b>Azúcares totales (g 100 g<sup>-1</sup>)</b>		
Testigo	21.70b <sup>z</sup>	20.43a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	20.43b	22.06a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	25.88a	20.06a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	22.07b	22.79a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	26.43a	19.70a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	24.25a	22.43a
CV (%)	9.63	12.75
<b>Sólidos solubles totales (°Bx)</b>		
Testigo	20.02a	18.72a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	19.57a	18.55a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	20.90a	18.52a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	19.50a	18.12a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	19.87a	19.52a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	20.57a	19.12a
CV (%)	10.18	9.56

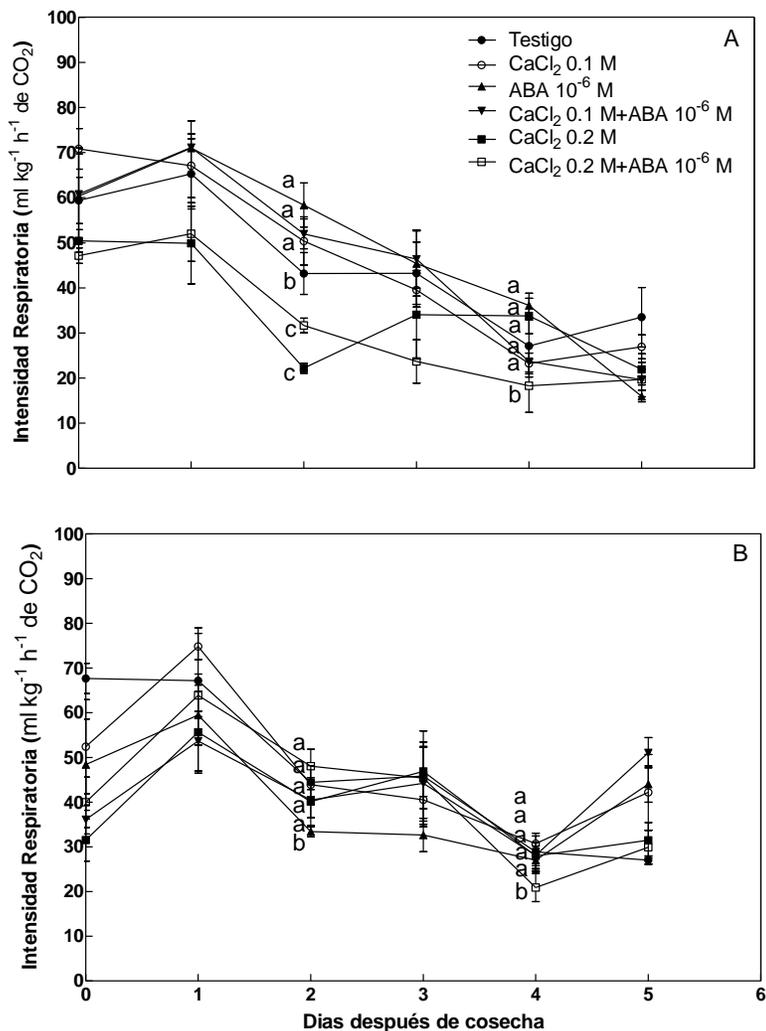
<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

**CUADRO 6. 14. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico sobre la acidez y el contenido de ácido ascórbico de los frutos de dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. Valores promedio de 4 repeticiones.**

Variable Tratamiento	Genotipo	
	Ex-mood	RJA
<b>Acidez titulable (%)</b>		
Testigo	0.32a <sup>z</sup>	0.30a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	0.26a	0.30a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.23b	0.33a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.26a	0.30a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	0.27a	0.28a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	0.27a	0.36a
CV (%)	13.59	16.93
<b>Acido ascórbico (mg 100 mL<sup>-1</sup>)</b>		
Testigo	43.27a	13.48a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M	39.02a	19.86a
ABA 10 <sup>-6</sup> M	26.25b	19.86a
CaCl <sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	30.51a	19.87a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M	19.86b	19.86a
CaCl <sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10 <sup>-6</sup> M	28.38b	15.61a
CV (%)	26.88	44.02

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con una prueba de Duncan con una  $P=0.05$ .

