



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias Biológicas

**ASPECTOS FISICOQUÍMICOS Y CARACTERIZACIÓN
DE POLIFENOLES Y CAROTENOIDES DURANTE LA
MADURACIÓN POSTCOSECHA DE FRUTOS DE
PAPAYA (*Carica papaya* L.)**

Tesis que presenta

ARIANNA CHRISTINE CHAN LEÓN

En opción al título de

MAESTRO EN CIENCIAS

(Ciencias biológicas: opción biotecnología)

Mérida, Yucatán, Abril 2013





**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C.
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis titulado **“ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS Y CARACTERIZACIÓN DE POLIFENOLES Y CAROTENOIDES DURANTE LA MADURACIÓN POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PAPAYA (*Carica papaya* L.)”**, fue realizado por la estudiante Arianna Christine Chan León, en los laboratorios de la Unidad de Biotecnología del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del Dr. Jorge Manuel Santamaría Fernández y la Dra. Renata Rivera Madrid, dentro de la Opción Biotecnología perteneciente al Programa de Maestría en Ciencias Biológicas de este Centro.

Atentamente


Dr. Felipe A. Vázquez Flota

Coordinador de Docencia

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.



Mérida, Yucatán a Abril de 2013.

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de materiales y métodos experimentales, los resultados y discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y La Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y La Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente declaración.

Atentamente

Arianna Christine Chan León

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en la Unidad de Biotecnología del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del Dr. Jorge Manuel Santamaría Fernández y co-dirección de la Dra. Renata Rivera Madrid, a quienes agradezco la oportunidad y confianza depositada en mí para el desarrollo de este trabajo de investigación, por su valiosa asesoría, paciencia y conocimiento brindado.

A la Dra. Gabriela Fuentes Ortiz a quien agradezco su asistencia académica, sus valiosos aportes y sugerencias para la realización de mi proyecto de tesis.

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos al Dr. Yves Desjardins y a su grupo de investigación del Centro de Investigación de Horticultura (CRH) y del Instituto Nutracéutico de Alimentos Funcionales (INAF) de la Universidad Laval en Québec, Canadá, por darme la oportunidad de realizar mi estancia de investigación en su laboratorio bajo su asesoría, estoy muy agradecida por las facilidades brindadas para la realización de la identificación de metabolitos por HPLC y UPLC en su laboratorio. Así como también agradezco al M.C. Pascal Dubé por su apoyo profesional durante la realización de los análisis de carotenoides y polifenoles durante mi estancia.

Mi agradecimiento a la Oficina Canadiense para la Educación Internacional (CBIE), así como al Programa para Asuntos Exteriores y Comercio Internacional de Canadá (DFAIT) por haberme otorgado la beca de Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP) para la realización de mi estancia de investigación en la Universidad Laval, Québec, Canadá.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada No. 254649 para la realización de mis estudios de maestría. Así como por la beca mixta concedida para la estancia académica en la Universidad Laval en Québec, Canadá.

Agradezco a los miembros de mi comité tutorial y de revisión de tesis: Dr. Jorge Manuel Santamaría Fernández, Dra. Renata Rivera Madrid, Dr. Luis Alfonso Saéñz Carbonell, Dr.

Yves Desjardins y Dr. Daniel Robledo Ramírez por sus valiosas aportaciones, correcciones y apreciables sugerencias que enriquecieron el presente trabajo.

Al M.C. Carlos Talavera May, a quien agradezco su apoyo técnico durante la realización del trabajo, así como también agradezco su valiosa amistad brindada todo este tiempo.

Agradezco al M.C. Francisco Espadas y Gil, por el apoyo técnico brindado, agradezco su colaboración al proporcionarme información científica y aportaciones que enriquecieron este trabajo de tesis.

Al Ing. Fernando Contreras Martín, por su asistencia profesional y colaboración al proporcionar material vegetal de papaya, cultivadas por él y su equipo de trabajo del invernadero del CICY.

Al Dr. Fabio Idrovo Espín, por ayudarme y brindarme parte de su tiempo en la realización de este trabajo.

Al M.C. Humberto José Estrella Maldonado, por su apoyo en el procesamiento de frutos que se utilizaron para la realización de este trabajo, así como también en el análisis estadístico.

Al Dr. Alfonso Larqué Saavedra, por su colaboración y accesibilidad al facilitarme el uso de su equipo colorimétrico para esta investigación.

Al personal de posgrado: Landy, Alejandra y Nancy, por su cortesía y amabilidad en el servicio académico del departamento de posgrado.

A todos mis compañeros del laboratorio de Fisiología Vegetal Molecular: Anabel, Daniel, Mariela, Christian, Pilar e Ignacio, y a todos los que voluntaria o involuntariamente contribuyeron al desarrollo del presente trabajo.

Muchas gracias

DEDICATORIA

Agradezco infinitamente a Dios por darme la vida y llenar mi alma de fortaleza en cada momento de mi existencia y así poder hacer realidad este gran logro.

A mis queridos Padres Yldefonso Chan e Isabel León quienes han sido pilar fundamental en mi vida que con cariño y sacrificio supieron motivarme para salir adelante y me enseñaron que el éxito se logra mediante la constancia.

A mis Hermanos quienes han sido un ejemplo a seguir y enseñarme que con esfuerzo todo lo que nos proponemos lo podemos realizar.

A mis queridos Sobrinos por ser pequeños angelitos que iluminan mi vida de alegría.

A Él, quien con su amor, confianza y apoyo incondicional llenó mi vida de felicidad para seguir adelante en este que ahora es un gran logro hecho realidad. Por su apoyo y amistad, por los sufrimientos y triunfos compartidos.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	
I.1. INTRODUCCIÓN	1
I.2. ANTECEDENTES	3
I.2.1. Generalidades de <i>Carica papaya</i> L.	3
I.2.2. Importancia comercial del cultivo de papaya	4
I.2.3. Consumo de papaya	5
I.2.4. Descripción de los estados de maduración en frutos de <i>Carica papaya</i> L.	6
I.2.5. Carotenoides	7
I.2.5.1. Definición	7
I.2.5.2. Funciones de los carotenoides en plantas	8
I.2.5.3. Ruta de la biosíntesis de los carotenoides	8
I.2.6. Polifenoles	11
I.2.6.1. Definición	11
I.2.6.2. Clasificación de los polifenoles	11
I.2.6.3. Funciones de los polifenoles en las plantas	14
I.2.6.4. Ruta de la biosíntesis de los polifenoles	15
I.3. JUSTIFICACIÓN	17
I.4. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	18
I.5. REFERENCIAS	19

CAPÍTULO II**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS DE DIFERENTES LÍNEAS DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN DIFERENTES ESTADOS POSTCOSECHA**

II.1. INTRODUCCIÓN	27
II.2. HIPÓTESIS	28
II.3. OBJETIVO	28
II.3.1. Objetivo general	28
II.3.2. Objetivos particulares	28
II.4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
II.4.1. Material vegetal	29
II.4.2. Selección de los estados de maduración	30
II.4.3. Análisis fisicoquímicos en frutos de papaya	31
II.4.3.1. Determinación de peso y dimensiones de los frutos	31
II.4.3.2. Determinación de sólidos totales solubles	31
II.4.3.3. Determinación de firmeza	31
II.4.3.4. Determinación de color	31
II.5. RESULTADOS	32
II.5.1. Estados de maduración evaluados en <i>Carica papaya</i> L.	32
II.5.2. Determinación de peso y dimensiones de los frutos	33
II.5.3. Determinación de sólidos solubles totales	35
II.5.5. Determinación de firmeza	36
II.5.6. Determinación de color	37
II.6 DISCUSIÓN	42
II.7. CONCLUSIÓN	46
II.8. REFERENCIAS	47

CAPÍTULO III**CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES EN LÍNEAS DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN POSTCOSECHA**

III.1. INTRODUCCIÓN	51
III.2. HIPOTESIS	53
III.3. OBJETIVOS	53

III.3.1. Objetivo general .	53
III.3.2. Objetivos particulares	53
III.4. MATERIALES Y MÉTODOS	54
III.4.1. Material vegetal	54
III.4.2. Protocolo de extracción de polifenoles totales	54
III.4.3. Análisis del perfil de polifenoles por UPLC-MS/MS	55
III.5. RESULTADOS	56
III.5.1. Análisis del contenido de polifenoles totales	56
III.5.2. Análisis del perfil de polifenoles por UPLC-MS/MS	59
III.6. DISCUSIÓN	68
III.7. CONCLUSIÓN	71
III.8. REFERENCIAS	72

CAPÍTULO IV

CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES EN LÍNEAS DE PAPAYA (<i>Carica papaya</i> L.) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN POSTCOSECHA	
IV.1. INTRODUCCIÓN	77
IV.2. HIPOTESIS	79
IV.3. OBJETIVOS	79
IV.3.1. Objetivo general	79
IV.3.2. Objetivos particulares	79
IV.4. MATERIALES Y METODOS	80
IV.4.1. Material vegetal	80
IV.4.2. Protocolo de extracción de carotenoides	80
IV.4.3. Análisis de carotenoides por HPLC	81
IV.5. RESULTADOS	82
IV.5.1. Análisis del perfil de carotenoides por HPLC en cáscara de papaya	82
IV.5.2. Análisis del perfil de carotenoides por HPLC en pulpa de papaya	87
IV.6. DISCUSIÓN	92
IV.7. CONCLUSIÓN	98
IV.8. REFERENCIAS	99

CAPÍTULO V

V.1. DISCUSIÓN GENERAL	109
V.2. CONCLUSIÓN GENERAL	113
V.3. PERSPECTIVAS	118
V.4. REFERENCIAS	119
ANEXOS	120

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AAO	ABA-aldehído oxidasa
ABA	Ácido abscísico
ABA1d	ABA-aldehído
A.C.	Asociación Civil
ATP	Adenosín trifosfato
CCDs	Dioxigenasas de corte de carotenoides
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán
cm	Centímetros
°C	Grados Centígrados
DMAPP	Dimetilalil pirofosfato
EDO1	Estado 1
EDO2	Estado 2
GGPP	Geranil geranil pirofosfato
GGPS	Geranil geranil pirofosfato sintasa
GPP	Geranil pirofosfato
GPS	Geranil pirofosfato sintetasa
g	Gramo
ha	Hectáreas
hr	Hora
IPP	Isopentenil pirofosfato
Kg	Kilogramo
MC	Madurez de consumo
m	Metro
MF	Madurez fisiológica
mg	Miligramo
mM	Milimolar
min	Minuto
M	Molar
μL	Microlitro
μg	Microgramo
nm	Nanometro
ng	Nanogramo
NADH	Dinucleótido de Nicotinamida y Adenina
NCED	9-cis-epoxycarotenoide dioxigenasa
No.	Número
NSY	Neoxantina sintasa
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrogeno
rpm	Revoluciones por minuto
var.	Variación
V	Verde
s	Segundo
ton	Toneladas

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
I.1.	Aspecto visual representativo del fruto de papaya var. Maradol en las diferentes etapas de madurez (Santamaría <i>et al.</i> , 2009).	7
I.2.	Ruta de la biosíntesis de carotenoides en plantas. Abreviaturas: IPP, isopentenil pirofosfato; IPI, isomerasa difosfato isopentenil, GGPS; sintasa geranylgeranyl pirofosfato, GGPP, geranyl geranyl pirofosfato, PSY, fitoeno sintasa; PDS, fitoeno desaturasa; ZDS, ζ -caroteno desaturasa; β -LCY, β -licopeno ciclasa, ϵ -LCY, ϵ -licopeno ciclasa; β -CHX, β -caroteno hidroxilasa; VDE; violaxantina de-epoxidasa, ZEP, zeatina epoxidasa; NSY, neoxantina sintasa; NCED, 9- <i>cis</i> -epoxycarotenoide dioxigenasa, ABA: ácido abscísico (Sun <i>et al.</i> , 2011).	10
I.3.	Estructura química de las diferentes clases de polifenoles. Estos son ampliamente divididos en: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos (Spencer <i>et al.</i> , 2008).	13
I.4.	Biosíntesis de polifenoles derivados de la fenilalanina (Inderjit <i>et al.</i> , 1995).	16
I.5.	Esquema de la estrategia experimenta del proyecto de tesis: Aspectos fisicoquímicos y caracterización de polifenoles y carotenoides durante la maduración postcosecha de frutos de papaya (Carica papaya L.).	18
II.1.	Mapa del estado de Yucatán. Regiones de colecta del material vegetal.	29
II.2.	Aspectos visuales del fruto de papaya var. Maradol en las	30

diferentes etapas de maduración (Santamaría *et al.*, 2009). Las flechas rojas indican los estados de maduración que se seleccionaron para realizar los análisis.

- II.3** Clasificación de los estados de maduración de frutos de papaya. **32**
Las dos primeras líneas son frutos comerciales (Mulata y Cubana) y las últimas dos líneas son frutos silvestres (CY y KT).
- II.4.** Peso en gramos en frutos comerciales Mulata y Cubana y de frutos silvestres CY y KT, en diferentes estados de maduración. **33**
- II.5.** Longitud (**A**) y diámetro ecuatorial (**B**) en frutos de cuatro líneas de papaya (Mulata, Cubana, CY y KT) en función a los estados de maduración. **34**
- II.6.** Sólidos solubles totales (SST) respresentado como °Brix en frutos de papaya comerciales Mulata, Cubana y de frutos silvestres CY, KT en diferentes estados de maduración. **35**
- II.7.** Firmeza (N) en frutos de papaya comerciales Mulata y Cubana y de frutos silvestres CY y KT en diferentes estados de maduración. **36**
- II.8.** Componentes de color de cinco estados de maduración postcosecha de cuatro líneas de papaya. Valores a*, b*, L*, Hue y Croma en cáscara (A, C, E, G, I) y pulpa (B, D, F, H, J). Cada punto representa la media y su desviación estándar \pm de tres frutos. **39**
- III.1.** Contenido de polifenoles totales en cáscara y pulpa en las líneas comerciales (**A**) Mulata, (**B**) Cubana y de las líneas silvestres (**C**) CY y (**D**) KT diferentes estados de maduración. **58**

III.2.	Contenido de ácidos fenólicos en las diferentes líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en sus diferentes estados de maduración. (A) éster etílico del ácido gálico, (B) ácido 4-cafeoilquínico, (C) ácido <i>p</i> -cumárico 4- <i>O</i> -glucósido, (D) ácido 1-cafeoilquínico, (E) ácido <i>p</i> -coumaroil glicólico, (F) ácido <i>p</i> -coumaroil glucosa, (G) ácido <i>p</i> -coumaroil hexosa y (H) ácido <i>p</i> -coumaroil éster.	64
III.3.	Contenido de (A) Floridzina y (B) Quercetina 3- <i>O</i> -rutinósido en las diferentes líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) durante la maduración.	65
IV.1.	Contenido de carotenoides en la cáscara de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.	85
IV.2.	Contenido de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.	90
V.1	A) Cuadro comparativo de los principales componentes posiblemente asociados al color del fruto de papaya en cáscara y pulpa de las 4 líneas estudiadas, B) apariencia visual del color de la cáscara y de la pulpa de las cuatro líneas de papaya estudiadas y C) ruta de la biosíntesis de carotenoides en plantas.	116
V.2	Figura V.2. Correlaciones de parámetros de color con el contenido de carotenoides totales en cáscara. A) Carotenoides totales en función al valor de a^* , B) Carotenoides totales en función al valor de b^* , C) β -caroteno en función del valor de a^* en cáscara y D) β -caroteno en función del valor de b^* .	117

V.3.	Correlaciones de parámetros de color con el contenido de polifenoles en pulpa. A) Polifenoles totales en función al valor de b^* y B) Floridzina en función al valor de a^* .	117
-------------	---	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
II.1.	Valores obtenidos de color (a^* , b^* y L^*), firmeza y sólidos solubles totales de cáscara en frutos de papaya. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$).	40
II.2.	Valores obtenidos de color (a^* , b^* y L^*), firmeza y sólidos solubles totales de pulpa en frutos de papaya. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$).	41
III.1.	Contenido del perfil de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).	66
IV.1.	Contenido del perfil de carotenoides en la cáscara de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.	86
IV.2.	Contenido del perfil de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.	91
1A	Correlación del contenido de carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya Mulata.	120

2A	Correlación del contenido carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya Cubana .	120
3A	Correlación del contenido carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya CY .	121
4A	Correlación entre valores Carotenoides totales, β -caroteno y Licopeno en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya KT .	121
5A	Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya Mulata .	122
6A	Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya Cubana .	122
7A	Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya CY .	123
8A	Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a* , b* , L* , °H y C*), evaluados en cáscara y pulpa en la línea de papaya KT .	123

RESUMEN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una fruta cultivada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. La fruta de papaya es rica en precursores de vitamina A y C; se ha recomendado para la prevención de la deficiencia de vitamina A en algunos países y por su actividad antioxidante debido a la presencia de fenoles. En esta especie es de vital importancia tener un conocimiento exhaustivo de la composición de la fruta con el fin de evitar cambios bioquímicos, sensoriales y calidad que se producen durante la maduración postcosecha. Entre las propiedades sensoriales, la pérdida de color debido a la degradación de los pigmentos durante el procesamiento y almacenamiento es uno de los problemas de interés tanto para la industria y como para el consumidor. La papaya, como muchas frutas climatéricas, sufren cambios físicos y químicos después de la cosecha, sin embargo, existe poca información relacionada con los cambios de color en la pulpa y cáscara de frutos de papaya durante la maduración postcosecha así como el patrón de carotenoides y polifenoles en cada etapa de maduración. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el contenido de carotenoides y de polifenoles en líneas contrastantes de papaya, tanto silvestres (CY y KT) como de líneas comerciales (Mulata y Cubana) en diferentes estados de maduración postcosecha (V, MF, EDO1, EDO2, MC) mediante técnicas de HPLC y UPLC, con la finalidad de estudiar los cambios ocurridos de estos metabolitos en la maduración. De igual forma, con la finalidad de caracterizar fisicoquímicamente los frutos de papaya en sus diferentes estados de maduración se evaluaron los cambios de apariencia, firmeza, sólidos solubles totales y color (a^* , b^* L^* , °Hue y Cromo). Nuestros resultados indicaron que en el estado de madurez de consumo (MC), el color a^* fue un indicativo de la coloración roja de la pulpa y cáscara en la línea comercial Mulata, de igual forma, altos valores de b^* definieron a las líneas Cubana, CY y KT como frutas de coloración amarilla. Los anteriores resultados demostraron que existe una correlación entre el color a^* y b^* con los pigmentos presentes en las diferentes líneas de papaya, en este sentido, la línea de color roja (Mulata) presentó altos valores de a^* en pulpa y cáscara (17.7 y 26.4) y alto contenido de licopeno ($57.8 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF), por lo contrario, las líneas de coloración amarilla presentaron altos valores de b^* , ausencia de licopeno, pero altos valores en el contenido de β -caroteno, β -criptoxantina y violaxantina.

Todas las líneas presentan un alto contenido de carotenoides totales tanto en cáscara como en pulpa, entre ellas la línea silvestre KT presentó los valores más altos en cáscara con $324.2 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, sin embargo, en la pulpa, la línea comercial Mulata presentó los valores más altos del contenido total de carotenoides con $186.1 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF. En relación a polifenoles totales, las líneas amarillas Cubana y CY acumularon en la cáscara los valores más altos entre 200 a 223 mg GAE/100 g PF respectivamente, sin embargo, en la pulpa, la línea KT obtuvo valores más altos con 93.6 mg GAE/100 g PF. Todas las líneas en el estado MC se identificó alto contenido de ácidos fenólicos, entre los cuales se identificaron frecuentemente con demasía el éster etílico del ácido gálico, ácido 4-cafeoilquínico, ácido *p*-cumárico 4-*O*-glucósido, ácido 1-cafeoilquínico, ácido *p*-coumaroil glicólico, ácido *p*-coumaroil glucosa, ácido *p*-coumaroil hexosa y ácido *p*-coumaroil éster. De igual forma se identificó por primera vez en papaya el compuesto floridzina, el cual se ha reportado que posee funciones antioxidantes en otras especies. En papaya, en la línea comercial Cubana se identificó un contenido de 7.44 mg GAE/100 g PF en el estado MC. También se identificó al flavonoide quercetina 3-*O*-rutinósido, el cual es un protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías. La línea silvestre KT presentó un valor de 14.79 mg GAE/100 g PF en el estado de MC.

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) is a fruit grown in tropical and subtropical regions of the world. The papaya fruit is rich in precursors of vitamin A and C. Papaya, has been recommended for the prevention of vitamin A deficiency in some countries and for their antioxidant activity due to the presence of phenols. In this species is of vital importance have a thorough understanding of the composition of the fruit to prevent biochemical changes, sensory and quality that occur during postharvest ripening. Among the sensory properties of color loss due to degradation of the pigments during processing and storage is one of the problems of interest to both industry and to consumers. The papaya, as many climacteric fruits, suffer physical and chemical changes after harvest, however, there is little information regarding the color changes in the pulp and peel papaya fruits during postharvest ripening and carotenoid pattern and polyphenols in each stage of maturation. The objective of this study was to quantify the content of carotenoids and polyphenols in papaya contrasting lines, both wild (CY and KT) as commercials (Mulata and Cubana) in different stages of ripening postharvest (V, MF, EDO1, EDO2, MC) by using HPLC and UPLC techniques, in order to study the changes of these metabolites during the ripening process. Similarly, in order to characterize physicochemically papaya fruits at different stages of maturity were evaluated changes in appearance, firmness, total soluble solids and color (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}$ Hue and Chroma). Our results indicated that in the stage of ripeness (MC), the value color a^* was indicative of the red coloration of the pulp and peel of the commercial line Mulata, similarly, high values of b^* defined to the lines Cubana, CY and KT as yellowing fruit. The above results demonstrated that there is a correlation between the color a^* and b^* with the pigments in the different lines of papaya, in this sense, the red color line (Mulata) presented high values of a^* in pulp and peel (17.7 and 26.4) and high lycopene content ($57.8 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF), in contrast, yellowing lines showed high values of b^* , absence of lycopene, but higher values in the content of β -carotene, β -cryptoxanthin and violaxanthin. All lines have a high content of total carotenoids in both peel as in pulp, the wild line KT presented the higher values in peel with $324.2 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, however, in the pulp, the commercial line Mulata presented the highest values of total carotenoids with $186.1 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. In relation to total polyphenols, the yellow lines, Cubana and CY accumulated the

higher values in peel between 200 and 223 mg GAE/100 g PF respectively, however, in the pulp; the KT line obtained the highest values with 93.6 mg GAE/100 g PF. All the lines the highest content of phenolic acids were identified at the MC stage. Phenolic acids such as the ethyl ester of gallic acid, 4-caffeoilquinico acid, *p*-coumaric 4-*O*-glucoside acid, 1-caffeoilquinico acid, *p*-coumaroil glycolic acid, *p*-coumaroil glucose acid, *p*-coumaroil hexose acid and *p*-coumaroil ester acid. Likewise, it was also identified, for the first time in papaya, the presence of phloridzin which has been reported to possess antioxidant functions in other species. In papaya, the commercial line Cubana had phloridzin contents of 7.44 mg GAE/100 g PF at the MC stage. The flavonoid quercetin 3-*O*-rutinoside, which is protective against cardiovascular disease, cancer and various pathologies, was also identified in our work. The wild KT line yielded a value of 14.79 mg GAE/100 g PF at the MC stage.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

I.1 INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta que crece en regiones tropicales y subtropicales, su fruto ocupa un lugar importante en la alimentación debido a su agradable sabor, es rico en carbohidratos, fibra, minerales, vitaminas como ácido ascórbico, carotenoides que son precursores de vitamina A (Muñoz de Chávez *et al.*, 1996) y posee compuestos reconocidos como antioxidantes que proporcionan importante protección contra el cáncer y otros trastornos comunes del cuerpo (Lee *et al.*, 2005; Moret *et al.*, 2010), por lo que su consumo diario resulta benéfico para la salud (Rotondo *et al.*, 2008).

La carencia alimentaria de vitamina A ha sido reportada como el problema alimenticio más común en países de desarrollo, es la principal causa de ceguera en todo el mundo causando de 250-500 mil casos de ceguera infantil cada año (WHO, 2007), su deficiencia además afecta a mujeres embarazadas aumentando el riesgo de mortalidad materna, influye en la presencia de infecciones agudas, afecta adversamente las superficies epiteliales y demás se asocia con un aumento en la incidencia de ciertos tipos de cáncer, incluso el cáncer de colon (FAOSTAT, 2007). Con la finalidad de hacer frente a este problema, se han establecido proyectos para generar papayas fortificadas con precursores de vitamina A (Cunningham y Gantt, 1998; Rodríguez-Amaya, 2003), ya que una papaya mediana puede suministrar más de la exigencia mínima diaria de carotenoides precursores de esta vitamina en los adultos (USDA, 2007), uno de los carotenoides más importante para la nutrición humana es el β -caroteno, precursor capaz de convertirse en vitamina A en el cuerpo por acción enzimática en la pared intestinal (FAOSTAT, 2007).

Los carotenoides además, se encuentran asociados con efectos protectores contra algunos tipos de cáncer (Bertram *et al.*, 2005), relacionada con la edad degeneración macular (Bruno *et al.*, 2000) y enfermedades del corazón (Palace *et al.*, 1999). Se ha demostrado que alivian enfermedades relacionadas con la edad cuando se toma en

cantidades suficientes en la dieta, probablemente debido a sus potentes propiedades como antioxidantes lipofílicos (Mordi, 1993), por ejemplo, la zeaxantina y la luteína ofrecen protección contra la degeneración macular (Seddon *et al.*, 1994), mientras que existen reportes considerables que demuestran que la ingesta de jitomates en la dieta diaria (absorción de licopeno) previene la incidencia de cáncer de próstata (Giovannucci, 1999).

Además de los compuestos carotenogénicos, la papaya contiene polifenoles, que son compuestos que actúan como antioxidantes captando radicales libres causantes del estrés oxidativo (Kuskoski *et al.*, 2005), estos compuestos, son bien documentado que poseen actividades microbicidas contra un gran número de bacterias patógenas en diferentes partes del tracto digestivo (Scalbert, 1991; Cowan, 1999). Existe la evidencia que sugiere que el consumo regular de alimentos o bebidas ricas en polifenoles, podría ayudar a prevenir y atenuar el daño asociado con la prevención de enfermedades crónicas tales como el cáncer, la diabetes y enfermedades cardiovasculares, circulatorias y neurológicas. (Corral, *et al.*, 2008; Murakami, *et al.*, 1994). Además, estos compuestos poseen actividades anti-inflamatoria y antialérgica (Kuskoski *et al.*, 2005), esto justifica el enorme interés en la búsqueda de antioxidantes de origen natural para su uso en alimentos o materiales medicinales para reemplazar los antioxidantes sintéticos (Parr y Bolwell, 2000). En el presente trabajo existe un interés por cuantificar e identificar los polifenoles presentes en papaya, pues muchos de estos compuestos han demostrado tener importantes acciones biológicas no sólo en las plantas, sino también en el hombre, por lo que cada vez más, los términos polifenoles y salud intentan asociarse.

Los frutos de papaya ofrecen un alto valor nutricional debido al contenido de precursores de la vitamina A (carotenoides) y su actividad antioxidante (polifenoles). Por lo anterior, el fruto de papaya es objeto de estudio ya que estos compuestos pueden variar dependiendo de la variedad, estado de madurez y de su manejo postcosecha (Rodríguez-Amaya, 2003). El objetivo de este trabajo es estudiar los aspectos fisicoquímicos y caracterización de polifenoles y carotenoides durante la maduración postcosecha de frutos de papaya (*Carica papaya* L.).

I.2 ANTECEDENTES

I.2.1 Generalidades de *Carica papaya* L.

El papaya es una planta de rápido crecimiento y tiempo de vida relativamente corto (en términos comerciales), perteneciente al género *Carica*, dentro de la familia *Caricaceae*, el cual incluye 14 especies; de las cuales destaca la papaya por su importancia económica (Sistema Producto papaya, 2010).

Esta planta de tipo herbáceo de crecimiento relativamente rápido, puede alcanzar una altura que va desde 1.8 m en el caso de cultivares comerciales, hasta 6.1 m en los ejemplares silvestres, y se caracterizan por tener un solo tallo hueco, erecto, grueso de 20-30 cm de diámetro, presenta un gran número de hojas grandes y lobuladas. Su sistema radicular está formado por una raíz primaria y raíces secundarias. El tipo de planta depende del estado sexual, el cual se determina en la floración, se puede encontrar plantas con flores femeninas y flores masculinas en plantas diferentes pero también presenta flores de ambos sexos o hermafroditas, por lo que se considera que es una planta polígama (Lee *et al.*, 2005)

En cuanto al tamaño y peso del fruto, éste puede ser entre 10-25 cm o más de largo y entre 7-15 cm o más de diámetro, el peso de los frutos oscilan entre 400 g hasta 6 Kg, dependiendo de la variedad y de su posición en la planta; los más grandes son aquellos ubicados en la parte baja del tallo, y conforme aumenta la altura va disminuyendo el tamaño del mismo, de manera que los ubicados en la zona superior son los más pequeños (Sistema Producto papaya, 2010).

La pulpa de una papaya madura es de color amarillo, anaranjado o rojo salmón, su consistencia es cremosa pero firme, dulce y refrescante, con alto contenido de nutrientes, incluyendo vitamina A, vitamina C, complejo B, potasio, magnesio, fibra, ácido fólico y pequeñas cantidades de calcio y hierro (Moret *et al.*, 2010)

I.2.2 Importancia comercial del cultivo de papaya

La papaya es uno de los cinco principales frutales de México, en los últimos años ha sostenido mayor crecimiento en las zonas costeras de este país. Se cultiva en todos los países tropicales y en muchas regiones subtropicales del mundo (Vázquez *et al.*, 2008). En México se cultivan diferentes variedades, que se han nombrado en función del tamaño, forma, apariencia y procedencia de la fruta. En plantaciones comerciales se utilizaban semillas de tipos criollos, entre los que destacaban “Cera”, “Coco” y “Mamey”, también se utilizaban cultivares del grupo “Solo” originados en Hawai e incluso cultivares de Taiwán como “Tainung II” y “Red Lady” (De los Santos *et al.*, 1997). En 1978, la CONAFRUT introdujo las primeras semillas de la variedad Maradol a Xalapa, Veracruz (CRFG, 1998). Comercialmente la papaya var. Maradol se ha cultivado en México desde 1988 y fue desplazando paulatinamente a los tipos criollos y silvestres. En 2006, la papaya var. Maradol representó la mayor producción con 690,638.98 ton, en segundo lugar quedó la papaya denominada “Roja” con 30,867 ton, seguida por las papayas amarillas, hawaianas y las criollas con 1,598, 1,272 y 90 ton respectivamente (FAOSTAT, 2007; SIAP, 2007).

México cultiva papaya principalmente en los estados de Veracruz, Chiapas, Michoacán y Oaxaca (SIAP, 2008). La producción en Guerrero se localiza en la zona costera, regiones Norte y Tierra Caliente, donde se cultivan genotipos criollos, silvestres y otras variedades con alto potencial productivo (Hernández *et al.*, 2007). En la Península de Yucatán, la papaya era un cultivo tradicional, las áreas plantadas de papayas criollas antes de 1995 alcanzaban unas 150 ha, casi todas ellas manejadas como cultivo secundario, su producción tenía como objetivo su comercialización en los mercados locales y en algunos centros turísticos por lo que no se usaban tecnologías avanzadas para este cultivo (Gobierno del Estado de Yucatán, 1999).

El consumo de papaya ha cobrado mayor importancia en la última década debido al interés de los consumidores por las características de este fruto, lo que ha propiciado la expansión de su producción. La superficie cultivada en el mundo en 1996 fue de 288,568 ha que arrojaron una producción de 4, 536,718 ton. Para 2006, la superficie cultivada fue

de 391,073 ha con 6, 590,141 ton, lo que representa incrementos del 35 y 45% respectivamente. La superficie sembrada de papaya en México en el año 2007 fue de 20,946 ha, con un incremento del 60% en la producción de papaya al pasar de 496,849 ton a 919 mil ton, ocupando para ese año el segundo lugar como productor mundial (FAOSTAT, 2008). México ha ocupado del segundo al cuarto lugar dentro de los países productores de papaya en el mundo y actualmente la fruta tiene una creciente demanda en los mercados de Estados Unidos y Canadá, siendo México su principal proveedor (Vázquez *et al.*, 2008).

I.2.3 Consumo de papaya

El consumo de papaya es ideal para aliviar el estreñimiento debido a que su contenido de fibra le confiere propiedades laxantes. El contenido en esta fruta de vitamina C aumenta la absorción de hierro en los alimentos, se recomienda también su consumo en casos de anemia ferropénica, además, su riqueza en potasio y bajo aporte de sodio, además otra de sus propiedades es la de facilitar la digestión y calmar el dolor e inflamación del estómago gracias al contenido de papaína (Sistema Producto papaya, 2010). La papaya es uno de los alimentos recomendados para el enriquecimiento de nutrientes para aliviar una de las deficiencias de micronutrientes más devastadoras del mundo en desarrollo como es el caso de la deficiencia de vitamina A, la cual fue clasificada recientemente como un problema de salud pública de moderada a grave en 122 países en el mundo (WHO, 2009).

Varios atributos de la papaya la hacen ser una fuente precursora de vitamina A de bajo costo, un suplemento de fácil acceso que puede ser cultivada en huertos familiares en todo el trópico. Dependiendo de la variedad de papaya y las condiciones ambientales, las frutas pueden ser cosechadas en tan sólo nueve meses (Ming *et al.*, 2008a). La estrategia actual para combatir la carencia de vitamina A en muchos países es la distribución bianual de altas dosis de cápsulas de vitamina A en niños de seis meses a cinco años de edad. Sin embargo, la incorporación de frutas frescas de papaya en la dieta como un precursor de vitamina A es una estrategia práctica y sostenible para combatir la deficiencia de vitamina A (Nana *et al.*, 2005).

I.2.4 Descripción de los estados de maduración en frutos de *Carica papaya* L.

Santamaría *et al.*, (2009) establecieron estados de maduración en frutos de papaya var. Maradol, iniciando con frutos verdes señalado con la letra **V**: cáscara verde, sin raya amarilla; **MF1**: cáscara verde con franja de color amarillo claro; **MF2**: cáscara verde con raya amarilla bien definida; **3**: una o más franjas de color naranja en la cáscara; **4**: claridad de color naranja en la cáscara; **MC1**: color típico naranja de la cáscara de la papaya Maradol; **MC2**: color de la fruta rojo salmón (Figura I.1).

Las características visuales de los estados de desarrollo del fruto fueron las siguientes:

(V) Frutos verdes, ubicados justo antes de los frutos que presentan los primeros signos de cambio de color por la maduración, la pulpa es blanca, las semillas están bien formadas y pueden ser blancas, de color negro o en transición.

(MF1) Son frutos que muestran cambio de color o primera franja amarilla en la cáscara. Es el estado inicial de maduración a la cual determinamos como madurez fisiológica 1, a simple vista puede ser difícil detectarlo pero al cortar el fruto este estado se detecta fácilmente por que presenta tonos naranja y las semillas son de color negro.

(MF2) Son frutos que muestran fácilmente el inicio de maduración por el cambio definido de color o la primera franja bien definida en la cáscara, a este estado lo definimos como madurez fisiológica 2, la pulpa muestra mayor área de color anaranjado pero también hay áreas de color blanco-verde.

(3) Corresponde a frutos con una franja visible de color anaranjado, casi toda la pulpa es de color naranja excepto por la porción adjunta a la cáscara.

(4) Los frutos tienen un marcado color naranja en la cáscara con ligeras áreas de color verde y en la pulpa ya no se nota el borde verde, excepto por el área del pedúnculo.

(MC5) En un estado de madurez de consumo, los frutos presentan prácticamente toda la cáscara y pulpa de color anaranjado característico.

(MC6) Es otro estado de madurez de consumo, los frutos son de condiciones similares al estado 5 pero con mayor intensidad en el color

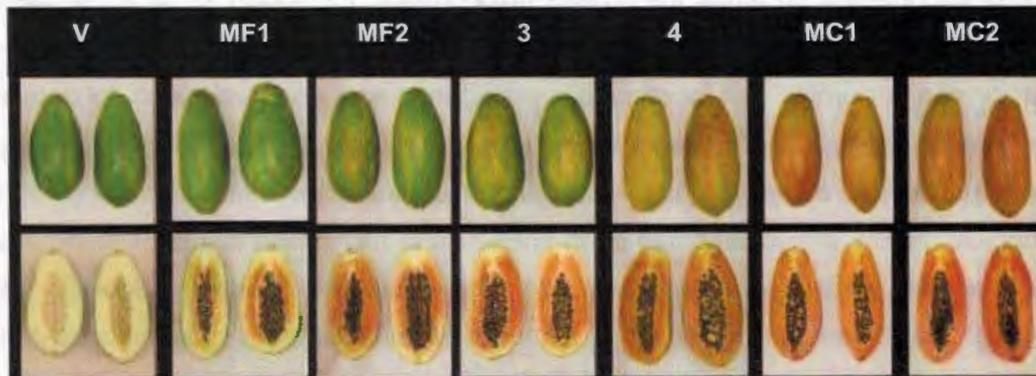


Figura 1.1. Aspecto visual representativo del fruto de papaya var. Maradol en las diferentes etapas de madurez (Santamaría *et al.*, 2009).

1.2.5 Carotenoides

1.2.5.1 Definición

Los carotenoides son pigmentos caracterizados por primera vez en 1907 como derivados isoprenoides liposolubles (Gross 1987), son de color rojo, naranja y amarillo, que se originan en los plastidios de las células vegetales y se encuentran localizados en las membranas (Bartley y Scolnik, 1995). Son moléculas de 40 carbonos con dobles enlaces conjugados derivados de la dimerización de dos moléculas de 20 carbonos de geranil geranil pirofosfato (GGPP), siendo éste último el precursor de múltiples isoprenoides de importancia como el tocoferol, la cadena lateral de la clorofila, quinonas y giberelinas (Bouvier *et al.*, 2005). Los carotenoides adquieren su nombre del pigmento más representativo del grupo, el β -caroteno, que fue descubierto en zanahorias (*Daucus carota*) por Wackenroder en 1831. Se encuentran en mayor concentración y variedad en

los vegetales, aunque también se acumulan en algunas bacterias, algas y hongos, así como en algunos animales, si bien éstos no pueden sintetizarlos (Britton, 1998).

1.2.5.2 Funciones de los carotenoides en plantas

Los carotenoides son comunes en todos los organismos fotosintéticos y desempeñan funciones importantes en todos los niveles taxonómicos. Participan en la fotosíntesis y abundan en los cloroplastos, donde son constituyentes del complejo proteína-pigmento en asociación con la clorofila. Los carotenoides protegen al aparato fotosintético del deterioro de las reacciones oxidativas, especialmente las que ocurren cuando hay un estrés causado por la luz brindando fotoprotección, actuando como antioxidantes (Broun y Sommerville, 2001), son reguladores de la fluidez de la membrana celular (Umeno *et al.*, 2005), y actúan como precursores del ácido abscísico (ABA) (Bartley y Scolnik, 1995; Grotewold, 2006). También se acumulan en los organelos llamados cromoplastos donde se sintetizan y almacenan los pigmentos, su presencia en las plantas determina el color rojo, anaranjado o amarillo de algunas frutas, hortalizas y flores. El color de los cromoplastos se debe al contenido de carotenos (amarillo o anaranjado) liposolubles, licopenos (rojos) y xantofilas (amarillas) en el interior de los plastidios (Wise, 2006).

1.2.5.3 Ruta de la biosíntesis de los carotenoides

La biosíntesis de los carotenoides se inicia por la isomerización de moléculas de isopentenil pirofosfato (IPP), dando lugar a la dimetilalil pirofosfato (DMAPP), el cual es sustrato para la geranyl pirofosfato sintetasa, para la producción de geranyl pirofosfato (GPP), y éste actúa como sustrato para geranyl geranyl pirofosfato sintasa, originándose el geranyl geranyl pirofosfato (GGPP) (Kim *et al.*, 2010).

Es a partir de la condensación de dos moléculas de geranyl geranyl pirofosfato (GGPP) que se lleva a cabo la biosíntesis del fitoeno, por acción de la enzima fitoeno sintasa (PSY), el cual es el primer compuesto de tipo carotenoide (Cunningham y Gantt, 1998). La desaturación de fitoeno para formar licopeno pasa a través de fitoflueno, ζ -caroteno y neurosporeno, en la cual hay cuatro desnaturalizaciones sucesivas, las dos primeras son

catalizadas por la enzima fitoeno desaturasa (PDS) y las otras dos son catalizadas por la enzima ζ -caroteno desaturasa (ZDS) (Figura 1.2) para poder formar el licopeno que es el carotenoide rojo presente en jitomates y sandías. Esta molécula de licopeno es modificada por la acción de las enzimas ϵ - y/o β -caroteno hidroxilasas y es en este punto donde la ruta se ramifica (Qin *et al.*, 2008).

Por un lado el licopeno es el sustrato de dos enzimas ciclasas, ϵ -licopeno ciclasa (ϵ -LCY) y β -licopeno ciclasa (β -LCY), las cuales actúan juntas en los extremos de la molécula conduciendo la formación de α -caroteno, que posteriormente será hidroxilado por las enzimas β -caroteno hidroxilasa (β -CHX) y ϵ -caroteno hidroxilasa (ϵ -CHX), conduciendo a la formación de luteína (Kim *et al.*, 2010).