Después de cinco aplicaciones previas a la cosecha de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> 0.2 M y CaCl<sub>2</sub> 0.2 M + ABA 10<sup>-6</sup> M los frutos de la variedad Ex-mood presentaron una disminución en la intensidad respiratoria del 33.04 y 61.20 % al cuarto día después de la cosecha con valores de 33.76 y 18.29 ml·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, en contraste los frutos de rambután de la selección RJA mostraron una disminución en la intensidad respiratoria con valores de 27.01 y 27.97 g·100 g<sup>-1</sup> respectivamente bajo los tratamientos con ABA 10<sup>-6</sup> M y CaCl<sub>2</sub> 0.1 M + ABA 10<sup>-6</sup> M, en el mismo día (Figura 6.4).



**FIGURA 6. 4. Efecto de los tratamientos con CaCl<sub>2</sub> y ácido abscísico en la intensidad respiratoria de frutos dos genotipos de rambután (*Nephelium lappaceum* Linn.), a los cuatro días después de la cosecha a 21 ± 2 °C y 68 % HR. A) Variedad Ex-mood; B) selección RJA. Cada punto representa la media de cuatro observaciones ± desviación estándar. Letras diferentes en el mismo día son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan a una P ≤ 0.05.**

## DISCUSIÓN

### Pérdidas de peso

Los frutos de RJA perdieron menos peso durante el manejo postcosecha después de cinco aplicaciones quincenales del tratamiento con  $\text{CaCl}_2 0.1 \text{ M} + \text{ABA } 10^{-6} \text{ M}$ , mientras que los frutos de RI-148 y RI-104 mostraron menores pérdidas de peso con tres aplicaciones quincenales de los tratamientos  $\text{CaCl}_2 0.2 \text{ M}$  y  $\text{CaCl}_2 0.2 \text{ M} + \text{ABA } 10^{-6} \text{ M}$  previas a la cosecha, indicando que el efecto sinérgico del  $\text{Ca}^{2+}$  y ABA probablemente contribuyó a una mayor disminución de la apertura del poro al incrementar la sensibilidad de la célula oclusiva al estímulo que conduce al cierre estomático (Yang *et al.*, 2003). Se ha mencionado que el  $\text{Ca}^{2+}$  exógeno causa incremento en las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  en el apoplasto a un nivel en donde se activan las proteínas G de la membrana celular de la célula oclusiva, esto inhibe los canales de entrada de  $\text{K}^+$  pero activa los canales de salida de este ión (Hedrich *et al.*, 1988) y del ión  $\text{Cl}^-$  (Schroeder y Keller, 1992), esta salida de iones causa la depolarización de la membrana de la célula oclusiva, lo cual activa los canales de entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  al citosol modificando el contenido de solutos en la célula oclusiva, por lo que disminuye su turgencia y se reduce la apertura del poro (Hedrich *et al.*, 1988; Schroeder y Hagiwara, 1989). Por otra parte, la aplicación exógena de ácido abscísico (ABA) modifica la concentración de esta hormona vegetal en el apoplasto y estimula su unión a receptores específicos, no identificados, regulando la apertura de los canales de entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  apoplástico al citosol (Allan *et al.*, 1994; McAinsh *et al.*, 1995) y promoviendo la apertura de los canales de salida de  $\text{Cl}^-$ . El flujo neto de cargas negativas se traduce en una depolarización de la membrana (Hamilton *et al.*, 2000); mientras que en las células oclusivas el inositol-1,4,5-trifosfato ( $\text{Ins P}_3$ ) inhibe los canales de entrada de potasio (Blatt *et al.*, 1990) y estimulando la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  de la vacuola y aumentando el  $\text{Ca}^{2+}$  citosólico, aunado al aumento del pH en el citosol (Gilroy *et al.*, 1990) se activa la apertura de los canales de salida de  $\text{K}^+$  reduciendo la turgencia de las células oclusivas disminuyendo la apertura del poro (MacRobbie, 1997) y reduciendo la pérdida de agua por transpiración (Mishra y Pradhan, 1972).

En ambos experimentos los frutos de la variedad Ex-mood no respondieron a ninguno de los tratamientos realizados, lo cual se atribuye a la poca respuesta del material a los estímulos generados por los reguladores del crecimiento. Se observa una densidad estomática significativamente menor que la presentada por la selección RJA. El efecto del número de

estomas cerrados presentes en los espiternos en proporción tuvo mayor impacto diferencial en la pérdida de peso entre genotipos.