Por otro lado la acción solo de β -LCY forma β -caroteno, que es posteriormente hidroxilado a β -criptoxantina y en zeaxantina por la enzima β -caroteno hidroxilasa (β -CHX). La zeaxantina es catalizada a violaxantina mediante la enzima zeatina epoxidasa (ZEP), luego es convertida a neoxantina por la acción de la enzima neoxantina sintasa (NSY), la neoxantina es catalizada a xantoxina mediante la enzima 9-*cis*-epoxycarotenoide dioxigenasa, y finalmente xantoxina producto de 15 carbonos que se transporta al citoplasma por un mecanismo desconocido (Qin *et al.*, 2008). La xantoxina es convertida a ABA en el citosol mediante tres posibles vías, la del ácido xantóxico, la del alcohol-abscísico y la del ABA-aldehído (ABA1d). Esta última es la más importante, en la que la xantoxina es oxidada en el citoplasma a ABA1d mediante una enzima simple SRD1 (Deshidrogenasa Reductasa de Cadenas Cortas), codificada por el gen *ABA2*, que actúa como xantonina oxidasa y transforma la xantonina en ABA1d (Chen *et al.*, 2002). Finalmente, el ABA 1d es convertido a ABA por la enzima ABA-aldehído oxidasa (AAO) (Nambara y Marion-Poll, 2005).

Todas las enzimas implicadas en la biosíntesis de carotenoides en plantas superiores están codificadas por genes nucleares y poseen en el extremo amino-terminal un péptido señal de localización en plastidios, donde tienen lugar las reacciones de biosíntesis de carotenoides (Sandmann, 1994).

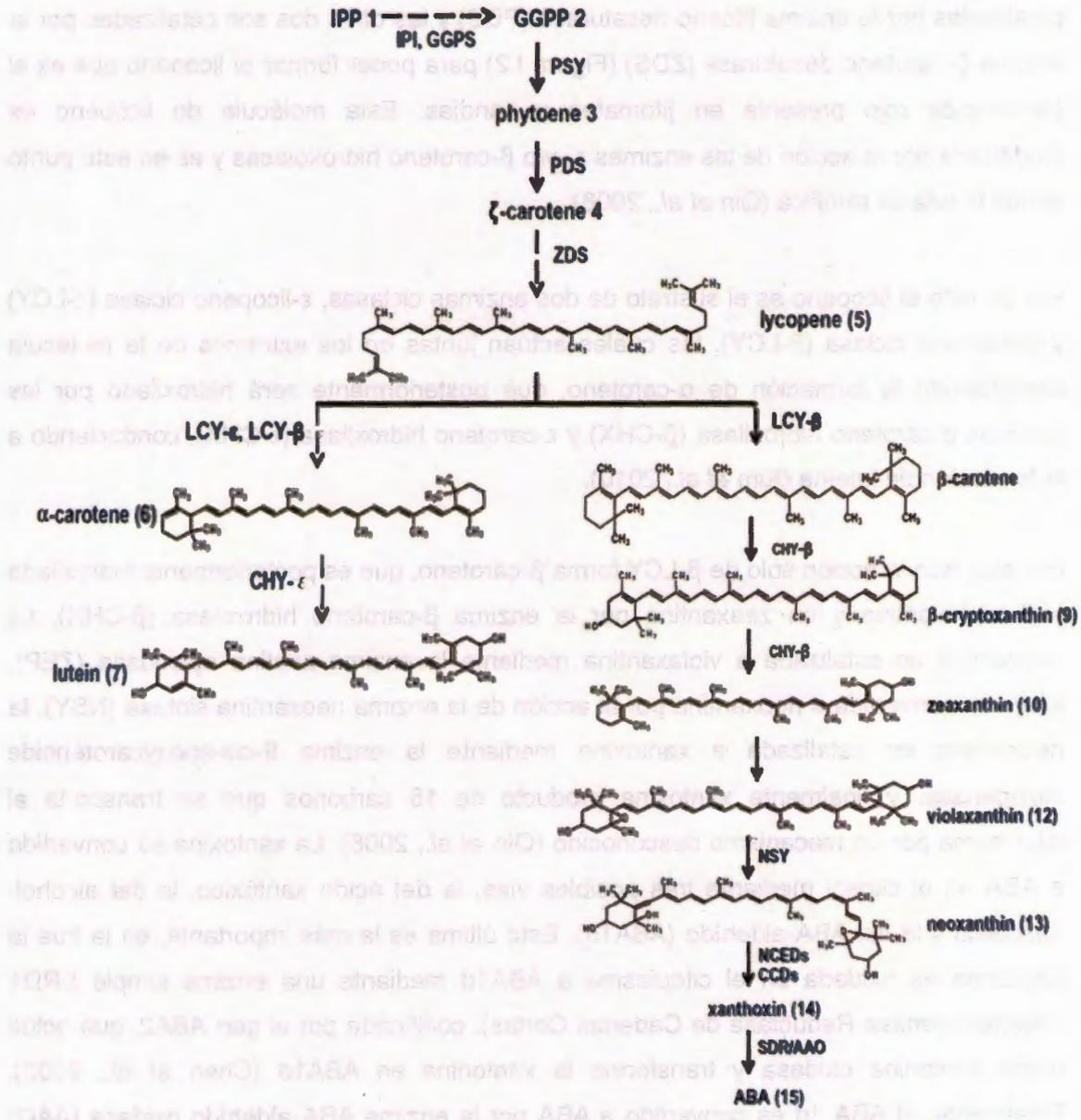


Figura 1.2. Ruta de la biosíntesis de carotenoides en plantas. Abreviaturas: IPP, isopentenil pirofosfato; IPI, isomerasa difosfato isopentenil, GGPS; sintasa geranylgeranyl pirofosfato, GGPP, geranyl geranyl pirofosfato, PSY, fitoeno sintasa; PDS, fitoeno desaturasa; ZDS, ζ-caroteno desaturasa; β-LCY, β-licopeno ciclasa, ε-LCY, ε-licopeno ciclasa; β-CHX, β-caroteno hidroxilasa; VDE; violaxantina de-epoxidasa, ZEP, zeatina epoxidasa; NSY, neoxantina sintasa; NCED, 9-*cis*-epoxycarotenoide dioxigenasa, ABA: ácido abscísico (Sun *et al.*, 2011).

I.2.6 Polifenoles

I.2.6.1 Definición

Los compuestos fenólicos o polifenoles son sustancias orgánicas ampliamente distribuidas en el reino vegetal. Se sintetizan como metabolitos secundarios con funciones de defensa, y son en gran medida responsables de las propiedades del color, la astringencia y el sabor y/o aroma de las frutas y vegetales (Kuskoski *et al.*, 2005). Se caracterizan por presentar en común un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilos y abarcan a más de 8000 compuestos distintos, además de poseer importante actividad antioxidante (Lock *et al.*, 1988; Martínez-Valverde *et al.*, 2000; Martínez-Flores *et al.*, 2002). La estructura química de los polifenoles es especialmente adecuada para ejercer una acción antioxidante que puede ser: como captadores de radicales libres, como quelantes de iones metal o mediante la interrupción de cadenas de peroxidación. Por su capacidad de inhibir, activar o proteger enzimas específicas en el organismo, los distintos polifenoles tienen cada un acción antioxidante particular. Cada polifenol actuará por uno o más de estos mecanismos según sus propiedades particulares (Saura y Jiménez, 2001).

Los polifenoles son encontrados en gran medida en las frutas tales como: uvas, manzana, papaya, cerezas y berries (moras). Los polifenoles más comunes se clasifican de acuerdo con el número de átomos de carbono del esqueleto base, como son: el grupo de los fenólicos y cinámicos de estructuras C_6-C_1 y C_6-C_3 , respectivamente: los compuestos flavonoides de estructura $C_6-C_3-C_6$ y los compuestos poliméricos lignina y taninos (Macheix *et al.*, 2000).

I.2.6.2 Clasificación de los polifenoles

Más de 8,000 compuestos polifenólicos han sido identificados en varias especies de plantas. Todos los compuestos fenólicos de plantas surgen a partir de un intermediario común, como la fenilalanina, o un precursor de cierre como el ácido shikímico. Principalmente se presentan en formas conjugadas, con uno o más residuos de azúcar ligados a grupos hidroxilo, aunque los vínculos directos del azúcar (polisacárido o

monosacárido) a un carbono aromático también existen. La asociación con otros compuestos, como los ácidos carboxílicos y orgánicos, aminas, lípidos y su unión con otro fenol es también común (Kondratyuk *et al.*, 2004). Los polifenoles pueden ser clasificados en diferentes grupos de acuerdo a su función del número de anillos de fenol que contienen y en base a la base de los elementos estructurales que se unen estos anillos el uno al otro. Las clases principales son los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos (Spencer *et al.*, 2008).

A. Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos representan aproximadamente un tercio de los compuestos polifenólicos presentes en nuestra dieta y se encuentran en todo el material vegetal, pero son particularmente abundantes en rutas de sabor ácido. Algunos de los ácidos fenólicos más comunes son: ácido cafeico, ácido gálico, el ácido ferúlico, entre otros (Shahidi *et al.*, 1995). Este grupo de polifenoles se encuentran abundantemente en los alimentos y se dividen en dos clases: los derivados de ácido benzoico y derivados del ácido cinámico. El contenido de ácido hidroxibenzoico de plantas comestibles es generalmente bajo, con la excepción de algunas frutas de color rojo, rábano negro y cebolla, que puede tener varias concentraciones de decenas de miligramos por kilogramo de peso fresco. Los ácidos hidroxicinámicos son los más comunes que los ácidos hidroxibenzoico y consisten en principalmente de p-cumárico, ácidos cafeico, ferúlico y sinápico (Shahidi *et al.*, 1995).

B. Flavonoides

Los flavonoides son polifenoles más abundantes en la dieta humana y tienen una estructura básica común que se compone de dos anillos aromáticos unidos por tres átomos de carbono que forman un heterociclo oxigenado, un anillo por lo general surge de una molécula de resorcinol, y otro anillo se deriva de la vía de shikimato (De Groot *et al.*, 1998). En base a la variación en los tipos de heterociclo involucrado, los flavonoides se pueden dividir en seis subclases: flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanoles, antocianinas y las isoflavonas. Las diferencias individuales que existen entre cada grupo

surgen debido a la variación en el número y disposición de los grupos hidroxilo y sus extensiones de alquilación y/o glicosilación (Spencer *et al.*, 2008).

C. Estilbenos

Los estilbenos contienen dos restos fenilo conectados por un puente de dos carbonos metileno. La aparición de estilbenos en la dieta humana es bastante bajo. La mayoría de los estilbenos en plantas actúan como fitoalexinas, antifúngicos, compuestos que se sintetizan sólo en respuesta a la infección o lesión. Uno de los estilbenos más estudiados de origen natural es el resveratrol (3,4',5-trihidroxiestilbeno), que se encuentra en las uvas en gran medida. Un producto de la uva, el vino tinto contiene significativa cantidad de resveratrol (Spencer *et al.*, 2008).

D. Lignanós

Los lignanos son compuestos difenólicos que contienen 2,3- dibencilbutano una estructura que está formada por la dimerización de dos restos de ácido cinámico. Varios lignanos tales como el secoisolariciresinol, está considerado como precursor del fitoestrógeno. La fuente dietética más rica es la linaza, el cual contiene secoisolariciresinol (hasta 3,7 g/Kg de peso seco) y pequeñas cantidades de matairesinol (Adlercreutz *et al.*, 1997). En la Figura I.3., se ilustran los diferentes grupos de polifenoles y sus estructuras químicas en base al número de anillos de fenol que contienen y de los elementos estructurales que se unen a estos anillos el uno al otro.



Figura I.3. Estructura química de las diferentes clases de polifenoles. Estos son ampliamente divididos en: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos (Spencer *et al.*, 2008).

I.2.6.3 Funciones de los polifenoles en las plantas

Los polifenoles son importantes para la fisiología de las plantas pues contribuyen a la resistencia de microorganismos e insectos y ayudan a preservar su integridad por su continua exposición a ambientes estresantes, incluyendo radiaciones ultravioletas y relativamente altas temperaturas, los fenoles suelen acumularse en las capas más superficiales de los vegetales y captan hasta el 90% de las radiaciones UV, impidiendo los efectos nocivos de estas radiaciones en los tejidos internos de la planta.

Los fenoles desempeñan importantes funciones fisiológicas en los vegetales, en general y debido a su condición de polifenoles se oxidan con mucha facilidad y actúan como antioxidantes. También de una forma bastante general, los fenoles actúan como inhibidores del crecimiento de las plantas, aunque se han encontrado algunas estructuras, que de forma específica lo activan, al inhibir la degradación de una hormona vegetal que es la auxina. Particularmente, las semillas acumulan importantes cantidades de fenoles en sus cubiertas que actúan como un filtro para que el oxígeno no llegue al embrión, inhibiendo su germinación. Pero las acciones más características de estos compuestos son establecer relaciones químicas de las plantas con su entorno, es decir las relaciones entre plantas, las relaciones con insectos o vertebrados y las relaciones con microorganismos. Los fenoles son componentes de esencias y pigmentos de las flores que confieren aromas y coloraciones atrayentes de insectos, con lo que se favorece el proceso de floración, en las plantas polinizadas por insectos. Del mismo modo, los fenoles también confieren aromas y colores a los frutos que los hacen apetecibles para los herbívoros, con lo que se favorece la dispersión de semillas con las heces.

Las plantas compiten entre ellas para preservar sus territorios y en esta lucha (alelopatía), participan los fenoles, como el ácido salicílico, que sintetizan algunas especies vegetales y son tóxicas para otras, impidiendo por ello su desarrollo. A nivel de microorganismos, las plantas se defienden del ataque de patógenos sintetizando fitoalexinas, mayoritariamente polifenoles, que son tóxicos para los microorganismos y su presencia previene las infecciones. También los fenoles protegen a las plantas generando sabores (principalmente amargos) o texturas (los taninos) que resultan desagradables para los herbívoros, por lo que este tipo de animales se nutren de otras plantas (Palazón, 2001).

I.2.6.4 Ruta de la biosíntesis de los polifenoles

La biosíntesis de polifenoles en las plantas inicia a partir de dos rutas básicas las cuales constituyen grupos heterogéneos: la vía del ácido shikímico y la vía del ácido malónico. La vía del ácido shikímico participa en la biosíntesis de muchos polifenoles en las plantas y la vía del ácido malónico, aunque son fuente importante de productos polifenólicos secundarios en hongos y bacterias, son de menor significancia en las plantas superiores. La mayor clase de polifenoles en plantas derivados de la vía del ácido shikímico, inicia con la molécula de la fenilalanina que mediante la eliminación de una molécula de amonio forma el ácido cinámico. Esta reacción es catalizada por la fenilalanina amonio liasa (PAL), la regulación de la actividad de Fenilalanina Amonio Liasa (PAL) en las plantas es compleja, debido a que existen múltiples genes que codifican para PAL, algunos de estos genes son expresados en tejidos específicos o bajo condiciones de desarrollo (Logemann *et al.*, 1995). Como se muestra en la Figura I.4 los polifenoles en las plantas superiores son biosintetizados a partir de diferentes vías. Muchos polifenoles son derivados por al menos una parte de fenilalanina, un producto de la vía del ácido shikímico.

Reacciones subsecuentes para catalizar PAL es la adición de muchos grupos hidroxilos y otros sustituyentes. El ácido *trans*-cinámico, ácido *p*-coumarico y sus derivados son componentes fenólicos simples nombrados fenilpropanoides, porque estos contienen un anillo benceno y tres carbonos de cadena sencilla. Los fenilpropanoides son importantes debido a que forman bases para la formación de compuestos fenólicos más complejos (Inderjit *et al.*, 1995).

Como se muestra en la Figura I.4 la formación de polifenoles en las plantas incluyen fenilpropanoides simples, coumarinas, derivados del ácido benzoico, ligninas, antocianinas, isoflavones, taninos condensados y otros flavonoles.

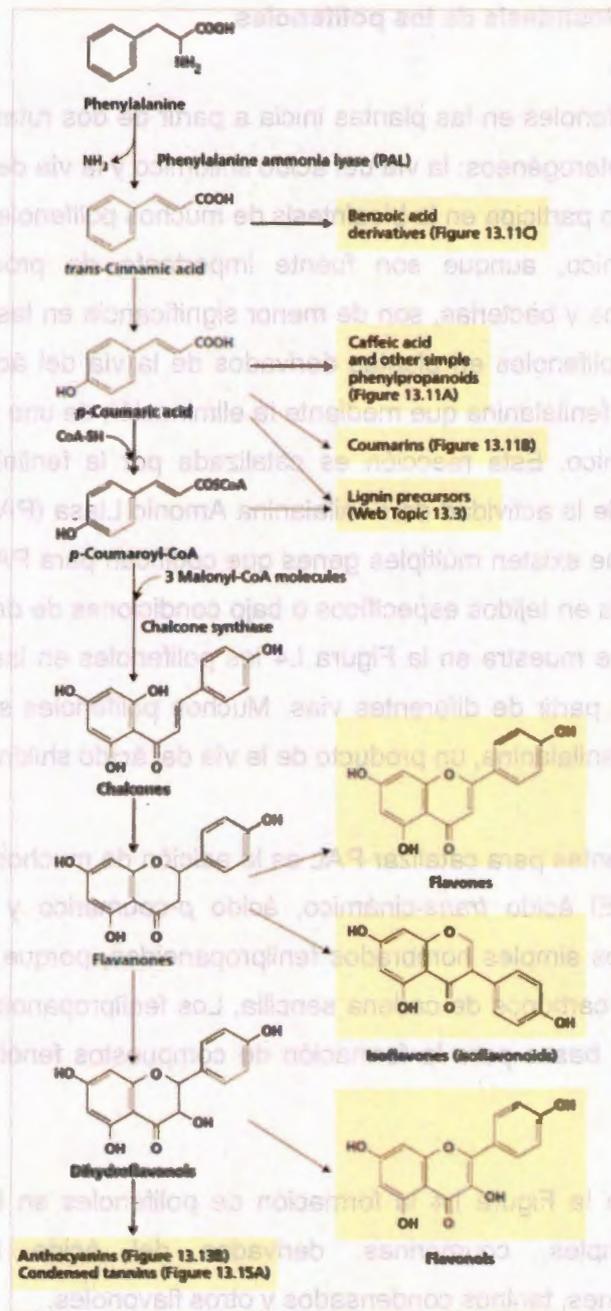


Figura I.4. Biosíntesis de polifenoles derivados de la fenilalanina (Inderjit *et al.*, 1995).

I.3 JUSTIFICACIÓN

Más de dos billones de personas, un tercio de la población mundial, sufre por deficiencias por vitamina A, esto, debido a que la principal fuente de vitamina A para el hombre es de alimentos de origen animal (hígado, leche y productos lácteos, pescados y carne), la cual está fuera del alcance de la mayoría de las personas en países poco desarrollados (Adewusi y Braddury, 1993). En países pobres la población tiene dietas simples, compuestas principalmente de unos pocos alimentos básicos (trigo, arroz y maíz), los cuales son pobres en algunos macronutrientes y muchos micronutrientes esenciales. Debido al elevado costo de los alimentos derivados de animales, los carotenoides representan la principal fuente de precursores de vitamina A (cerca del 40 al 60%) presentes en los vegetales (Zimmermann y Hurrell, 2002). La papaya (*Carica papaya* L.) representa una importante fuente dietética de vitamina A debido a su contenido de carotenoides como β -caroteno y β -criptoxantina, precursores de esta vitamina. Las variedades de papaya exhiben una diferencia con el color de su cáscara y pulpa, por tal motivo es de interés establecer la composición de pigmentos en frutos y establecer las comparaciones cuantitativas. Así también, la papaya contiene polifenoles, que actúan como antioxidantes captando radicales libres causantes del estrés oxidativo (Kuskoski *et al.*, 2005), poseen actividades microbidas contra bacterias patógenas en diferentes partes del tracto digestivo (Scalbert, 1991; Cowan, 1999), poseen actividades anti-inflamatoria y antialérgica (Kuskoski *et al.*, 2005), su consumo podría ayudar a prevenir y atenuar el daño asociado con la prevención de enfermedades crónicas tales como el cáncer, la diabetes y enfermedades cardiovasculares, circulatorias y neurológicas. (Corral, *et al.*, 2008; Murakami, *et al.*, 1994). Es por ello, el enorme interés en la búsqueda de antioxidantes de origen natural para su uso en alimentos o materiales medicinales para reemplazar los antioxidantes sintéticos (Parr y Bolwell, 2000). Por tal motivo en el presente trabajo existe un interés por identificar y cuantificar los carotenoides y polifenoles presentes en diferentes líneas de papaya comerciales y silvestres, pues muchos de estos compuestos han demostrado tener importantes acciones biológicas no sólo en las plantas, sino también en el hombre, por lo que cada vez más, intentan asociarse con la salud.

I.4 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

La presente tesis se divide en cinco capítulos. Inicialmente se recolectaron frutos de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración, a todos los frutos se les realizó una caracterización fisicoquímica (Capítulo II). Posteriormente a estos frutos se les realizó una caracterización del perfil metabólico de polifenoles (Capítulo III) y carotenoides (Capítulo VI).

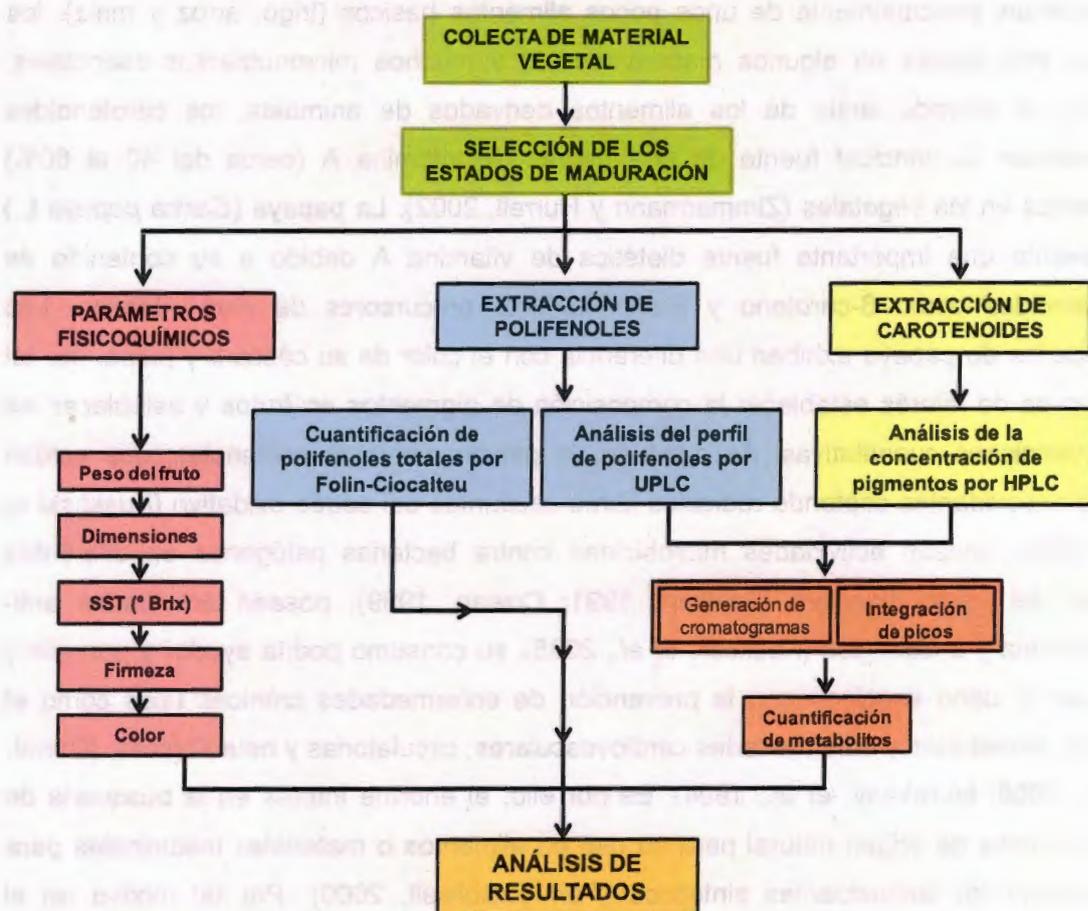


Figura I.5. Esquema de la estrategia experimental del proyecto de tesis: Aspectos fisicoquímicos y caracterización de polifenoles y carotenoides durante la maduración postcosecha de frutos de papaya (*Carica papaya* L.).

I.5. REFERENCIAS

- Adlercreutz H. and Mazur W. (1997) Phyto-oestrogens and Western diseases. *Annals of Medicine*. **29**: 95-120.
- Bartley G.E. and Scolnik P.A. (1995) Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. *Plant Cell*. **7**: 1027-1038.
- Bartley G.E. and Scolnik, P.A. (1995) Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *Plant Cell*. **5**: 379-387.
- Bertram J.S. and Vine A.L. (2005) Cancer prevention by retinoids and carotenoids: independent action on a common target. *Biochimica et Biophysica Acta*. **1740**:170-178.
- Bouvier F., Rahier A. and Camara B. (2005) Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids. *Progress in Lipid Research*. **44**: 357-429.
- Britton G. (1998) Overview of carotenoid biosynthesis. En: G. Britton S., Liaaen J. and H. Pfander (Eds.), *Biosynthesis and Metabolism*: 13-148. Basel: Birkhäuser Verlag.
- Broun P. and Somerville C. (2001) Progress in plant metabolic engineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. **98**: 8925-8927.
- Bruno R.S. and Medeiros D.M. (2000) Lutein, zeaxanthin, and age-related macular degeneration. *Journal Nutraceut.Function Med Foods*. **3**:79-85.
- California Rare Fruit Growers, Inc. (CRFG). (1998) *Fruit Facts*, Volumen 1.
- Chen W.Q., Provat N.J., Glazebrook J., Katagiri F., Chang H.S., Eulgem T., Mauch F., Luan S., Zou G.Z., Whitham S.A., Budworth P.R., Tao Y., Xie Z.Y., Chen X., Lam

S., Kreps J.A., Harper J.F., Si-Ammour A., Mauch-Mani B., Heinlein M., Kobayashi K., Hohn T., Dangl J.L., Wang X., Zhu T. (2002) Expression profile matrix of *Arabidopsis* transcription factors genes suggests their putative functions in response to environmental stresses. *Plant Cell*. **14**: 559-574.

Corral-Aguayo R.D., Yahia E.M., Carrillo-Lopez A. and González-Aguilar G. (2008) Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **56**:10498-10504.

Cowan M.M. (1999) Plants products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*. **12**: 564-582.

Cunningham F.X. and Gantt E. (1998) Genes and enzymes of carotenoids biosynthesis in plants. Annual Review of Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*. **49**: 557-583.

De Groot H. and Rauen U. (1998) Tissue injury by reactive oxygen species and the protective effects of flavonoids. *Fundamental & Clinical Pharmacology*. **12**: 249-55.

De los Santos F., Becerra L.E.N., Mosqueda V.R., Vásquez H.A. y Vargas G.A.B. (1997) Manual de producción de papaya en el estado de Veracruz. SAGAR-INIFAP *Folleto Técnico*, No.17.

Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USDA. (2007) National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21. *Nutrient Data Laboratory Home Page*, <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>.

FAOSTAT. (2007) Food and Agriculture Organization of the United Nations: Crop production statistics. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Accessed 03 Nov. 2008.

- FAOSTAT. (2008) Base de Datos de la faostat. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en:<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=es#ancor>
Revisado: 10 Nov 2012.
- Giovannucci E. (1999) Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiological literature. *Journal of the National Cancer Institute*. **91**: 317-331.
- Gobierno del Estado de Yucatán (1999) Seminario de Papaya Maradol 1999. Mérida, Yucatán. 17 de noviembre de 1999. pp: 1-5.
- Gross J. (1987) Pigments in fruits. London: Academic Press pp. 303.
- Grotewold E. (2006) The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Reviews of Plant Biology*. **57**: 761-780.
- Hernández C.E., Nava A.D., Brito G.T., García S.F. y Moreno M.A. (2007) Validación del manejo integrado del virus de la mancha anular del papayo (*Carica papaya* L.) cv. Maradol roja en la Costa de Guerrero, México. *CitriFrut*. **24**: 69-74.
- Inderjit Dakshini K.M.M. and Einhelling F.A. (1995) Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications. ACS Symposium series American Chemical Society, Washington, D. C.
- Kim M., Kim S.C., Song K.J., Kim H.B., Kim I.J., Young E.S. and Chun S.J. (2010) Transformation of carotenoid biosynthetic genes using a micro-cross section method in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). *Plant Cell Reports*. **9**:1339-1349.
- Kondratyuk T.P. and Pezzuto J.M. (2004) Natural Product Polyphenols of Relevance to Human Health. *Pharmaceutical Biology*. **42**:46-63.

- Kuskoski E., Asuero A, Troncoso A., Mancini-Filho J. Fett R. (2005) Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. **25**: 726-732.
- Lee Geum Ju, Chung Hwan Wook, Lee Ki Heon and Ahn Hong Seok. (2005) Antioxidant vitamins and lipid peroxidation in patients with cervical intraepithelial neoplasia. *Journal of Korean Medical Science*. **20**:267-72.
- Lock O. (1988) Investigación fitoquímico. Ed. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, pp. 213.
- Macheix J.J., Fleuriet A., and Billot J. (2000) Fruit phenolics. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp. 1-98.
- Martínez F.S., Gonzales G.J., Culebras J.M. and Tuñón M.J. (2002) Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. **6**: 271-278.
- Martínez V., Periago I.M.J. and Ros G. (2000) Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **50**:5-18.
- Ming R., Yu Q., Blas A., Chen C., Na J.K. and Moore P.H. (2008) Genomics of papaya, a common source of vitamins in the tropics. *Genomics of Tropical Crop Plants*. New York, USA: Springer-Verlag, pp. 405-420.
- Mordi R.C. (1993) Carotenoids: functions and degradation. *Chemistry and Industry*. **3**: 79-83.
- Moret Yuli, López Jeaneth y Sánchez Carlos. (2010) Quimiopreención de condiciones potencialmente malignas y cáncer bucal. *Acta Odontológica Venezolana*. **48**:1-8.

- Murakami A., Ohigashi H. and Koshimizu K. (1994) Possible anti-tumor promoting properties of traditional Thai foods and some of their active constituents. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. **3**:185-191.
- Muñoz de Chávez M., Chávez V.A., Roldán A., Ledesma S., Mendoza M.E., Pérez- Gil R.F., Hernández C. y Chaparro F. (1996) Papaya. En Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en Latinoamérica. (pp. 136). México: Editorial Pax México.
- Nambara E., Marion P.A. (2005) Abscisic acid biosynthesis and catabolism. *Annual Review of Plant Biology*. **56**: 165-185.
- Nana C.P., Brouwer I.D., Zagré N.M., Kok F.J. and Traoré A.S. (2005) Community assessment of availability, consumption, and cultural acceptability of food sources of (pro) vitamin A: toward the development of a dietary intervention among preschool children in rural Burkina Faso. *Food and Nutrition Bulletin*. **26**: 356-365.
- Parr A.J. and Bolwell G.P. (2000) Phenols in plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **80**: 985-1012.
- Palace V.P., Khaper N., Qin Q. and Singal P.K. (1999) Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. *Free Radical Biology & Medicine*. **26**:746-761.
- Palazón J., Cusidó R.M. y Morales C. (2001) Metabolismo y significación biológica de los polifenoles del vino. Grupo de Biotecnología Vegetal, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona. *Revista de Enología*. **9**: 23-27.
- Qin X.Q., Yang S.H., Kepsel A.C., Schwartz S.H., Zeevaart J.A. (2008) Evidence for abscisic acid biosynthesis in *Cuscuta reflexa*, a parasitic plant lacking neoxanthin. *Plant Physiology*. **147**: 816-822.

- Rodríguez Amaya D.B. and Amaya Farfán J. (2003) Estado actual de los métodos analíticos para determinar provitamina A. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **42**: 180-191.
- Rotondo Rosana, Ferratto Jorge Adrián y Firpo Inés Teresa. 2008. Alimentos y salud. Hortalizas mínimamente procesadas o de IV gama. *Revista Agromensajes*. 26. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/26/3AM26.htm>
- Sandmann G. (1994) Phytoene desaturase, Genes, enzymes and phylogenetic aspects. *Plant Physiology*. **143**: 444-447.
- Santamaría B.F., Suri D.E., Espadas G.F., Raúl D.P., Larqué S.A., y Santamaría, F.J. (2009) Postharvest ripening and maturity indices for maradol papaya. *Interciencia*. **34**: 584-588.
- Scalbert A. (1991) Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry* **30**: 3875-3883.
- Seddon J.M., Ajami U.A., Sperato R.D., Hiller R., Blair N., Burton T.C., Farher M.D., Gragoudas E.S., Haller J., Miller D.T., Yannazzi L.A., Willett W. (1994) Dietary carotenoids, vitamin A, vitamin C, and vitamin E and advance age-related macular degeneration. *Journal of the American Medical Association*. **272**: 1413-1420.
- Shahidi F., Naczk M. Food phenolics, sources, chemistry, effects, applications. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co Inc, 1995.
- Sistema Producto Papaya (2010) Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial internacional de papaya mexicana e identificación de necesidades de infraestructura logística. pp. 5-10.
- Spencer J.P., Abd El Mohsen M.M., Minihane A.M., Mathers J.C. (2008) Biomarkers of the intake of dietary polyphenols: strengths, limitations and application in nutrition research. *British Journal of Nutrition*. **99**:12-22.

- Umeno D., Tobias A.V. and Arnold F.H. (2005) Diversifying of *Bixa orellana* L. seeds by thin layer chromatography. *Mikrochimica Acta*. **76**:11-16.
- Vázquez G.E., Erick E., Avendaño R., y Ariza F.R. (2008) Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de Taumalipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. **31**: 45-48.
- WHO (2007) Vitamin A deficiency. World Health Organization. <http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en>. Accessed 01 Sept 2007.
- WHO (2009) Global prevalence of vitamin A deficiency in populatios at risk 1995-2005. WHO *global database on vitamin A deficiency*. pp. 1-18.
- Wise R.R. (2006) The diversity of plastids form and fuction, in *The structure and function of plastids*, Wise RR and KJ Hooper (eds). Springer, The Netherlands. pp. 3-26.

CAPÍTULO II

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS DE DIFERENTES LÍNEAS
DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN DIFERENTES ESTADOS
POSTCOSECHA****II.1. INTRODUCCIÓN**

La papaya es un fruto climatérico de corta vida de anaquel que se cosecha en madurez fisiológica para extender su periodo de comercialización (Quintana y Paull, 1993; Paull *et al.*, 1997). El fruto produce etileno que regula cambios en composición y estructura durante la maduración del fruto, como disminución del contenido de clorofila (Urbano *et al.*, 2004), incremento de carotenoides (Chandrika *et al.*, 2003) e hidrólisis de pectinas y hemicelulosas (Paull *et al.*, 1999).

Debido a esto el fruto de papaya sufre una serie de cambios fisicoquímicos después de la cosecha, la calidad nutricional del fruto puede verse afectada por las prácticas postcosecha (Hewett, 2006). Los cambios que se dan durante la maduración de los frutos incluyen modificaciones de la estructura de la pared celular, conversión de almidón a azúcares, alteración en la biosíntesis y acumulación de pigmentos e incremento de los niveles de sabor y compuestos volátiles aromáticos (Giovannoni, 2001).

En nuestro estudio, se realizaron evaluaciones de rasgos morfológicas y fisicoquímicos de fruta como el total de sólidos solubles, acidez, firmeza y color a^* , b^* , L^* , $^{\circ}$ Hue y Cromo de la cáscara y pulpa. Los valores de color deben estar relacionados con el desarrollo de carotenoides durante la maduración de la fruta y se compararon con un análisis de perfil de los carotenoides por UPLC. Por otra parte, un índice de madurez relativa debe ser derivado de los parámetros que permiten la asignación exacta de los perfiles de los carotenoides para distintos estados de madurez.

II.2. HIPÓTESIS

Los cambios fisicoquímicos ocurridos durante la maduración postcosecha en frutos de *Carica papaya* L. tanto en líneas comerciales como en líneas silvestres, podrían indicar el estado de acumulación de polifenoles y carotenoides durante la maduración. Por lo que es importante evaluar parámetros como °Brix, firmeza y valores de color, para poder obtener una asignación exacta de lo que ocurre en cada estado de maduración y correlacionarlos con los perfiles metabólicos de polifenoles y carotenoides estudiados en los subsecuentes capítulos.

II.3. OBJETIVO

II.3.1. Objetivo general

- Caracterizar fisicoquímicamente frutos de cuatro líneas de *Carica papaya* L. durante diferentes estados de maduración postcosecha.

II.3.2. Objetivos particulares

- Caracterizar parámetros morfométricos como peso, largo y ancho de los frutos de cuatro líneas de papaya en diferentes estados de maduración postcosecha: Verde (V), Madurez Fisiológica (MF), Estado 1 (EDO1), Estado 2 (EDO2) y Madurez de Consumo (MC).
- Caracterizar °Bx y firmeza en cáscara y pulpa de los frutos de cuatro líneas de papaya en diferentes estados de maduración postcosecha: V, MF, EDO1, EDO2 y MC.
- Evaluar parámetros de color como a*, b*, L*, °Hue y Croma en cáscara y pulpa de los frutos de cuatro líneas de papaya en diferentes estados de maduración postcosecha: V, MF, EDO1, EDO2 y MC.

II.4. MATERIALES Y MÉTODOS

II.4.1. Material vegetal

Se colectaron frutos verdes y frutos en estado de madurez fisiológica de *Carica papaya* L. en diferentes localidades del Estado de Yucatán de la siguiente manera: las líneas comerciales “**Mulata**” (color pulpa rojo) y “**Cubana**” (color pulpa amarilla) fueron obtenidas de la plantación comercial de papaya “Rancho Alegre” ubicado en el Km 12 Carretera Colonia Yucatán-El Cuyo, Tizimín, Yucatán. Los frutos de línea silvestre “**CY**” de color de pulpa amarillo se obtuvieron del municipio de Tizimín y frutos de línea silvestre “**KT**” de color de pulpa amarillo se obtuvieron en el poblado de Kantunil (Figura II.1).

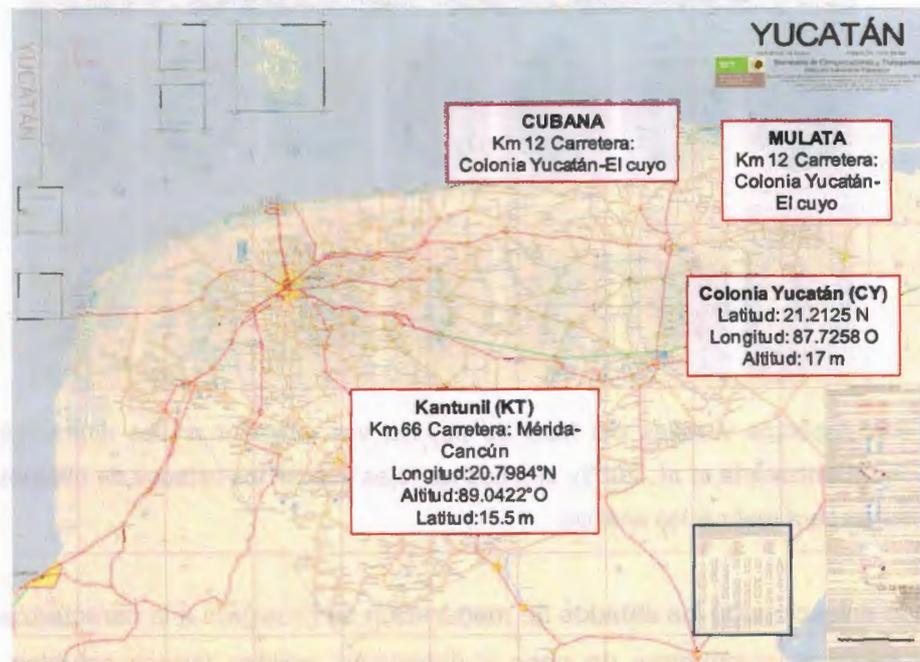


Figura II.1. Mapa del estado de Yucatán. Regiones de colecta del material vegetal.

Los frutos fueron transportados al Laboratorio de Fisiología Molecular Vegetal del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), donde fueron lavados con detergente líquido y tratados con fungicida, los frutos secos fueron envueltos en papel y empacados a una temperatura de almacenamiento de 23 °C para su maduración postcosecha.

II.4.2. Selección de los estados de maduración

De acuerdo con la escala de maduración postcosecha establecida por Santamaría *et al.* (2009) en su artículo: "Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya", se establecieron siete estados de maduración., para este trabajo únicamente se seleccionaron cinco estados de maduración en los cuales se presentan cambios de coloración más evidentes, los cuales son los siguientes: Verde (V), Madurez Fisiológica (MF), Estado 1 (EDO1), Estado 2 (EDO2) y Madurez Comercial (MC) en frutos de las líneas comerciales y silvestres de papaya (Mulata, Cubana, CY y KT) (Figura II.2).

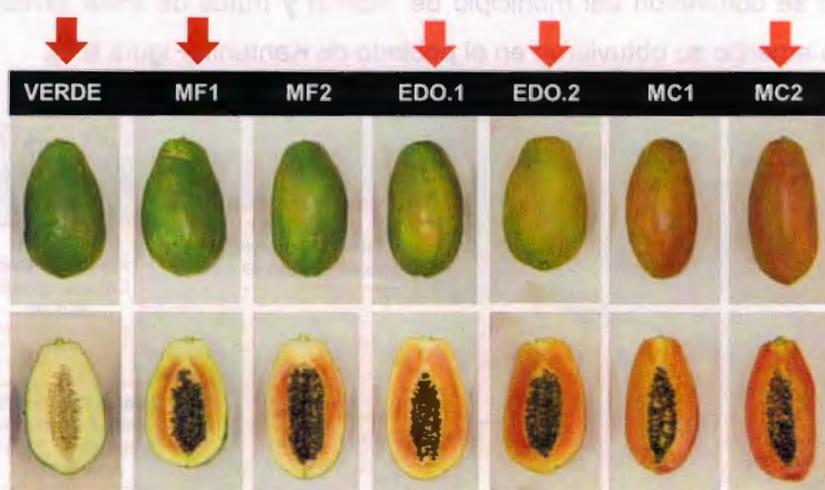


Figura II.2. Aspectos visuales del fruto de papaya var. Maradol en las diferentes etapas de maduración (Santamaría *et al.*, 2009). Las flechas rojas indican los estados de maduración que se seleccionaron para realizar los análisis.