### **Oxidación del pericarpio**

Los frutos de RI-104 y RJA fueron los menos susceptibles a la oxidación del pericarpio debido quizás al mayor grosor de pericarpio el cual compensa las pérdidas de agua por transpiración una vez que el fruto es desprendido del árbol. El oscurecimiento del pericarpio aún con la reducción de la PP de los frutos también ha sido reportada por Lam *et al.* (1987). Se ha visto que en frutos de rambután el oscurecimiento del pericarpio se inicia a una pérdida de peso mayor a 20 % (Landrigan *et al.*, 1996). Underhill y Critchley (1994) mencionan que la pérdida de agua causa una rápida pérdida de la integridad de la membrana causando una descompartmentalización de enzimas relacionadas al oscurecimiento y una desintegración de la vacuola lo que permite la interacción de enzimas como polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) y sus sustratos (compuestos fenólicos) para degradar a las antocianinas y formar pigmentos oscuros (*o*-quinonas). Ferguson (1984) señala que el  $\text{Ca}^{2+}$  forma parte estructural de la pared celular, mantiene la estructura de sustancias pécticas y la hace menos sensible a la pérdida de humedad, favoreciendo la turgencia celular. El comportamiento anterior sugiere que la PP en el fruto no es el factor principal en determinar la oxidación del pericarpio, lo cual se corrobora con la baja correlación negativa entre estas variables, si no aspectos como grosor de pericarpio, número de espiternos y densidad estomática están contribuyendo a la respuesta a la oxidación del fruto.

### **Características morfológicas y anatómicas del fruto**

Los frutos de RJA mostraron mayor longitud del espiterno y mayor número de estomas por espiterno, éstas características morfo-anatómicas del pericarpio explican su mayor PP, a los cuatro días después de la cosecha, ya que de acuerdo con Ruiz *et al.* (1962) el grado de transpiración es mayor con el incremento en el número de estomas por superficie y la deshidratación ocurre más rápido cuando hay una mayor superficie de contacto con el aire, la cual se incrementa con el incremento en longitud de los espiternos (Ben-Yehoshua, 1987; Landrigan *et al.*, 1994). De acuerdo con Lloyd (1908) a mayor número de estomas abiertos el grado de transpiración se incrementa y con la disminución de la apertura del poro se disminuye la pérdida de agua.

Después de cinco aplicaciones del tratamiento  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M previos a la cosecha, los frutos de RJA mostraron un incremento mayor en el número de estomas cerrados. En diversas investigaciones se ha observado el efecto del  $\text{Ca}^{2+}$  y el ABA sobre el cierre estomático, por ejemplo Wang *et al.* (1998), reportaron que en hojas de *Vicia faba* después del tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  1 mM se redujo la apertura estomática en la epidermis abaxial en un 60 % de los estomas y en 15 % en la epidermis adaxial, mientras que en las hojas tratadas con ABA 1  $\mu\text{M}$  la reducción de la apertura estomática fue de 80 % en la epidermis abaxial y de 45 % en la epidermis adaxial. Los autores sugirieron que los estomas en la epidermis abaxial son más sensibles al  $\text{Ca}^{2+}$  y ABA. Se ha visto que el efecto del ABA sobre el comportamiento estomático depende de la sensibilidad de los receptores en la membrana plasmática de la célula oclusiva sujetos a cambios en el potencial hídrico de ésta y del incremento en la concentración de ABA cerca de los receptores de la célula oclusiva ya que éste puede ser secuestrado por los cloroplastos presentes en las células del mesófilo (Harris y Outlaw, 1991; Hartung y Davies, 1991). MacRobbie (2000) reportaron que altas concentraciones de ABA (1 A 10  $\mu\text{M}$ ) en el exterior de la célula oclusiva de *Commelina communis* favorecen la entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  al citosol, mientras que a bajas concentraciones (0.1  $\mu\text{M}$ ) el contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  del citosol no cambió (MacRobbie, 2000).