Habiendo seleccionado los estados de maduración se prosiguió a la caracterización de los frutos evaluando parámetros de peso y dimensión, sólidos totales solubles, firmeza y color, para determinar las características más representativas de cada estado de maduración para las líneas de estudio.

II.4.3. Análisis fisicoquímicos en frutos de papaya

II.4.3.1. Determinación de peso y dimensiones de los frutos

Mediante una balanza se determinó el peso fresco del fruto para cada estado de maduración en cada línea respectivamente. Para obtener las dimensiones de los mismos se utilizó papel milimétrico y una regla, determinando las dimensiones del fruto, tales como: longitud máxima (Lmax) y el diámetro máximo del fruto (Dmax).

II.4.3.2. Determinación de sólidos totales solubles

Se tomó una muestra de 20 g de pulpa fresca, se trituró en una batidora de inmersión y se aforó a 200 ml con agua destilada con lo cual se tuvo una dilución al 10 % en P/V. Los sólidos totales solubles se midieron colocando una gota de la dilución de la pulpa previamente filtrada en un refractómetro digital (Palette PR-101α), posteriormente, se realizó el cálculo considerando el factor de dilución, los resultados se reportan como °Brix.

II.4.3.3. Determinación de firmeza

La evaluación de firmeza se utilizó un penetrómetro Chatillon, modelo FT 011 (John Chatillon Sons, Inc; New York, N.Y.), el cual penetró en las porciones de pulpa de tamaño aproximado de 4.5 cm x 4.5 cm a las cuales se les eliminó la cáscara, a una profundidad de 15 mm y una velocidad de 25 mm/min. Los resultados se expresaron como la fuerza Newton (N) necesaria para penetrar o romper la pulpa del fruto.

II.4.3.4. Determinación de color

Se midió el color de la cáscara y pulpa de papaya a partir de tres réplicas por fruto usando un colorímetro de triestímulo por reflectancia Minolta CR-200. Los datos se reportan en valores a^* , b^* L^* de la escala CIELAB, donde el valor negativo y positivo de a^* , nos indica una coloración de verde a roja, de igual forma b^* nos indica una coloración de azul a amarillo y L^* nos indica luminosidad; los valores a^* y b^* fueron usados para calcular Hue [$H = \arctan(b^*/a^*)$] y valores Croma ($C = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$) (McGuire, 1992).

II.5. RESULTADOS

II.5.1. Estados de maduración evaluados en *Carica papaya* L.

En la Figura II.3, se observan las características visuales de los diferentes estados de maduración que seleccionados (V, MF, EDO1, EDO2 y MC) de cuatro líneas contrastante de *Carica papaya* L., (Mulata, Cubana, CY y KT). Para el estado V los frutos presentaban un color de pulpa totalmente blanca, sus semillas se observaron formadas y tenían una coloración blanca, para el estado MF los frutos presentaban un cambio de color o primera franja amarilla en la cáscara. En el EDO1 los frutos exhibían una franja de color anaranjado y la pulpa de coloración naranja. Para el EDO2 tenían un marcado color naranja en cáscara y pulpa. En el estado MC los frutos presentaron prácticamente toda la cáscara y pulpa de color amarillo, naranja o rojo dependiendo de las características de cada línea.

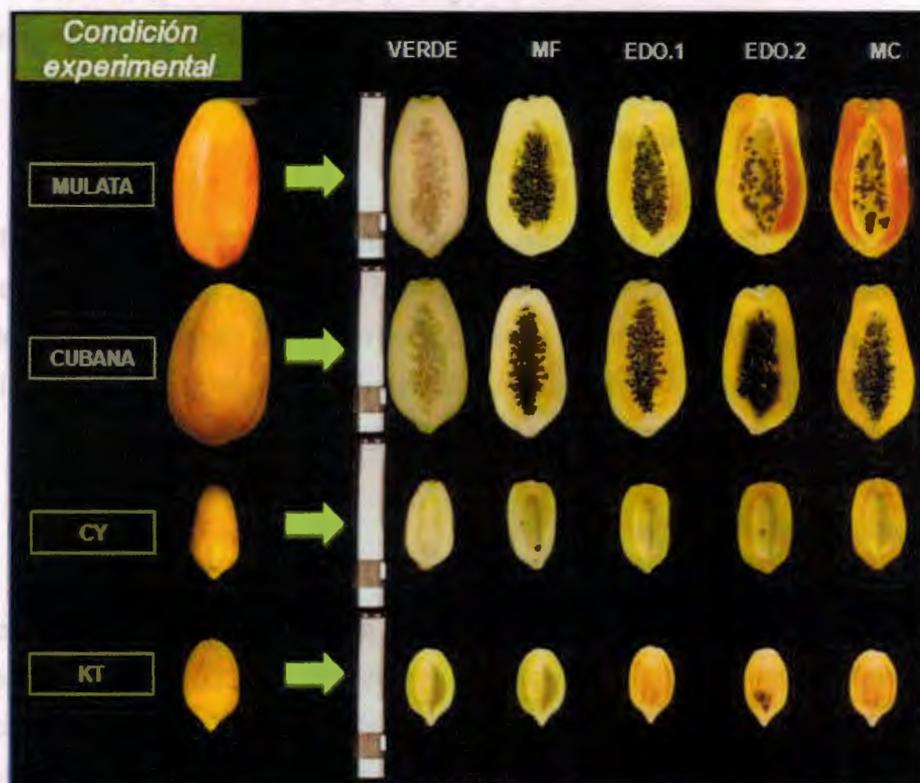


Figura II.3. Clasificación de los estados de maduración de frutos de papaya. Las dos primeras líneas son frutos comerciales (Mulata y Cubana) y las últimas dos líneas son frutos silvestres (CY y KT).

II.5.2. Determinación de peso y dimensiones de los frutos

En la siguiente Figura II.4 se aprecia el peso expresado en gramos obtenido de los frutos de cuatro líneas de *Carica papaya* L. Los resultados indican que los frutos de las líneas silvestres (CY y KT) son más pequeños y por lo tanto tienen un peso menor en comparación a los frutos de las líneas comerciales (Mulata y Cubana). Para la línea silvestre KT los valores de los frutos oscilan entre 250 a 300 g, los frutos de la línea silvestre CY son un poco mayores que los anteriores llegando a pesar entre 75 a 100 g, para las líneas comerciales Mulata y Cubana, los frutos en sus diferentes estados de maduración presentaron pesos similares en valores que van de 1100 a 1600 g.

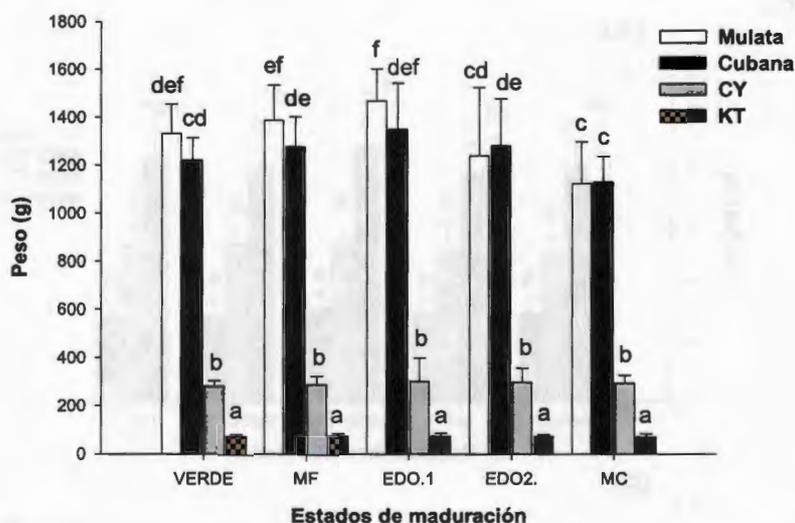


Figura II.4. Peso en gramos en frutos comerciales Mulata y Cubana y de frutos silvestres CY y KT, en diferentes estados de maduración.

Se observó que en las líneas comerciales el peso de los frutos en cada estado de maduración varía, los primeros dos estados de maduración (V y MF) hay un leve incremento con respecto al peso, sin embargo, en el EDO1 se reportó el mayor incremento en relación a peso de los frutos, por último, en los subsecuentes estados de maduración (EDO2 y MC) se observó disminución en la pérdida de peso equivalente al 10% del peso total alcanzado por fruto.

En la Figura II.5.A se ilustra la longitud y en la Figura II.5.B se observa el diámetro ecuatorial de los frutos en diferentes estados de maduración correspondiente a las líneas comerciales (Mulata y Cubana) y las silvestres (CY y KT). Los resultados indican que los frutos de las líneas silvestres (CY y KT) son más pequeños y por lo tanto, tienen un peso menor en comparación a los frutos de las líneas comerciales (Mulata y Cubana). La longitud de frutos correspondiente a la línea silvestre KT osciló entre 6 a 8 cm y con diámetro ecuatorial de 5 a 6 cm, para los frutos de las líneas silvestres CY, los frutos fueron más grandes con una longitud de 12 a 15 cm y de 6 a 8 cm de diámetro ecuatorial. Como era de esperarse las líneas comerciales fueron más grandes, en la línea comercial Mulata los frutos tenían de 20 a 25 cm de longitud y de 11 a 13 cm de diámetro ecuatorial, para la línea comercial Cubana presentaron longitudes de 19 a 23 cm y de 10 a 13 cm de diámetro ecuatorial.

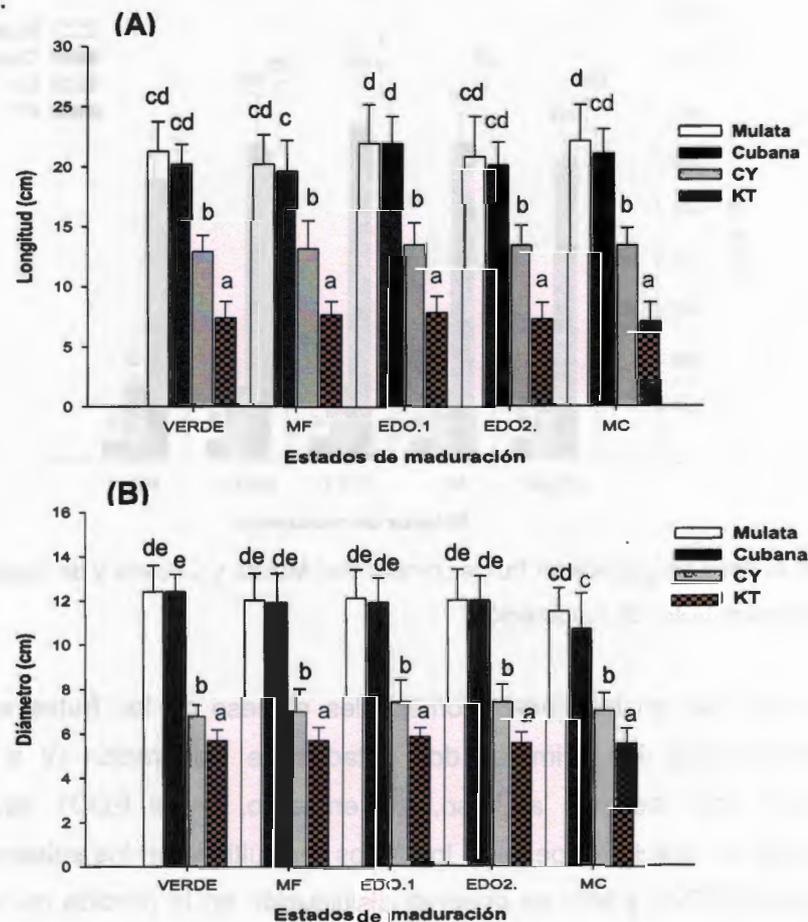


Figura II.5. Longitud (A) y diámetro ecuatorial (B) en frutos de cuatro líneas de papaya (Mulata, Cubana, CY y KT) en función a los estados de maduración.

II.5.3. Determinación de sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) en todas las líneas fueron incrementando durante la maduración. Las líneas comerciales Mulata (5.7 a 7.3 °Bx) y Cubana (6.5 pasó a 8.5 °Bx) el incremento de SST fue menor en comparación con las líneas silvestres KT (7.1 a 8.8 °Bx) y CY (7.5 a 9.1 °Bx) (Figura II.6). En el estado de Madurez Fisiológica (MF) el incremento fue gradual, observándose que en el estado 1 (EDO1) las líneas comerciales Mulata y Cubana el contenido de SST fue menor (9 y 9.4 °Bx, respectivamente), mientras que las silvestres KT y CY fue mayor (9.9 y 10.4 °Bx, respectivamente). En el estado 2 (EDO2), se observó que las líneas Mulata, Cubana y KT presentaron valores similares (10.5, 10.4 y 10.5 °Bx, respectivamente), siendo la línea silvestre CY la que presentó el mayor contenido de SST con 11.3 °Bx. En el estado de Madurez de Consumo (MC) todas las líneas alcanzaron su mayor concentración de SST, siendo los frutos de la línea CY los más dulces con un contenido de 12.01 °Bx, seguida por la línea Mulata con 11.78 °Bx, la línea Cubana con 11.5 °Bx y por último, la línea silvestre KT con 11.4 °Bx.

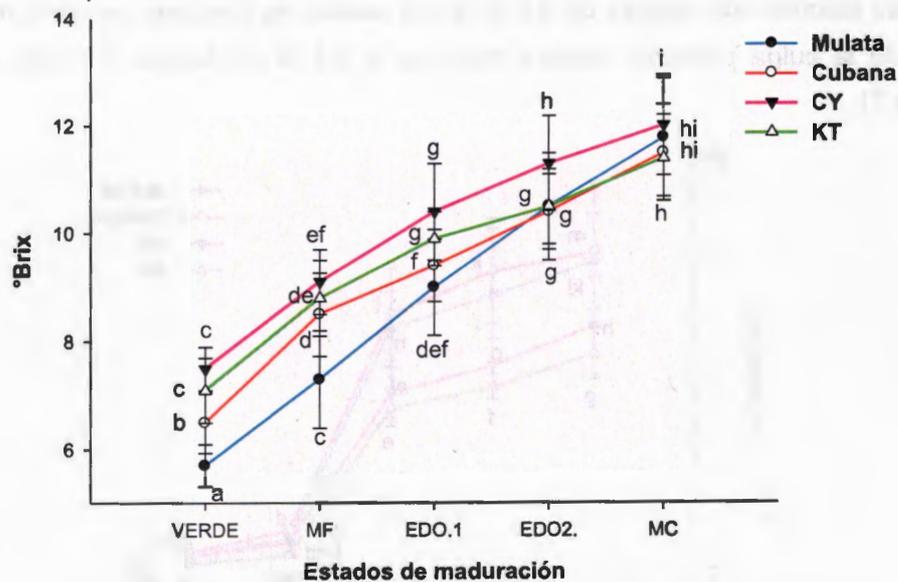


Figura II.6. Sólidos solubles totales (SST) representado como °Brix en frutos de papaya comerciales Mulata, Cubana y de frutos silvestres CY, KT en diferentes estados de maduración.

II.5.5. Determinación de Firmeza

La firmeza en la pulpa de los frutos de papaya en los estados V, MF y EDO1 fue mayor en las líneas comerciales en comparación con las líneas silvestres. En el estado V las líneas Mulata y Cubana presentaron valores de 14.99 y 15.47 N, respectivamente, mientras que los frutos de las líneas CY y KT fueron más blandos (11.90 y 10.56 N, respectivamente). En el estado MF se presentaron los siguientes valores: 13.39 N en la línea Mulata, 14.54 N para la línea Cubana, 8.98 N en la línea KT y por último, la línea CY con 10.04 N. En el estado 1 se observó la misma tendencia, los frutos de las líneas comerciales fueron más duros (12.45 N para la línea Cubana y 11.76 N para la línea Mulata) comparado con los frutos silvestres (8.7 N para la línea KT y 7.98 N en la línea CY). Conforme avanzaba el proceso de maduración, fueron decreciendo los valores de firmeza. En el estado EDO2 los valores de N fueron muy contundentes observándose una disminución de firmeza en los frutos de todas las líneas tanto comerciales como silvestres, en este estado mismo estado los frutos más firmes fueron para la línea Cubana con 2.1 N, seguido por frutos de la línea Mulata con 1.7 N, la línea CY con 1.5 N y por último, la línea KT presentó los frutos más blandos con valores de 0.9 N. En el estado de madurez de consumo (MC) la firmeza de la pulpa presenta valores menores a 0.8 N de fuerza en todas las líneas (Figura II.7).

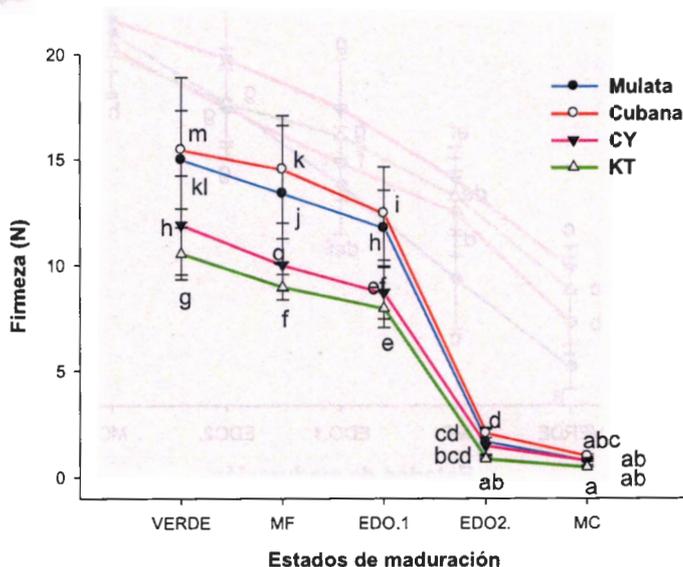


Figura II.7. Firmeza (N) en frutos de papaya comerciales Mulata y Cubana y de frutos silvestres CY y KT en diferentes estados de maduración.

II.5.6. Determinación de color

Con respecto al color a^* de cáscara (Figura II.8.A) en las líneas de papaya evaluadas (Mulata, Cubana, CY y KT) se observan que los frutos silvestres presentan una coloración menos verde que los frutos comerciales. Fue en el estado MC donde los valores de a^* en la cáscara se convirtieron de valores negativos a positivos para las cuatro líneas, sin embargo, durante este estado (MC), tres líneas de papaya presentaron valores de a^* cercanas a 15 (Cubana, CY y KT), sólo en la línea Mulata el valor de a^* fue de 17.69. Con respecto al valor a^* de la pulpa (Figura II.8.B) en el estado V se observó los siguientes valores a^* : -3.57 en Mulata, -8.8 en Cubana, -5.78 en KT y -3.82 para la línea CY. En el estado de madurez fisiológica (MF) se observó similitud de a^* con valores cercanas a -4 para las líneas Mulata, Cubana y KT, sólo la línea CY presentó un valor a^* de 5.04. En el estado de madurez comercial (MC), los valores de a^* fueron los siguientes: 10.93 y 10.13 para las líneas silvestres CY y KT respectivamente, mientras que para las líneas comerciales (Mulata y Cubana) presentaron valores de 26.44 y 22 respectivamente.

Los valores de b^* en cáscara (Figura II.8.C) en las diferentes líneas de papaya durante el estado V se observó lo siguiente: valores de 29 y 24.08 para las líneas comerciales Mulata y Cubana respectivamente, de igual forma, para las líneas silvestres los valores de b^* en la cáscara fueron de 16.28 para CY y 19.87 en KT, para los estados de maduración comercial (MC) estos valores aumentaron para todas las líneas, en Mulata fue de 49.5, en Cubana de 58.86, CY de 61.19 y 69.9 para KT, por lo anterior, la cáscara de los frutos en las líneas silvestres fueron más amarillos al compararlos con las líneas comerciales. La línea silvestre KT resultó tener la cáscara más amarilla. Con respecto al valor b^* en pulpa (Figura II.8.D) de las diferentes líneas de papaya se observó diferencia contrastante entre las líneas silvestres y las comerciales. Los valores finales de b^* de las líneas silvestres CY y KT fue de 53.04 y 51.23 respectivamente, mientras que el valor b^* de las líneas comerciales fue de 38.8 en Mulata y 45.59 para la Cubana. En todos los estados de maduración la pulpa de las líneas silvestres (CY y KT) resultaron ser más amarillas que las comerciales (Mulata y Cubana).