### **Contenido de antocianinas y fenoles**

El contenido de antocianinas de los frutos de RJA y RI-104 fue mayor con tres aplicaciones de los tratamientos  $\text{CaCl}_2$  0.2 M previas a la cosecha. Las antocianinas se encuentran en las vacuolas de las células del epicarpio y mesocarpio (Underhill y Critchley, 1995) y son responsables del color rojo en frutos de litchi, el cual es afectado por el cambio en pH; a valores altos (>4), se presenta un cambio en la molécula de la antocianina de flavilio a carbinol (incolore) (Underhill y Critchley, 1994). De acuerdo con McAinsh *et al.* (1995) mencionan que el incremento del  $\text{Ca}^{2+}$  en el apoplásto estimula el cierre estomático. En la presente investigación se encontró que con la aplicación exógena de  $\text{CaCl}_2$  0.2 M se disminuyó el porcentaje de estomas abiertos (EA) en el espiterno de los frutos RJA. Lo anterior, permite suponer que el  $\text{Ca}^{2+}$  al inducir el cierre estomático disminuye la decoloración del pigmento, probablemente como resultado de una baja pérdida de humedad. De acuerdo con Luna y Barrett (2000) el calcio mantiene la estructura celular a nivel de lámina media de la pared celular ya que promueve la formación de pectatos de calcio, favoreciendo la turgencia celular, lo cual reduce el catabolismo limitando la difusión de sustratos desde la vacuola a las enzimas

respiratorias en el citoplasma (Bangerth, 1979). Sin embargo, aún con la reducción de la pérdida de peso del fruto, el oscurecimiento del pericarpio se presenta en menor grado. Al respecto, Edwards *et al.* (1988) mencionan que durante el cierre estomático el pH del citosol tiende a la alcalinidad y Jiang y Fu (1999) reportaron que la actividad de PPO se incrementa a pH 7-7.4 favoreciendo la degradación de antocianinas a través de la oxidación de compuestos fenólicos. Esto explicaría la alta correlación (0.92) en los frutos de la selección RI-104 y la baja correlación (0.78) en los frutos de la selección RJA entre las variables Ant y Fen (Cuadro 6.2). De acuerdo con Macheix *et al.* (1990) los compuestos fenólicos constituyen sustratos susceptibles de ser oxidados por enzimas como polifenol oxidasa y peroxidasas, para formar pigmentos oscuros. En los frutos de RI-104 se observó una oxidación del pericarpio de 30 % con una reducción en la disminución de Fen del 32.67 %, en contraste con la oxidación del pericarpio de los frutos de la selección RJA fue 15 % y una reducción en la disminución de Fen de 14.82 % bajo el tratamiento  $\text{CaCl}_2$  0.2 M. La alta correlación (0.83) en los frutos de RI-104 y en los frutos de RJA (0.51) entre las variables oxidación del pericarpio y Fen (Cuadro 6.2), sugiere que las modificaciones en el pH apoplástico estimulan la oxidación de compuestos fenólicos contribuyendo al oscurecimiento del pericarpio del fruto de rambután.

Las variables de calidad como sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), acidez titulable y contenido de ácido ascórbico se mantuvieron con poca variación después de los tratamientos con  $\text{CaCl}_2$  y ABA, tanto en el experimento uno como en el dos, en éste último la intensidad respiratoria de los frutos de RJA y la variedad Ex-mood no presentó variaciones notables, sin embargo los tratamientos de ABA después de tres aplicaciones previas a la cosecha, mostraron diferencias significativas en la acumulación de azúcares con respecto al testigo en los frutos de RI-148, RI-104 y RJA. Al respecto, Han y Lee (2004) reportaron ligeros incrementos en la concentraciones de glucosa y fructosa en frutos de litchi con la aplicación exógena de ABA.

## CONCLUSIONES

El tratamiento  $\text{CaCl}_2$  0.2 M con tres aplicaciones quincenales y el tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  0.1 M + ABA  $10^{-6}$  M con cinco aplicaciones quincenales antes de la cosecha presentaron un mayor efecto en la funcionalidad del estoma. Los frutos de la selección RJA mostraron mayor respuesta a estos tratamientos, con menores pérdidas de peso, menor oscurecimiento del pericarpio, menor degradación de antocianinas y compuestos fenólicos, así como una menor intensidad respiratoria durante el manejo postcosecha, conservando el color rojo del pericarpio del fruto, lo cual es una característica de calidad distintiva en el fruto de rambután. En ambos experimentos los cambios bioquímicos como el contenido de azúcares, acidez titulable, sólidos solubles totales del fruto y el contenido de ácido ascórbico mostraron cambios poco significativos.