En cuanto a la luminosidad en la cáscara (Figura II.8.E) se incrementó durante la maduración, en los frutos verdes de las líneas comerciales Mulata y Cubana tuvieron un valor promedio de L^* de 43.4 y 40.52 respectivamente, incrementando hasta 55.4 y 69.61

en la madurez de consumo; mientras que en los frutos verdes de las líneas silvestres CY y KT tuvieron un valor promedio de L^* de 37.28 y 36.11 respectivamente, incrementando hasta 66.78 y 57.83 en la madurez de consumo. En contraste, los valores de L^* en la pulpa (Figura II.8.F) decrecieron en frutos verdes con un promedio de 70 y 65.09 para las líneas comerciales Mulata y Cubana, a valores cercanos a 48 y 46.91 respectivamente al final de la maduración; por su parte en los frutos verdes de las líneas silvestres CY y KT decrecieron los valores de L^* con valores de 75.49 y 76.03 hasta 66.15 y 67.11 respectivamente al final de la maduración.

Los valores de grados Hue (Figura II.8.G) en la cáscara de la línea Mulata se mantienen con valores muy similares en los estados verde (V) y madurez fisiológica (MF) con valores de 116.18 y 114.69 respectivamente, y conforme avanzó la maduración cambiaron los valores hasta 70.32 (cercano a color rojo). En la línea Cubana los valores de grados Hue en la cáscara no son significativamente similares, en el estado verde tiene un valor de 127.32 y conforme avanzó la maduración cambió hasta 76.14 (cercano a color amarillo). En las líneas silvestres CY y KT los valores de grados Hue en la cáscara son similares para los todos los estados de maduración, empezando desde el estado verde con un valor de 124.48 para ambas líneas y conforme avanzó la maduración cambió hasta 76.77 y 78.12 respectivamente, (cercano al color amarillo). Para el caso de la pulpa (Figura II.8.H), los valores Hue en la línea Mulata en el estado de MC alcanzó un promedio de 55.73 valor cercano al color rojo, por su parte la línea Cubana obtuvo un al final de la maduración un valor de 64.2 valor cercano al color amarillo-naranja, en cambio las líneas silvestres CY y KT alcanzaron al final de la maduración valores de 78.36 y 78.82 respectivamente, siendo valores cercanos al color amarillo.

Respecto al croma en la cáscara (Figura II.8.I), los cambios son marcados entre las líneas comerciales y silvestres, el croma de los frutos verdes para la línea Mulata (32.31), Cubana (30.28), CY (19.75) y KT (24.1) son diferentes y aumentaron en el estado MC a 52.57, 60.62, 62.85 y 71.42 respectivamente. En el caso de la pulpa (Figura II.8.J) el cambio de croma es muy significativo aumentando considerablemente del estado verde al estado de madurez fisiológica, este cambio representó un aumento de 10 puntos para las líneas comerciales (20.09 Mulata, 17.67 Cubana a 30.53 y 26.65 respectivamente), y de casi 25 puntos para las líneas silvestres (24.89 CY, 20.01 KT a 49.29 y 44.20 respectivamente).

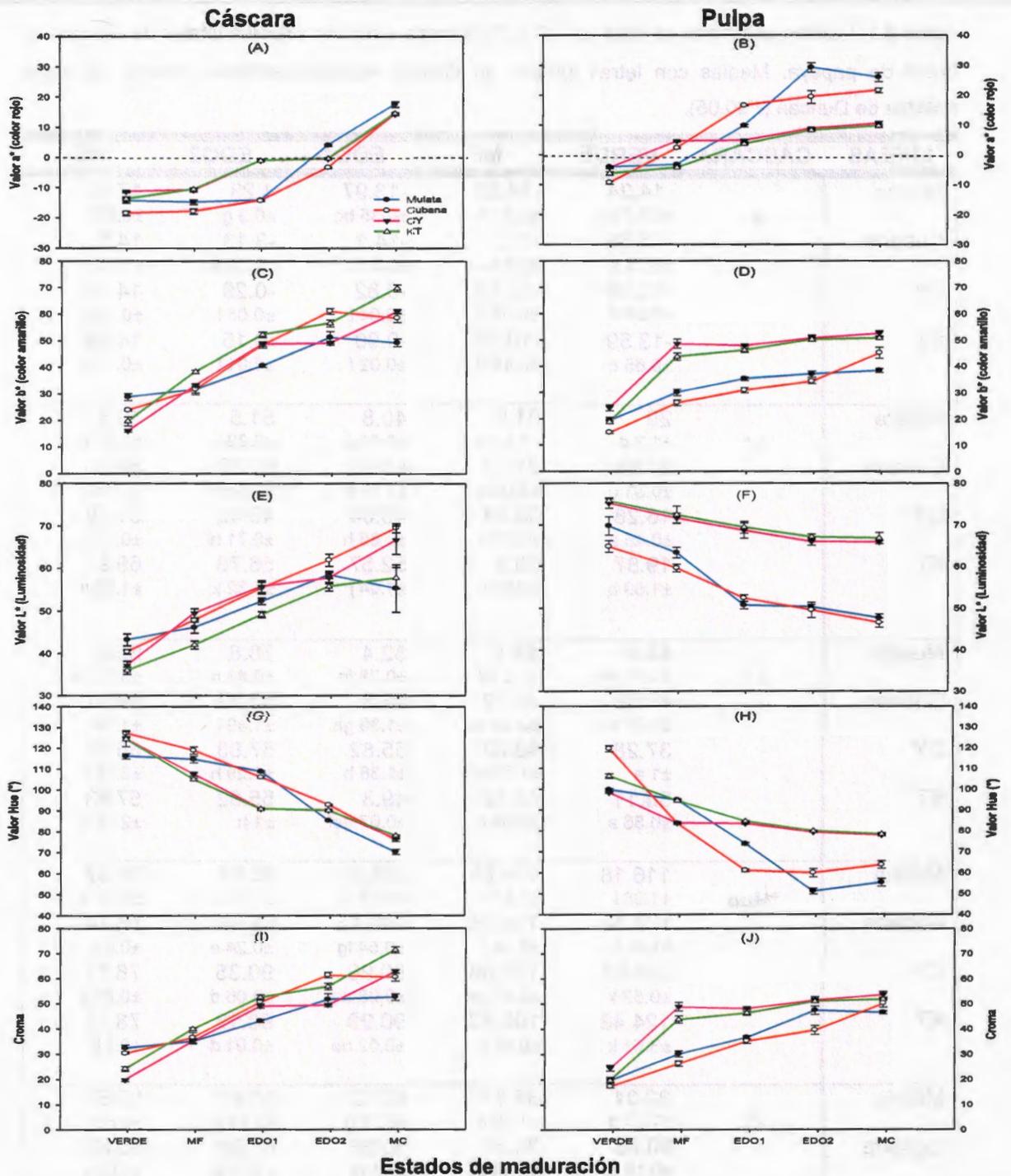


Figura II.8. Componentes de color de cinco estados de maduración postcosecha de cuatro líneas de papaya. Valores a*, b*, L*, °Hue y Cromas en cáscara (A, C, E, G, I) y pulpa (B, D, F, H, J). Cada punto representa la media y su desviación estándar \pm de tres frutos.

Tabla II.1. Valores obtenidos de color (a^* , b^* y L^*), firmeza y sólidos solubles totales de cáscara en frutos de papaya. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$).

LÍNEAS	CÁSCARA	VERDE	MF	EDO1	EDO2	MC
Mulata	a^*	-14.24	-14.65	-13.97	4.23	17.69
Cubana		± 0.67 bc	± 0.72 b	± 0.35 bc	± 0.3 g	± 0.87 i
CY		-18.36	-17.7	-14.1	-3.13	14.5
KT		± 0.72 a	± 0.83 a	± 0.2 bc	± 0.21 e	± 0.42 h
Mulata	b^*	-11.18	-10.65	-0.82	-0.29	14.39
Cubana		± 0.27 d	± 0.56 d	± 0.01 f	± 0.05 f	± 0.18 h
CY		-13.59	-10.40	-0.90	-0.15	14.69
KT		± 0.65 c	± 0.45 d	± 0.02 f	± 0.01 f	± 0.15 h
Mulata	L^*	29	31.9	40.8	51.5	49.5
Cubana		± 1.3 d	± 1.29 e	± 0.53 g	± 2.22 ij	± 1.47 hi
CY		24.08	31.92	48.66	61.30	58.86
KT		± 0.31 c	± 2.06 e	± 1.19 h	± 1.08 m	± 1.78 l
Mulata	$^{\circ}$Hue	16.28	33.44	49.04	49.42	61.19
Cubana		± 0.45 a	± 0.57 e	± 0.85 h	± 0.71 hi	± 0.75 m
CY		19.87	38.5	52.57	56.78	69.9
KT		± 1.69 b	± 0.62 f	± 1.04 j	± 1.32 k	± 1.29 n
Mulata	C	43.4	46.3	52.4	58.6	55.4
Cubana		± 1.41 bc	± 1.3 cd	± 0.78 fg	± 0.83 h	± 5.52 gh
CY		40.52	48.02	55.5	62.03	69.61
KT		± 0.51 b	± 0.18 de	± 1.36 gh	± 1.49 i	± 1.06 j
Mulata	C	37.28	49.62	55.82	57.83	66.78
Cubana		± 1 a	± 1.02 ef	± 1.38 h	± 1.29 h	± 3.36 j
CY		36.11	42.18	49.3	55.82	57.83
KT		± 0.86 a	± 0.94 b	± 0.67 def	± 1 h	± 2.47 h
Mulata	C	116.18	114.69	108.91	85.31	70.32
Cubana		± 1.26 i	± 1.67 i	± 0.37 h	± 0.13 c	± 1.17 a
CY		127.32	119.05	106.17	92.93	76.14
KT		± 1.44 l	± 1.74 j	± 0.54 fg	± 0.24 e	± 0.8 b
Mulata	C	124.48	107.68	90.96	90.35	76.77
Cubana		± 0.53 k	± 0.93 gh	± 0.08 de	± 0.06 d	± 0.25 b
CY		124.48	105.12	90.99	90.16	78.12
KT		± 3.61 k	± 0.66 f	± 0.02 de	± 0.01 d	± 0.3 b
Mulata	C	32.31	35.11	43.12	51.67	52.57
Cubana		± 1.27 d	± 1.06 e	± 0.57 g	± 2.24 i	± 1.32 i
CY		30.28	36.51	50.66	61.38	60.62
KT		± 0.19 c	± 1.94 e	± 1.1 hi	± 1.07 kl	± 1.63 k
Mulata	C	19.75	35.1	49.05	49.42	62.85
Cubana		± 0.49 a	± 0.57 e	± 0.85 h	± 0.71 h	± 0.72 l
CY		24.1	39.88	52.53	56.78	71.42
KT		± 1 b	± 0.62 f	± 1.04 i	± 1.32 j	± 1.24 m

Tabla II.2. Valores obtenidos de color (a*, b* y L*), firmeza y sólidos solubles totales de pulpa en frutos de papaya. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$).

LÍNEAS	PULPA	VERDE	MF	EDO1	EDO2	MC
Mulata	a*	-3.57	-2.82	10.14	29.72	26.44
Cubana		±0.39 c	±0.34 c	±0.42 gh	±1.61 m	±1.51 l
CY		-8.83	2.8	17	19.8	22
KT		±0.55 a	±0.26 d	±0.11 i	±2.11 j	±0.75 k
Mulata	b*	-3.82	5.04	5.23	9.22	10.93
Cubana		±0.3 c	±0.21 e	±0.4 e	±0.19 fg	±0.7 h
CY		-5.78	-3.82	4.12	8.67	10.13
KT		±0.55 b	±0.22 c	±0.24 e	±0.25 f	±0.57 gh
Mulata	L*	19.77	30.40	35.6	37.4	38.8
Cubana		±1.17 b	±1.18 e	±0.68 f	±1.16 g	±0.73 g
CY		15.3	26.5	31.28	34.68	45.59
KT		±0.45 a	±1.06 d	±0.98 e	±0.81 f	±2.12 hi
Mulata	°Hue	24.59	49.04	48.36	51.19	53.04
Cubana		±1.09 c	±1.73 jk	±0.38 j	±1.15 l	±1 m
CY		19.15	44.03	46.49	50.67	51.23
KT		±0.46 b	±1.39 h	±0.82 i	±0.52 kl	±0.40 l
Mulata	C	70	63.6	51	50.6	48
Cubana		±2.17 ij	±1.28 f	±0.9 cd	±0.55 cd	±0.96 ab
CY		65.09	59.88	52.67	49.89	46.91
KT		±1.38 fg	±0.91 e	±0.81 d	±1.8 bc	±1.11 a
Mulata	C	75.49	71.9	68.91	66.23	66.15
Cubana		±1.24 l	±1.19 jk	±1.83 hi	±0.85 g	±0.37 g
CY		76.03	72.67	69.67	67.39	67.11
KT		±0.47 l	±2.07 k	±1.44 i	±0.65 gh	±1.28 gh
Mulata	C	100.23	95.31	74.1	51.54	55.73
Cubana		±0.62 j	±0.56 i	±0.6 e	±1.37 a	±1.9 b
CY		119.99	83.97	61.47	60.34	64.2
KT		±1.51 l	±0.47 h	±0.59 c	±2.02 c	±1.82 d
Mulata	C	98.82	84.13	83.83	79.79	78.36
Cubana		±0.34 j	±0.36 h	±0.43 h	±0.13 fg	±0.51 f
CY		106.78	94.97	84.93	80.28	78.82
KT		±1.13 k	±0.41 i	±0.27 h	±0.24 g	±0.64 fg
Mulata	C	20.09	30.53	37.01	47.78	46.97
Cubana		±1.22 b	±1.19 d	±0.7 e	±1.62 hi	±0.61 h
CY		17.67	26.65	35.60	39.95	50.64
KT		±0.54 a	±1.07 c	±0.91 e	±1.75 f	±1.57 jk
Mulata	C	24.89	49.29	48.64	52.01	54.15
Cubana		±1.12 c	±1.71 ij	±0.42 hi	±1.16 k	±1.12 l
CY		20.01	44.20	46.67	51.41	52.22
KT		±0.6 b	±1.37 g	±0.83 h	±0.54 k	±0.38 k

II.6 DISCUSIÓN

Las pérdidas de **peso** en los frutos de todas las líneas de papaya fue incrementando conforme avanzaba la maduración postcosecha, este comportamiento se debe a la pérdida de agua de los frutos, que depende tanto de la actividad fisiológica como de factores externos, particularmente la temperatura y la humedad relativa (Gorini, 1989; Lassoudiere, 1969). La pérdida de peso del estado MC puede ligarse al hecho que existe una transpiración en el fruto utilizando sus propias reservas y por lo tanto, existe un descenso de la biomasa del fruto, lo anterior coincide con lo reportado por Shiomi *et al.* (1996), estos autores observaron que frutos como mango y sandía reducían su peso durante los posteriores 70 a 85 días después de la antesis, pudieron determinar que el peso en los últimos estados de maduración (MC) se redujo un 10% de la biomasa total de todos los frutos. Por lo anterior, se observó mucha variabilidad respecto al peso de frutos de las líneas comerciales Mulata y Cubana (en el estado MC con valores de 1124.9 g y 1131.7 g respectivamente) al ser comparadas con las líneas silvestres CY y KT (292.2 g y 70.4 g respectivamente). El peso de las líneas comerciales que reportamos en este trabajo de investigación, son superiores a los reportados por Souza (1998) y, Fagundes y Yamanishi (2001) los cuales obtuvieron pesos de entre 476.9 a 585.9 g en frutos de papaya. En el caso de la línea silvestre CY reportamos valores similares a los expuesto por Rodríguez y Rosell (2005), con pesos de 297.3 g y 349.3 g sin embargo, para la línea silvestre KT reportamos valores de peso demasiado bajo (70.4 g) que hasta la fecha no se encuentra reportado en otros trabajos de investigación o reportes agronómicos para este cultivar.

Respecto a las dimensiones del fruto, la **longitud** máxima de los frutos osciló entre 21 - 22 cm para las líneas comerciales (Cubana y Mulata) y entre 13.4 - 7.1 cm para las líneas silvestres (CY y KT). Siendo las comerciales que presentan valores a los reportados por Dantas y Lima (2001) y, Fagundes y Yamanishi (2001) que reportan valores de 19 y 20 cm para el cultivar Popoci; mientras que para las líneas silvestres estos valores son inferiores a los obtenidos por Rancel *et al.* (2005) que reportan valores de 15 y 16 cm para ejemplares silvestres. En relación con el **diámetro** del fruto, líneas comerciales (Mulata con 11.5 cm y Cubana con 10.7 cm) fueron más grandes que las líneas silvestres (CY con

7 cm y KT con 5.5 cm). Valores cercanos a 9.9 cm (para comerciales) y 6.7 (para silvestres) fueron reportados por Dantas y Lima (2001).

En este trabajo se observó un incremento en el contenido de **SST** al transcurrir la maduración, lo que se corresponde con lo reportado por otros autores (Camara, 1993), debido a la degradación de almidón a monosacáridos y disacáridos que contribuye al dulzor de la fruta (Wills *et al.*, 1998). Uno de los aspectos que refleja la madurez es el comportamiento de los sólidos solubles totales (SST), los azúcares son el componente mayoritario (80 a 95%) de los sólidos solubles totales, por lo que éstos se usan como criterio para establecer normas de maduración de algunas frutas, además, su calidad comestible suele correlacionarse mejor con el contenido de SST (Osterloh *et al.*, 1996). El comportamiento de °Bx aumentó conforme fueron avanzando los días del periodo de maduración debido a hidrólisis de almidones y disacáridos, y de la síntesis de monosacáridos (Fennema, 1993; Budde, *et al.*, 2006; Gallo, 1997). El aumento progresivo de los °Bx en el estado de maduración comercial se debe a que el fruto presenta menor cantidad de agua (transpiración) y mayor concentración de azúcares (respiración), originado por la mayor producción de etileno, quien da inicio al incremento del índice de respiración (Kumar, 1974; Laguado *et al.*, 1997). La cantidad de SST en el fruto dependió principalmente de la variedad del fruto, sin embargo, se debe de tener en cuenta: el rendimiento asimilatorio de las hojas, la relación hoja/fruto, las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez (Osterloh *et al.*, 1996). En nuestro trabajo de investigación observamos que en el último estado de maduración para consumo (MC), la línea silvestre fue la más dulce con 12 °Brix y mostró diferencia significativa en comparación con los demás frutos, de igual forma los tres frutos restantes no mostraron diferencias significativas entre ambas mostrando valores de °Brix de entre 11.4 a 11.78.

La **firmeza** de los frutos de papaya en todos los estados de maduración disminuyó drásticamente en el estado EDO2 y con valores más bajos en el estado de maduración de consumo (MC), según lo reportado por Santamaría *et al.* (2008), el ablandamiento del fruto de papaya se deriva de la acción de la hidrólisis de almidones y pectinas, por el proceso degradativo de la lamina media y las paredes celulares, produciendo sacarosa y

ácido galacturónico, generando una mayor flexibilidad en el material (Thumdee *et al.*, 2007), este ablandamiento progresa de la pulpa hacia la cáscara (Paull *et al.*, 1997). Al comparar los resultados con lo mencionado por Ciro, (2008) Hernández, (2005) y Chávez (2000), se confirmó que el grado de firmeza de una fruta cambia con el avance del proceso de maduración del fruto.

El cambio **color** es la característica más notoria en muchas frutas durante su maduración, y por ello se utiliza como criterio para definir la madurez de una fruta (Wills *et al.*, 1998; Reid, 2002). Para frutos de papaya, las transformaciones más importantes es la degradación del color verde, la cual está asociada con la síntesis de pigmentos cuyos colores oscilan entre el valor a^* que tiene una coloración rojo (licopeno) y el valor b^* que tiene una coloración amarillo (carotenoides), (Kays, 2004).

En la Figura II.8.A se puede apreciar el valor de a^* observando la degradación de la clorofila desde el estado V al MC, ya que el fruto cambia de color verde a rojo. Los valores obtenidos de a^* en la cáscara para los frutos silvestres son negativos, ubicándolos dentro del color verde desde el estado V hasta EDO1, en los siguientes estados se observó que los valores de a^* son positivos, además, se observó en las líneas silvestres una maduración más rápida pero con valores menores de a^* en comparación a las líneas comerciales. En el estado EDO2 la cáscara alcanza valores positivos con lo cual se ubica dentro del tono rojo, lo que indica que los frutos comerciales tardaron más tiempo en madurar y en tener un cambio de coloración rojo que fue mucho mayor que las silvestres. Los valores de a^* en la pulpa para las líneas comerciales fue más roja presentándose en el estado 1 (EDO1), lo anterior demuestra claramente que los frutos inician el proceso de maduración en este estado de maduración notándose el color rojo el cual incrementa hasta obtener valores de 20 en la escala de a^* (Figura II.8.B), sin embargo, las líneas silvestres se pudo observar un patrón distinto de maduración, los frutos de las líneas silvestres maduran más rápido pero el color de la pulpa alcanzan valores menores de a^* siendo estas menos rojos. En general, respecto al valor a^* en cáscara permitió ubicar los últimos estados de maduración, además de que el valor a^* de la pulpa permitió ubicar fácilmente al estado de madurez fisiológica al alcanzar valores positivos.