## LITERATURA CITADA

- Allan, A.C., Fricker, M.D., Ward, J.L., Beale, M.H., Trewavas, A.J. 1994.** Plant Cell 6: 1319-1328.
- AOAC. 1990.** Association of Official Analytic Chemists. William Horwitz (ed.). 12<sup>th</sup> edition. Washington, D. C., USA. 1094 p.
- Bangerth, F. 1979.** Calcium related physiological disorders of plants. Annual Review of Phytopathology 17: 97-122.
- Ben-Yehoshua, S. 1987.** Transpiration, water stress and gas exchange, pp. 113-70. In: J. Weichmann (ed.). Postharvest physiology of vegetables. Marcel Dekker, New York.
- Blatt, M.R., Thiel, G., Trentham, D.R. 1990.** Reversible inactivation of  $\text{K}^+$  channels of *Vicia* stomatal guard cells following the photolysis of caged 1,4,5-trisphosphate. Nature 346:766-769.
- Caballero-Pérez, J.F., Arévalo-Galarza, M.L., Avendaño-Arrazate, C.H., Cadena-Iñiguez, J., Valdovinos-Ponce, G., Aguirre-Medina, 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.

- Edwards, M.C., Smith, G.N., Bowling, D.F.J. 1988.** Guard cells extrude protons prior to stomatal opening a study using fluorescence microscopy and pH micro-electrodes. *Journal of Experimental Botany* 39: 1541-1547.
- Ferguson, I.B. 1984.** Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant Cell Environment* 7:477-489.
- Fraire, V.G. 1999.** Informe Técnico del Campo Experimental Rosario Izapa. CIRPS-INIFAP-SAGDR. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 34 p.
- Fuleki, T., Francis, F.J. 1968.** Quantitative methods for anthocyanin. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science* 33:72-77.
- Gilroy, S., Read N.D., Trewavas, A.J. 1990.** Elevation of cytoplasmic calcium by caged calcium or caged inositol trisphosphate initiates stomatal closure. *Nature* 346: 769-771.
- Han, D.H., Lee, C.H. 2004.** The effects of GA3, CPPU and ABA application on the quality of kyoho (*Vitis vinifera* L.x *V. labrusca* L.) grape. *Acta Horticulturae* 640: 193-197.
- Hamilton, D.W.A., Hills, A., Köhler, B., Blatt, M.R. 2000.** Ca<sup>2+</sup> channels at the plasma membrane of stomatal guard cells are activated by hyperpolarization and abscisic acid. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97: 4967-4972.
- Harris, M.J., Outlaw, J.R. 1991.** Rapid adjustment of guard cell abscisic acid levels to current leaf water deficit. *Plant Physiology* 95: 171-173.
- Hartung, W., Davies, W.J. 1991.** Drought-induced changes in physiology and ABA, pp. 63-80. *In: Abscisic Acid: Physiology and Biochemistry.* Davies, W.J. (ed.). Bios Scientific Publishers, Oxford, England.
- Hedrich, R., Barbier-Brygoo, H., Felle, H., Flügge, U.I., Lüttge, U., Maathuis, F.J.M., Marx, S., Prins, H.B.A., Raschke, K., Schnabl, H., Schroeder, J.I., Struve, I., Taiz, L., Ziegler, P. 1988.** General mechanisms for solute transport across the tonoplast of plant vacuoles: A patch clamp survey of ion channels and proton pumps. *Botanica Acta* 101: 7-13.
- Huang, S., Hart, H., Lee, H., Wicker, L. 1990.** Enzymatic and colour changes during postharvest storage of lychee fruit. *Journal of Food Science* 55: 1762-1763.
- INAFED. 2005.** Los municipios del estado de Chiapas. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los municipios de México. [www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm](http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/municipios.htm) (Consultado el 26 de julio, 2010).