En la Figura II.8.C se ilustran los resultados obtenidos del valor b^* , en la cáscara los valores positivos de b^* indicaron que los frutos silvestres KT y Cubana fueron más amarillos, seguidos por la línea CY y de último, la línea comercial Mulata presentando su cáscara más roja en comparación con las anteriores líneas. El valor b^* en la cáscara resultó ser bastante representativo para detectar el inicio de la maduración, esta última ocurre en el estado de maduración fisiológica cuando se da un cambio de coloración de verde a amarillo. En el caso de la pulpa (Figura II.8.D) se observó que los valores de b^* presentaron un patrón de color diferente en las líneas Cubana, CY y KT al ser comparadas con la línea Mulata, este resultado indicó que sólo la línea comercial Mulata presentó coloración roja en la pulpa.

Los valores de L^* (Figura II.8.E) de la cáscara permite determinar los estados de maduración de manera más evidente a partir del EDO1, sin embargo, en los estados iniciales los valores de L^* de la cáscara no son determinantes debido a la mínima diferencia del valor entre los frutos del estado verde y los de MF. En cambio, los valores de L^* de la pulpa permiten observar el paso de los frutos en estado verde a MF1.

Otro indicador de los estados de maduración fueron los valores de grados Hue de la pulpa, determinan muy bien el paso de los frutos Verdes a MF1, al pasar de 100.23 a 95.31 en Mulata, 119.99 a 83.97 en Cubana, 98.82 a 84.13 en CY y 106.78 a 94.97 en KT. En la cáscara los valores se mantienen muy similares en los frutos inmaduros y en los frutos en madurez fisiológica. La pureza del color o croma también marca los estados de maduración, en la pulpa los valores son muy determinantes tanto en las líneas comerciales con una diferencia de 10 puntos, mientras que en las líneas silvestres con una diferencia de 25 puntos entre el estado verde y MF. En la cáscara esto no es tan marcado ya que el incremento.

II.7. CONCLUSIÓN

- Los frutos comerciales Mulata y Cubana con valores de 1000 a 1600 g son más grandes que los frutos silvestres presentando rangos de pesos que van de 250 a 300 g para la línea CY y 75 a 100 g para la línea KT.
- Los frutos de las líneas silvestres KT (7-8 cm de largo y 5-6 cm de diámetro) y CY (13-14 cm de largo y 6-8 cm de diámetro) son más pequeños en comparación con a los frutos comerciales Mulata y Cubana los cuales presentan valores de tamaño y diámetro más grandes (20-23 cm de largo y 10-13 cm de diámetro).
- La cantidad de sólidos totales solubles es similar en las cuatro líneas, los frutos de la línea CY fueron los más dulces presentando valores de 12.01 °Bx, seguida por la línea Mulata con 11.78 °Bx, la línea cubana con 11.5 °Bx y por último, la línea silvestre KT con 11.4 °Bx en el estado de madurez de consumo (MC).
- En relación a firmeza, los frutos de las líneas silvestres presentan menor firmeza en sus pulpa a partir del estado EDO2, en madurez de consumo (MC) todas las líneas presenta valores de 0.8 N.
- En MC los frutos de la línea Mulata en cáscara y pulpa resultaron ser más rojos con valores a^* de 17.69 y 26.44 respectivamente, mientras que los frutos de la línea Cubana en cáscara y pulpa fueron amarillos con valores b^* de 58.86 y 45.59, además, la línea silvestre CY presentó frutos con valores b^* de 61.19 en cáscara y 53.04 en pulpa, mientras que frutos de la línea KT fueron amarillos con valores b^* de 69.9 en cáscara y 51.23 en pulpa. La luminosidad en pulpa mostró un patrón diferente entre las líneas comerciales y silvestres. El tono del color (°Hue) y la Croma de la cáscara y pulpa mostraron que los frutos fueron inicialmente verdes en todas las líneas cambiaron a color rojo únicamente para la línea Mulata, amarillo-naranja para Cubana y amarillo para CY y KT.

II.8. REFERENCIAS

- Budde C., Polenta G., Lucangeli C. and Murria R. (2006) Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of "Dixiland" peaches. *Postharvest Biology and Technology*. **41**: 32-37.
- Camara M.M., Diez C. and Torija M.E. (1993) Changes during ripening of papaya fruit in different storage systems. *Food Chemistry* **46**: 81–84.
- Chandrika G.U., Jansz E., Nalinie S., and Warnasuriya N. (2003) Carotenoids in yellow- and red-fleshed papaya (*Carica papaya* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **83**:1279-1282.
- Chávez S. and Franco H. (2000) Propiedades biomecánicas de los frutos, caso zarzamora. En: Memoria IX Curso de Actualización, Frutales con Futuro en el Comercio Internacional. Fundación Salvador Sánchez. Colin Cictamex. **34**: 329-335.
- Ciro H.J. and Osorio J.A. (2008) Avance experimental de la ingeniería de postcosecha de frutas colombianas: resistencia mecánica para frutos de uchuva (physalis peruviana). *Dyna*, **75**:154.
- Dantas J.L.L. and Lima J.F. (2001) Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro - avaliação de linhagens e híbridos. *Brasileira de Fruticultura*. **23**:617-621.
- Fagundes G.R. and Yamanishi O.K. (2001) Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo 'Solo' comercializados em quatro estabelecimentos de Brasília-df. *Brasileira de Fruticultura*. **23**:345-350.
- Fennema O.R. (1993) Química de los Alimentos 2ª ed. Editorial Acribia, Zaragoza, España.

- Gallo F. (1996). Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de calidad de frutas y hortalizas. Convenio SENA - NRI, Armenia. pp. 10-41.
- Gallo F. (1997) Manual de fisiología, patología postcosecha y control de calidad en frutas y hortalizas. Armenia, Colombia, SENA.
- Giovannoni J. (2001) Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. **52**: 725-749.
- Gorini F. (1989) La salvaguardia della qualità dopo la raccolta. *Frutticoltura*. **7**: 7-12.
- Hernández A., Wang J., García P.A. (2005) Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage". *Postharvest Biology and Technology*. **35**: 209-215.
- Hewett E.W. (2006) An overview of preharvest factors influencing postharvest quality of horticultural products. *Postharvest Technology and Innovation*. **1**: 4-15.
- Kumar R. and Hoda M. (1974) Fixation of maturity standards of guava (*Psidium guajava* L.)". *Indian Journal of Horticulture*. **31**: 140-144.
- Laguado N., Marín M. and Oliveros S. (1997) Características físicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Revista de la Facultad de Agronomía*. **16**: 382-397.
- Lassoudiere A. (1969) The papaya crop packaging for shipment, changes in products for export. *Fruits*. **24**: 491-502.
- McGuire R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *Hortscience*. **27**: 254:1255.

- Osterloh A.G., Ebert W.H., Held H.S. and Urban E. (1996). Lagerung von Obst und Südfrüchten. Verlag Ulmer, Stuttgart. 253 p.
- Paul R.E., Gross K. and Quiu Y. (1999) Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*. **16**:79-89.
- Paul R.E., Nishijima W., Reyes M. and Cavaletto C. (1997) Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology and Technology*. **11**:165-179.
- Quintana M.E.G. and Paul R.E. (1993) Mechanical injury during postharvest handling of 'Solo' papaya fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **118**:618-622.
- Rancel J., Lobo G., González M. and Rodríguez M.C. (2005) Postharvest behavior of three papaya cultivars produced in mesh greenhouse in Tenerife (Canary Islands, Spain). In: First International Symposium on papaya, mayo 2005. Kuala Lumpur (Malasia).
- Reid M.S. (2002) Maturation and maturity indices. En: Kader, A.A. (ed.) Postharvest technology of horticultural crops. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California. 535 p.
- Rodríguez M.C. and Rosell P. (2005) Productividad y características fenológicas de los cultivares de papaya Sunrise y Baixinho de Santa Amalia en invernadero de malla en la zona suroeste de la isla de Tenerife. *Actas Portuguesas de Horticultura*. **6**:245-249.
- Santamaría B.F., Suri D.E., Espadas G.F., Raúl D.P., Larqué S.A. y Santamaria F.J. (2008) Maduración postcosecha e índices de maduración de papaya Maradol. *Interciencia*. **34**: 584-588.

- Shiomi S., Wanocho L.S. and Agong S.G. (1996) Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine. *Postharvest Biology Technology*. **7**: 161-170.
- Souza G. (1998) Características físicas, químicas e sensoriais do fruto de cinco cultivares de mamoeiro (*Carica papaya* L.) produzido em Macaé-RJ. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Macaé. 68 p.
- Thumdee S., Manenoi A. and Paull R.E. (2007) Activity of papaya fruit hydrolases during natural softening and modified softening. *Acta Horticulture*. **740**:317-322.
- Urbano B.I, Vasconcelos R., Azzolini M., Jacomino A.P. and Caruso E. (2004) Chlorophyll fluorescence as a tool to evaluate the ripening of 'Golden' papaya fruit. *Postharvest Biology and Technology*. **33**:163-173.
- Wills R., McGlasson B., Graham D. and Joyce D. (1998) Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CAB International, Nueva York. 262 p.
- Wills R., McGlasson W., Graham D., Lee T., Hall E. (1989). Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables. Van Nostrand Reinhold: N.Y.

CAPÍTULO III
CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES EN LÍNEAS DE PAPAYA
(*Carica papaya* L.) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN
POSTCOSECHA

III.1. INTRODUCCIÓN

Los polifenoles son metabolitos secundarios de las plantas y son generalmente involucrados en la defensa contra la radiación ultravioleta o de la agresión por patógenos. (Manach *et al.* 2004; Shahidi y Naczk 2004). De estructuras químicas muy diversas, más de 8, 000 compuestos fenólicos de plantas surgen a partir de un intermediario común, como la fenilalanina o como el ácido shiquímico. En los alimentos, los polifenoles pueden contribuir al amargor, astringencia, color, sabor, olor y estabilidad oxidativa. Durante la última década el interés por los polifenoles se ha incrementado considerablemente, sobre todo entre los científicos de alimentos, nutricionistas, industrias agrícola/alimentarias y consumidores, debido principalmente al descubrimiento de sus efectos antioxidantes y su papel en la prevención de enfermedades cardiovasculares, osteoporosis, diabetes, cáncer y enfermedades neurodegenerativas (Arts y Hollman 2005; Scalbert *et al.* 2005). Los polifenoles difieren ampliamente en sus propiedades físicoquímicas, la biodisponibilidad, las propiedades biológicas y efectos de salud (Manach *et al.* 2005; Williamson y Manach 2005).

Por tanto, es esencial contar con información detallada y completa sobre la naturaleza y las cantidades de polifenoles que se encuentran en los principales alimentos consumidos con la dieta. Esta información es necesaria para los investigadores en ciencias de la alimentación y la nutrición, ya que actualmente los fabricantes de alimentos, las autoridades reguladoras y consumidores tienen valores representativos de contenido de polifenoles solo de algunos alimentos, para comparar el contenido de polifenoles entre los alimentos, para calcular la ingesta de polifenoles en las poblaciones y estudiar su asociación con la salud y la enfermedad, o para evaluar la contribución relativa de un producto alimenticio dado a la ingesta de un polifenol particular, en comparación con otras fuentes de alimento.

En el caso de la papaya (*Carica papaya* L.) son frutos ricos en antioxidantes como polifenoles, vitaminas y carotenoides (Corral *et al.*, 2008). Los compuestos fenólicos en las frutas, (incluida papaya), actúan como antioxidantes debido a su capacidad para donar hidrógenos o electrones estables mediante la generación de radicales intermedios. Hay pruebas de que el consumo de compuestos fenólicos antioxidantes está asociado con la prevención de enfermedades crónicas tales como cáncer, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Murakami *et al.*, 1994; Sherman y Billing 1999). Por lo tanto, un mayor consumo de frutas tropicales ha sido recomendado por varios defensores de la salud para mantener una buena salud. Debido a que los polifenoles constituyen una gran variedad de diversas estructuras de las diferentes subclases, es importante determinar su contenido presente en *Carica papaya* L.

Debido a que los polifenoles representan una amplia variedad de estructuras de diferentes subclases (flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos, proantocianidinas, etc.), es difícil estimar el contenido total de polifenoles. Una base de datos de alimentos en los flavonoides, un tipo de polifenol, fue recientemente publicada por el USDA (2005), basado en el sistema de evaluación de la calidad reportada por Holden *et al.* (2005). Esta base de datos es muy útil para estudios epidemiológicos sobre la relación entre los flavonoides dietéticos en la salud, sin embargo, muchos de los compuestos fenólicos cuantificados mediante la técnica HPLC/UV, presentan falta de estándares comerciales, debido a lo anterior se observan compuestos no identificados que conducen a una infravaloración del contenido total de polifenoles (Pierre *et al.*, 2006).

Poco se sabe acerca de los cambios en los compuestos antioxidantes en papaya, especialmente los compuestos fenólicos, por lo tanto, en este trabajo, se cuantificará por técnicas de UPLC-MS/MS para examinar los compuestos bioactivos en diferentes líneas de papaya.

III.2. HIPOTESIS

Si al analizar el contenido de polifenoles en frutos de *Carica papaya* L., se podrá identificar los compuestos que probablemente se encuentren asociados con el proceso de maduración.

III.3. OBJETIVOS

III.3.1. Objetivo general

- Cuantificar el contenido de polifenoles en frutos de líneas contrastantes de *Carica papaya* L. en sus diferentes estados de maduración postcosecha.

III.3.2. Objetivos particulares

- Establecer un protocolo de extracción eficiente para la cuantificación de polifenoles en *Carica papaya* L. mediante técnicas espectrofotométricas.
- Cuantificar el contenido de polifenoles totales y los perfiles fenólicos en cáscara y pulpa de cuatro líneas contrastantes de *Carica papaya* L. mediante UPLC-MS/MS.

III.4. MATERIALES Y MÉTODOS

III.4.1. Material vegetal

Se utilizó muestras de cáscara y pulpa de las líneas de papaya Mulata, Cubana, CY y KT en diferentes estados de maduración previamente tratadas en el capítulo anterior: Caracterización fisicoquímica en frutos de diferentes líneas de papaya (*Carica papaya* L.) en estados postcosecha, las etapas de maduración seleccionadas fueron las establecidas según lo reportado por Santamaría *et al.* (2009). Las muestras de pulpa (3 cm³) y cáscara (0.3 cm de grosor) previamente fueron expuestas en N₂ líquido y almacenados a -80 °C durante 24 hrs, posteriormente las muestras fueron liofilizadas para facilitar su maceración, por último, el tejido totalmente pulverizado fue colocado en tubos cónicos Sarstedt® de 50 mL y cubiertos con papel aluminio. Todo el material fue almacenado a -20 °C hasta su posterior uso para el análisis.

III.4.2. Protocolo de extracción de polifenoles totales

La cuantificación de polifenoles totales se realizó por medio de espectrofotometría UV-vis. Mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. Se peso 1 g del material vegetal y se agregó 25 mL de metanol: agua (4: 1 v/v), se colocó en un vórtex por 30 segundos y se puso a un baño ultrasonido Mod. 2510 (Branson, Whetersfield, CT) con una potencia constante de sonido de 40 kHz durante 20 min a 20 °C. Los extractos se centrifugaron a 4000 rpm durante 4 min a 20 °C en una centrífuga Hermle Mod. K Z323 (Tecnologías de la Labortechnik, Alemania). Con una pipeta Pasteur se transfirió el sobrenadante a un tubo nuevo. Nuevamente se re-extrajo el precipitado con 25 mL de metanol: agua (4:1 v/v) por segunda vez para asegurar que todos los polifenoles fueron extraídos. Las fases orgánicas se combinaron. Para la cuantificación de polifenoles totales únicamente se tomó 100 µL del extracto obtenido y se realizó por el método de Folin-Ciocalteu. Para el análisis del perfil de polifenoles por UPLC, se tomo una alícuota de 1.5 mL del extracto obtenido y se evaporó a sequedad completa a una temperatura de 35 °C a presión reducida, posteriormente, los extractos de tejidos fueron re-suspendió en 150 µL de metanol: agua (4:1 v/v) y fueron colocados en vortex para homogenizar los extractos concentrados. Seguidamente se colocaron en viales para el análisis por UPLC-MS.

Se realizó una curva estándar utilizando diferentes concentraciones de ácido gálico (50, 100, 250 y 500 mg/1000 mL). Para la cuantificación de polifenoles totales en los diferentes tejidos de papaya se realizó de la siguiente manera: en una celda de 4 mL se agregó 100 µL de la muestra extraída, estándar o blanco según sea el caso; 2 mL de agua ultrapura, 200 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma F-8252), se dejó reposar de 1 a 8 min, se añadió 900 µL de Na₂CO₃ y se incubó por 2 hrs a °T ambiente y oscuridad total. La absorbancia de la solución color azul intenso se leyó a 725 nm utilizando un espectrofotómetro UV-1650 PC (Shimadzu, Japón). Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por cada cien gramos de peso fresco (mg GAE/100 g de peso fresco).

III.4.3. Análisis del perfil de polifenoles por UPLC-MS/MS

El análisis de polifenoles por UPLC se realizó utilizando un sistema Waters Acquity Ultra-Performance Liquid Chromatography UPLC™ (Waters Milford, MA, USA), equipado con un sistema de bomba cuaternaria (Waters Milford, MA, USA). Un Acquity de sílica de alta resistencia (HSS), se utilizó una columna T3 (150mm x 2.1mm de diámetro, 1.8 mm de tamaño de partícula) (Waters Milford, MA, USA). La fase estacionaria fue del 100% de partículas de sílica. Las moléculas de polifenoles que contenía la muestra se separaron con una fase móvil que consistía en 0.1% de ácido fórmico (eluyente A) y acetonitrilo (eluyente B). La tasa de flujo fue de 0.2 mL/min y el gradiente de elución fue 0-6 min, 5-12% de B; 6-12 min, 12-15% de B; 12-24 min, 15-25% de B; 24-33 min, 25-30% de B; 33-39 min, 30-35% de B; 39-51 min, 35-60% de B; 51-60 min, 60-95% de B; 60- isocrática 61.80 min, 95% de B; isocrática 61.80-69 min, 5% de B. Los análisis MS se llevaron a cabo en un espectrómetro de masas TQD (Waters Milford, MA, USA), equipado con un electrospray interfaz de Z-spray. El análisis se realizó en modo negativo y los datos fueron adquiridos a través del monitoreo iones específicos (SIM). La fuente de ionización de los parámetros fue de una tensión capilar de 2,75 kV; la temperatura de la fuente fue de 120 °C; la velocidad de flujo del gas fue de 80 L/h y la tasa de flujo de desolventización del gas fue de 900 L/h; la temperatura de desolventización fue de 350 °C. El Nitrógeno (99% de pureza) y Argón (99% de pureza) se utilizaron como nebulizador y como gas de colisión, respectivamente. La obtención de datos se llevó a cabo con el software MassLynx versión 4,1.

III.5. RESULTADOS

III.5.1. Análisis del contenido de polifenoles totales

En la siguiente Figura III.1., se ilustra el contenido de polifenoles totales encontrados en los extractos de cáscara y pulpa de papaya. Se observó que en estado V en cáscara de la línea Mulata presentó el mayor contenido (253.31 mg GAE/100 g PF), seguido por la línea Cubana (228.31 mg GAE/100 g PF), CY (185.49 mg GAE/100 g PF) y por último la línea KT (146.75 mg GAE/100 g PF). En el estado MF se observó que las concentraciones de polifenoles totales incrementaron en las cuatro líneas Mulata, Cubana CY y KT (265.81, 246.12, 245.18 y 193.68 mg GAE/100 g PF respectivamente). La etapa en donde se identificó un mayor incremento de los polifenoles totales en todas las líneas fue en el EDO1, siendo la línea CY con mayor concentración (317.06 mg GAE/100 g PF) y la línea KT con menor concentración (258 mg GAE/100 g PF), es decir, la línea silvestre CY presentó el mayor contenido de polifenoles totales en cáscara al compararlas con las líneas comerciales (Mulata y Cubana). Fue a partir del EDO2 donde se observó que las concentraciones de polifenoles totales fueron disminuyendo para todas las líneas. En el último estado de maduración, es decir, en el estado MC se obtuvieron los siguientes valores: para la línea CY su concentración disminuyó a 223.93 mg GAE/100 g muestra PF, la línea KT con 175.81 mg GAE/100 g muestra PF, las líneas comerciales Mulata y Cubana con 167.68 y 201.43 mg GAE/100 g muestra PF respectivamente.

La concentración de polifenoles totales cuantificados en la pulpa del fruto de papaya (Figura III.1) fue menor en comparación a la concentración en cáscara. En el estado V las líneas silvestres KT y CY presentaron mayor contenido de polifenoles (57.68 y 73.31 mg GAE/100 g PF) respectivamente, mientras que para este mismo estado las líneas comerciales Mulata y Cubana presentaron una menor concentración (60.81 y 60.5 mg GAE/100 g PF respectivamente). En el estado MF se observó que en todas las líneas aumentó la concentración de los polifenoles, siendo las líneas silvestres las que presentaron mayor contenido (KT con 99.56 mg GAE/100 g PF y CY con 81.12 mg GAE/100 g PF). En la línea Mulata la concentración de polifenoles incrementó a 83 mg GAE/100 g PF y para Cubana a 68 mg GAE/100 g PF, siendo esta última línea comercial la que menor concentración presentó para el estado MF.