- Jiang, Y.M., Fu, J.R. 1999.** Biochemical and physiological changes involved in browning of litchi fruit caused by water loss. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 7(1): 43-45.
- Lam, P.F., Kosiyachinda, S., Lizada, M.C.C., Mendoza, D.B. Jr., Prabawati, S. and Lee, S.K. 1987.** Postharvest physiology and storage of rambutan, pp. 39-50. *In: Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN.* Lam, P.F; Kosiyachinda, S. (eds.). ASEAN Food Handling Bureau, Jakarta, Indonesia. 82 p.
- Landrigan, M., Sarafis, V., Morris, S.C., McGlasson, W.B. 1994.** Structural aspects of rambutan(*Nephelium lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning. *Journal of Horticultural Science* 69: 571-579.
- Landrigan, M., Morris, S. C., Eamus, D., McGlasson, W.B. 1996.** Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Scientia Horticulturae* 66:201-208.
- Leung, J., Giraudat, J. 1998.** Abscisic acid signal transduction. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 199-222.
- Litwack, G. 1967.** Bioquímica Experimental. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. pp: 216-217.
- Lloyd, F.E. 1908.** The physiology of stomata. *Carnegie Institution of Washington Bulletin*, 82 p.
- Luna, I., D. Barrett. 2000.** Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology* 19(1): 61-72.
- Macheix, J., Fleuriet, A., Billot, J. 1990.** *Fruit Phenolics.* CRC Press. Florida, USA. 378 p.
- McAinsh, M.R., Webb, A.R., Taylor, J.E., Hetherington, A.M. 1995.** Stimulus induced oscillations in guard cell cytosolic free calcium. *Plant Cell* 7: 1207-1219.
- MacRobbie, E.A.C. 1997.** Signalling in guard cells and regulation of ion channel activity. *Journal of Experimental Botany* 48: 515-528.
- MacRobbie, E.A.C. 2000.** ABA activates multiple  $Ca^{2+}$  fluxes in stomatal guard cells, triggering vacuolar  $K^+(Rb^+)$  release. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97: 12361-12368.
- Mishra, D., Pradhan, G.C. 1972.** Effect of transpiration-reducing chemicals on growth, flowering and stomatal opening of tomato plants. *Plant Physiology* 50: 271-274.
- Neill, S.J., Desikan, R., Clarke, A., Hancock, J.T. 2002.** Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signalling in stomatal guard cells. *Plant Physiology* 128: 13-16.

- Landrigan, M., Sarafis, V., Morris, S.C., McGlasson, W.B. 1994.** Structural aspects of rambutan(*Nephelium lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning. *Journal of Horticultural Science* 69: 571-579.
- Pérez, R.A., Jürgen, P.A. 2004.** Prácticas de cosecha y poscosecha del rambután en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Agroecología* 20(3): 24-26.
- Ruiz, M., Nieto, D., Larios, I. 1962.** Tratado de botánica. Séptima edición. Editorial E. C. L. A. L. México. 730 p.
- Salveit, M.E., Sharaf, A.R. 1992.** Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(5): 793-798.
- SAS. 2002.** SAS/STAT Guide for personal Computers. Version 9. SAS Institute N. C. USA. 890 p.
- Schroeder, J.I., Hagiwara, S. 1989.** Cytosolic calcium regulates ion channels in the plasma membrane of *Vicia faba* guard cells. *Nature* 338: 427-30.
- Schroeder, J.I., Keller, B.U. 1992.** Two types of anion channel currents in guard cells with distinct voltage regulation. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 89: 5025-29.
- Tindall, H.D., Menini U.G., Hodder A.J. 1994.** Rambutan cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 121. Rome, Italy.
- Underhill, S.J.R., Critchley, C. 1994.** Anthocyanin decolourisation and its role in lychee pericarp browning. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34: 115-122.
- Underhill, S.J.R., Critchley, C. 1995.** Cellular localisation of polyphenol oxidase and peroxidase activity in *Litchi chinensis* Son. pericarp. *Australian Journal of Plant Physiology* 22: 627-632.
- Vanderlinden, E.J.M., Jürgen H.A., Janssens M.J.J. 2004.** Culture and fruit quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) in the Soconusco region, Chiapas, Mexico. *Fruits* 59(5): 339-350.
- Vavasseur, A., Raghavendra, A.S. 2005.** Guard cell metabolism and CO<sub>2</sub> sensing. *New Phytologist* 165: 665-682.
- Wang, X.Q., Wu, W.H., Assmann S.M. 1998.** Differential responses of abaxial and adaxial guard cells of Broad Bean to abscisic acid and calcium. *Plant Physiology* 118: 1421-1429.

- Webb, A.A.R., Hetherington, A.M. 1997.** Convergence of the abscisic acid, CO<sub>2</sub> and extracellular calcium signal transduction pathways in stomatal guard cells. *Plant Physiology* 114: 1557-1560.
- Weyers, J.D.B., Paterson, N.W. 2001.** Plant hormones and the control of physiological processes. *New Phytologist* 152: 375-407.
- Wilcox C., D., Dove, S.B., Doss, W.M., Greer, D.B. 2002.** UTHSCSA Image Tool. IT Version 3.0. Department of Dental Diagnostic Science. University of Texas Health Science Center, San Antonio Texas, USA. 57 p.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M. 1971.** *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold C. New York, USA. 245 p.
- Wongs, A.C., Kanlayanarat, S. 2005.** CaCl<sub>2</sub> applications on storage quality of rambutan. *Acta Horticulturae* 687: 213-217.
- Yang, C-M., Heilman, J.L. 1991.** Short-term high temperature effects on stomatal behaviors of Rice Plants. I. Occurring at the vegetative stage. *Journal of the Agricultural Research of China* 40(2): 233-242.
- Yang H.M., Zhang X.Y., Wang G.X., Li Y., Wei X.P. 2003.** Cytosolic calcium oscillation may induce stomatal oscillation in *Vicia faba*. *Plant Science* 165: 1117-1122.
- Yingsanga, P., Srilaong V., Kanlayanarat, S. 2006.** Morphological differences associated with water loss in rambutan fruit 'Rongrien' and 'See-Chompoo'. *Acta Horticulturae* 712: 453-459.

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

Los espiternos del fruto presentan numerosos estomas en la parte media, los cuales permanecieron abiertos durante el crecimiento y desarrollo del fruto. Las características del pericarpio como cutícula delgada, presencia de parénquima compacto y esponjoso con un desarrollado tejido vascular que se prolonga a lo largo del espiterno están involucradas en la susceptibilidad a la deshidratación de los frutos durante el manejo postcosecha.

El crecimiento de los frutos de rambután presenta un comportamiento simple sigmoide. Las selecciones RI-148 y RI-115 muestran menor contenido de semilla a la cosecha y mayor grado de adaptación a las condiciones climáticas de Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. El número de espiternos en el fruto no fue un factor determinante en el oscurecimiento del pericarpio del fruto y después de la cosecha la tasa de respiración presenta un comportamiento no climatérico, sin afectar las variables de calidad como azúcares totales y sólidos solubles totales.

La aplicación de 0.2 M  $\text{CaCl}_2$  con tres aplicaciones quincenales y los tratamientos con 0.1 M  $\text{CaCl}_2$ + $10^{-6}$  M ABA y  $10^{-6}$  M ABA con cinco aplicaciones quincenales antes de la cosecha, tuvieron mayor efecto en el comportamiento de los frutos de la selección RJA, así mismo, presentaron un menor oscurecimiento del pericarpio, menor degradación de antocianinas y compuestos fenólicos, así como una menor intensidad respiratoria durante el manejo postcosecha, atribuyendo su respuesta a sus características morfológicas y anatómicas.

Los tratamientos precosecha de ácido abscísico (ABA  $10^{-6}$ ) y cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$  0.1 y 0.2 M) no afectaron las variables de calidad como contenido de azúcares, acidez titulable, sólidos solubles totales y el contenido de ácido ascórbico del fruto, durante el manejo postcosecha de los materiales evaluados.

## VIII. PERSPECTIVAS

El cultivo del rambután en Chiapas en la región Soconusco, ha dejado de ser un cultivo de traspatio, para convertirse en uno de los cultivos con potencial de crecimiento a nivel regional. La importancia del fruto, está basada en su sabor dulce y en sus propiedades nutricionales y medicinales, la planta propagada principalmente a través de injerto también tiene propiedades medicinales. Los frutos de plantas obtenidas a partir de semilla muestran una mayor variabilidad en tamaño, forma y sabor comparados con los frutos de plantas injertadas. Existen oportunidades de mercado para la exportación de rambután producido en Chiapas hacia Estados Unidos, Canadá, Japón y China. Sin embargo muchos productores desconocen el nombre de la selección y/o variedad producida, por lo que es fundamental realizar estudios de caracterización fenotípica y genotípica, así como evaluaciones del potencial de almacenamiento de los frutos con el fin de generar información útil para la generación de tecnologías de conservación y manejo postcosecha dirigidas a preservar la calidad de los frutos. Asimismo el establecimiento de programas de mejoramiento genético con el fin de encontrar y propagar variedades propias de México que cumplan con los estándares de calidad del mercado nacional e internacional. Por otra parte, la identificación de las debilidades técnicas en campo de los productores, será una herramienta para lograr métodos adecuados de producción y cosecha, además de la revisión de toda la cadena productiva a fin de incrementar el volumen de las exportaciones.