Para el EDO1 la presencia de polifenoles totales en pulpa seguía incrementando en todas las líneas, obteniendo para la línea silvestre KT la mayor concentración con 115.5 mg GAE/100 g PF, 104.87 mg GAE/100 g PF para la línea Cubana, para la línea Mulata fue 98 mg GAE/100 g PF. En el EDO2 se observó una disminución en la concentración para todas las líneas (KT con 109.56, CY con 99.56, Mulata con 94.25 mg y Cubana con 93 GAE/100 g PF).

Finalmente en el estado MC las concentraciones de polifenoles totales en pulpa tuvieron una leve disminución en relación a su contenido de polifenoles totales expuestas en el anterior estado de maduración (EDO2). La línea que presentó el más alto contenido de polifenoles fue para la línea silvestre KT con 93.62 mg GAE/100 g PF, seguida por la línea silvestre CY con 87.37 mg GAE/100 g PF; para las líneas comerciales Cubana (84.56 mg GAE/100 g PF) y Mulata (70.18 mg GAE/100 g PF) como se venía observando en los últimos estados de maduración resultaron ser las líneas comerciales las que menor contenido de polifenoles totales presentaron.

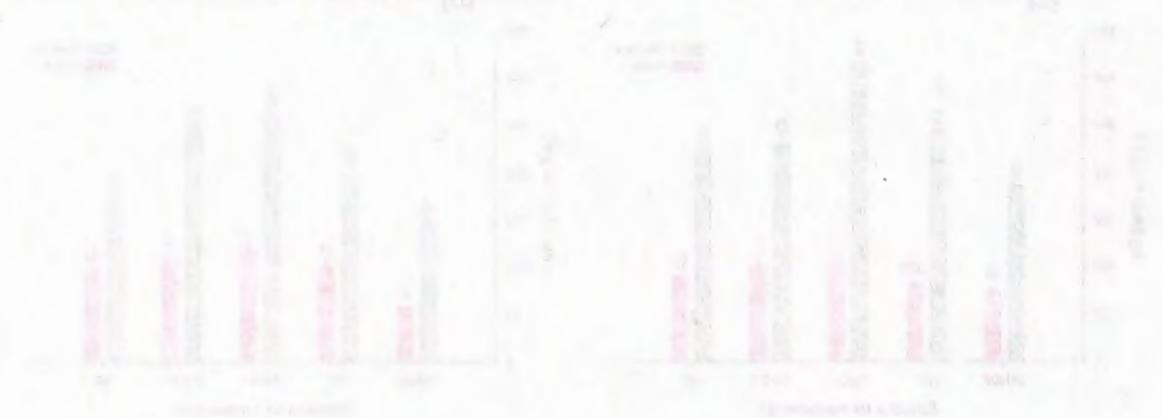


Figura 3.1. Concentración de polifenoles totales en pulpa de café en los estados de maduración EDO1 y EDO2. Líneas silvestres (KT y CY) y líneas comerciales (Cubana y Mulata).

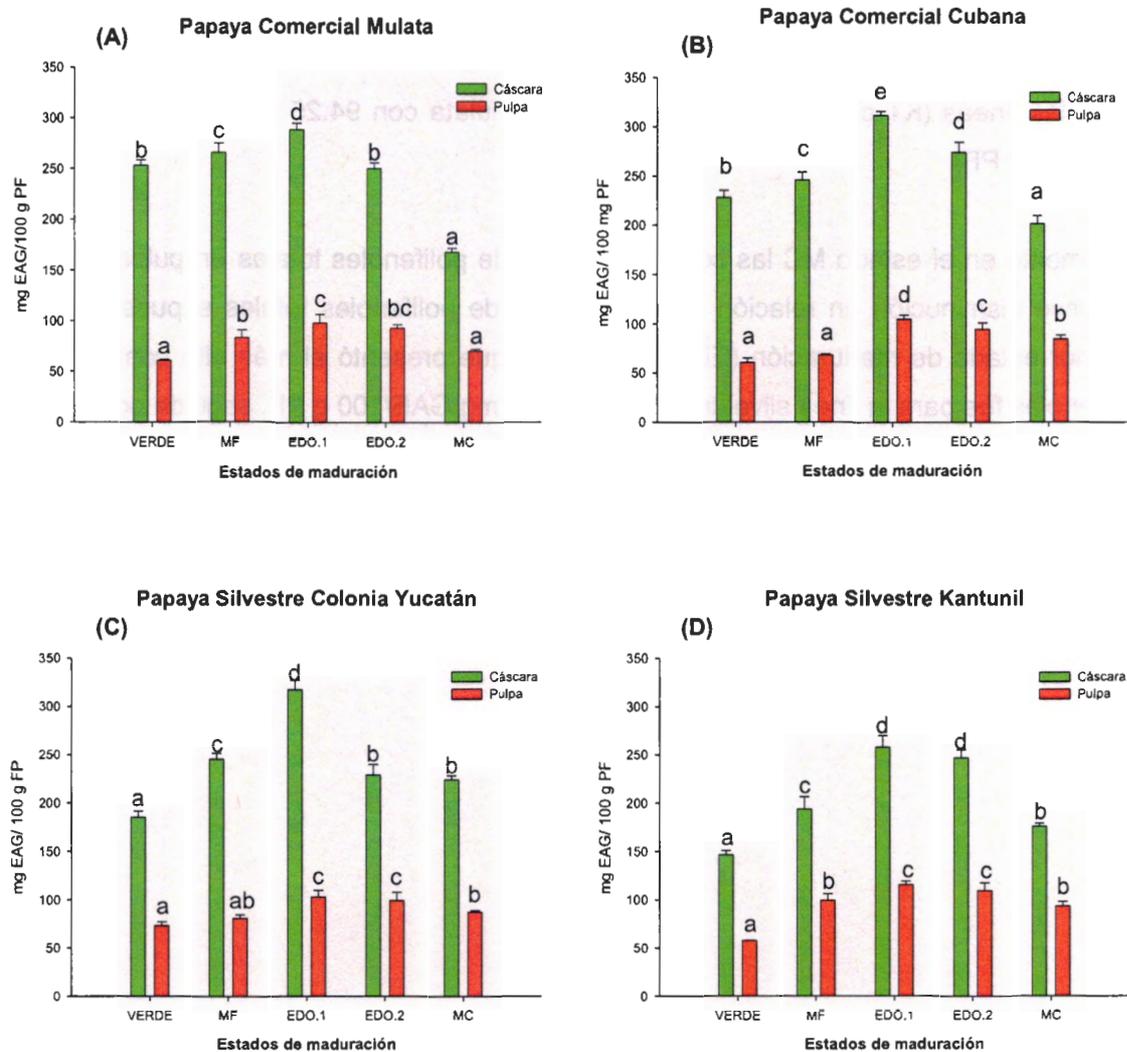


Figura III.1. Contenido de polifenoles totales en cáscara y pulpa en las líneas comerciales (A) Mulata, (B) Cubana y de las líneas silvestres (C) CY y (D) KT diferentes estados de maduración.

III.5.2. Análisis del perfil de polifenoles por UPLC-MS/MS

En la siguiente Figura III.2.A, se observa el perfil del polifenoles en cáscara del éster etílico del ácido gálico (GAE) en las diferentes líneas comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) de papaya en los diferentes estados de maduración. En estado verde la línea Mulata presentó el mayor contenido de este polifenol con un 3.16 mg GAE/100 g PF, seguido de la línea Cubana con 2.65 mg/100g, las líneas silvestres CY y KT presentaron un menor contenido de GAE con cantidades de 2.05 mg GAE/100 g PF y 1.86 mg GAE/100 g PF respectivamente. En estado de MF la línea Mulata presentó el mayor contenido de éster etílico del ácido gálico (4.08 mg GAE/100 g PF), las líneas Cubana y CY presentan valores similares durante su etapa de MF, sin embargo, la línea silvestre KT se observó valores intermedios de 2.76 mg GAE/100 g PF. En el EDO1 en las líneas Mulata, Cubana y CY, se observaron valores muy cercanos de GAE (4.58, 4.26 y 4.55 mg GAE/100 g PF), sólo la línea silvestre KT los valores de GAE (1.79 mg GAE/100 g PF) fueron muy bajos comparados con las otras líneas. Para el EDO2 el perfil de GAE es mayor en las líneas comerciales Mulata y Cubana comparadas con las líneas silvestres (CY y KT), estos valores oscilan entre 5.25 y 4.74 mg GAE/100 g PF en comerciales y de 3.62 y 1.82 mg GAE/100 g PF para las líneas silvestres. El perfil de polifenol GAE en el estado de MC, se observa que la línea silvestre CY presentó el mayor contenido de este polifenol con un 5.25 mg GAE/100 g PF, seguido de la línea Cubana con 3.94 mg GAE/100 g PF, por último la línea silvestre KT y la línea comercial Mulata presentaron un menor contenido de EAG con cantidades de 2.74 mg GAE/100 g PF y 1.69 mg GAE/100 g PF respectivamente.

En la Figura III.2.B, se observa el contenido de polifenol ácido 4-cafeoilquínico. En el estado V se observan en cáscara de las líneas comerciales (Mulata y Cubana) valores similares (5.79 y 5.84 mg GAE/100 g PF), el mismo comportamiento fue observado en las líneas silvestres con valores de (8.3 y 8.49 mg GAE/100 g PF) respectivamente. Sin embargo, en los estados de MF, EDO1, EDO2 y MC, los valores de este polifenol son muy heterogéneos. En la línea KT en todos los estados de maduración previamente mencionados, se observa un mayor contenido del polifenol ácido 4-cafeoilquínico [3.3 mg GAE/100 g PF (MF) 2.33 mg GAE/100 g PF (EDO1) 1.32 mg GAE/100 g PF (EDO2) y 1.15 mg GAE/100 g PF (MC)]. En la línea Mulata se observan picos máximos de este

polifenol en el estado MF y EDO1 (10.4 y 25.27 mg GAE/100 g PF), pero estos resultados tienden a decrecer conforme la fruta madura en los estados de maduración EDO2 (6.69 mg GAE/100 g PF) y MC (3.34 mg GAE/100 g PF) respectivamente. La línea CY fue la que presentó el mayor contenido de ácido 4-cafeoilquínico en el último estado de consumo (MC), con valor de 5.7 mg GAE/100 g PF.

En la Figura III.2.C, se observa el análisis del perfil del polifenol ácido *p*-cumárico 4-0-glucósido en cáscara de las diferentes líneas de papaya en diferentes estados de maduración. Las cantidades del polifenol ácido *p*-cumárico 4-0-glucósido en los estados V, MF y EDO1 se presentan altos en comparación con los otros estados de maduración en todas las líneas (Mulata, Cubana, CY y KT), sin embargo, en el estado de maduración EDO2 la tendencia de este polifenol es el disminución de su contenido en todas las líneas evaluadas; a continuación se presentan de la siguiente manera: 3.49 mg GAE/100 g PF para la línea KT, 3.2 mg GAE/100 g PF para la línea Cubana, 3.15 mg GAE/100 g PF en la línea CY y por último con valor de 2.85 mg GAE/100 g PF para la línea Mulata. En el estado de MC los valores de ácido *p*-cumárico 4-0-glucósido fueron los siguientes: 2.72 mg GAE/100 g PF en CY, 2.27 mg GAE/100 g PF en KT, 2.22 mg GAE/100 g PF en Cubana y 1.1 mg GAE/100 g PF para la línea Mulata.

También se cuantificó el perfil del polifenol ácido 1-cafeoilquínico (Figura III.2.D) en cáscara de las diferentes líneas de papaya en los diferentes estados de maduración. A diferencia de los otros polifenoles, la cantidad del perfil del ácido 1-cafeoilquínico se mantuvo constante conforme avanzaba la maduración en todas las líneas de papaya evaluadas. En estado Verde se observó el mayor contenido de ácido 1-cafeoilquínico en la línea Mulata con 10.54 mg GAE/100 g PF seguido de la línea Cubana con 8.08 mg GAE/100 g PF y finalmente las líneas silvestres CY y KT con valores de 5.68 y 5.62 mg GAE/100 g PF respectivamente. A partir del estado de maduración MF aumentó el contenido de ácido 1-cafeoilquínico en las líneas Cubana y KT (9.22 y 8.97 mg GAE/100 g PF), mientras en las líneas Mulata con 9.75 mg GAE/100 g PF y CY con 5.53 mg GAE/100 g PF disminuyó levemente el contenido de este polifenol. En el último estado de maduración de consumo (MC), los valores de ácido 1-cafeoilquínico son los siguientes: 10.95 mg GAE/100 g PF para la línea Cubana, 8.34 mg GAE/100 g PF en la línea KT, 7.59 y 7.52 mg GAE/100 g PF para las líneas CY y Mulata respectivamente.

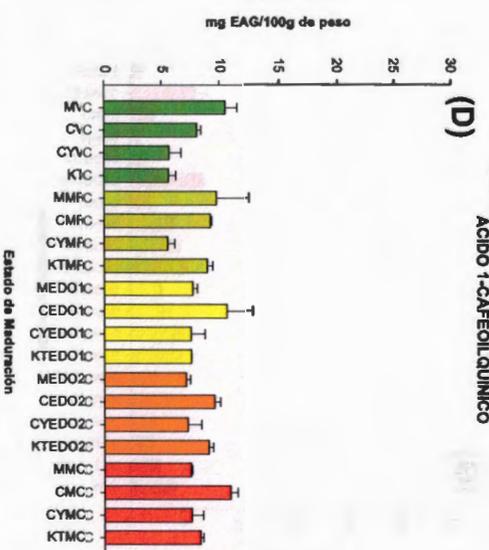
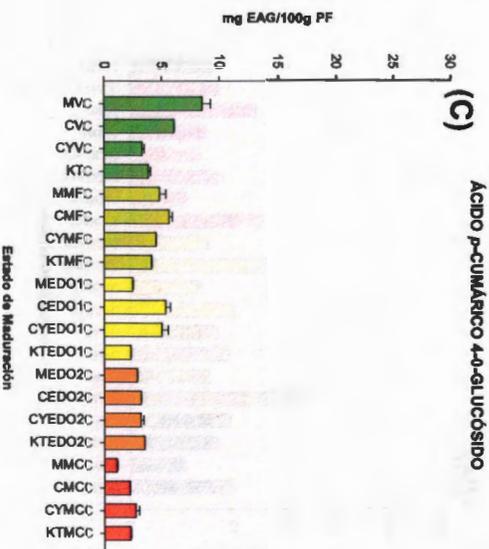
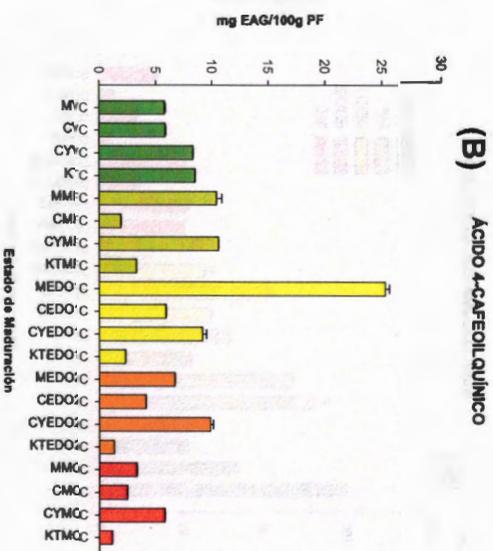
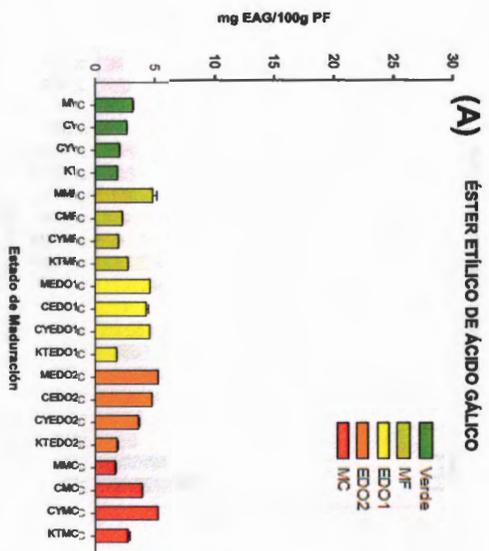
El ácido *p*-cumaroil glicólico (Figura III.2.E) fue uno de los polifenoles perteneciente a la familia de los ácidos fenólicos de mayor contenido en cáscara para todas las líneas de papaya. En el estado V para las líneas comerciales Mulata y Cubana alcanzaron valores de 149.86 y 83.09 mg GAE/100 g PF respectivamente, mientras que para las líneas silvestres CY y KT obtuvieron valores de 53.12 y 55.41 mg GAE/100 g PF respectivamente. Se observó que en la mayoría de los estados de maduración las líneas comerciales fueron las que presentaron mayor contenido de esta molécula. En el estado MF, la línea Mulata presentó el mayor contenido de ácido *p*-cumaroil glicólico con 130.2 mg GAE/100 g PF, seguido por la línea Cubana con 117.17 mg GAE/100 g PF, de último estuvieron las líneas silvestre KT con 79.14 mg GAE/100 g PF y la CY con 55.66 mg GAE/100 g PF. De manera contundente se observó una disminución en el contenido de esta molécula conforme fue avanzando la maduración, lo anterior se vio reflejado en el estado EDO2 debido a que las líneas comerciales descendieron en su contenido de ácido *p*-cumaroil glicólico (Mulata con 51.26 y Cubana con 53.4 mg GAE/100 g PF, lo mismo ocurrió en las líneas silvestres (KT con 50.84 mg GAE/100 g PF y CY con 22.23 mg GAE/100 g PF). Al final de la maduración (MC) la línea que presentó el mayor contenido de ácido *p*-cumaroil glicólico fue la línea KT con 34.3 mg GAE/100 g PF, seguido por la línea Cubana (221.54 mg GAE/100 g PF), CY (8.26 mg GAE/100 g PF) y de último la línea comercial Mulata (7.65 mg GAE/100 g PF) (Figura III.2.E).

La molécula ácido *p*-coumaroil glucosa (Figura III.2.F) en el estado V se encontró en mayor cantidad la cáscara de la línea Mulata con 8.6 mg GAE/100 g PF y en la Cubana con 6.15 mg GAE/100 g PF, en menor cantidad en las líneas silvestres KT y CY con 3.99 y 3.44 mg GAE/100 g PF respectivamente. Cabe señalar que en el estado MF, todas las líneas oscilaron entre valores de 4 a 5 mg GAE/100 g PF. Durante el estado EDO1, se observó un decremento en la cantidad de ácido *p*-coumaroil glucosa en las líneas Mulata (2.45 mg GAE/100 g PF) y KT (2.3 mg GAE/100 g PF), sin embargo las líneas Cubana con 5.33 mg GAE/100 g PF y CY con 5.08 mg GAE/100 g PF mantuvieron su contenido en este estado de maduración. Con respecto al estado EDO2 la línea Mulata presentó el menor contenido de ácido *p*-coumaroil glucosa con 2.84 mg GAE/100 g PF, mientras que la línea que presentó el mayor contenido fue la línea silvestre KT con 3.52 mg GAE/100 g PF. En el estado MC, nuevamente se observó un decremento en el contenido de ácido *p*-coumaroil glucosa, los resultados ordenados de mayor a menor indican que la línea CY

conservó el mayor contenido de esta molécula (2.77 mg GAE/100 g PF), seguido por las líneas Cubana y KT con 2.2 mg GAE/100 g PF para ambas, por último, la línea Mulata presentó el menor contenido de ácido *p*-coumaroil glucosa con 1.08 mg GAE/100 g PF.

En la Figura III.2.G, se ilustra el contenido de ácido *p*-coumaroil hexosa en cáscara de las diferentes líneas de papaya. Las líneas comerciales Mulata con 4.01 mg GAE/100 g PF y Cubana con 2.65 mg GAE/100 g PF presentaron el mayor contenido de esta molécula en estado V, además, las líneas silvestres CY y KT presentaron en este mismo estado de maduración valores de 2.1 mg GAE/100 g PF para ambas líneas. En MF se observó un decremento en la cantidad de ácido *p*-coumaroil hexosa en la línea Cubana (2.34 mg GAE/100 g PF) y en la línea Mulata (3.24 mg GAE/100 g PF), sin embargo, en las líneas silvestres aumentaron presentando los siguientes valores: KT con 4.92 mg GAE/100 g PF y CY con 4.62 mg GAE/100 g PF. En el estado EDO2 y MC la línea CY fue la que presentó el mayor contenido de ácido *p*-coumaroil hexosa con valores de 6.79 y 6.06 mg GAE/100 g PF correspondiente a estos dos últimos estados de maduración.

Con respecto a la molécula ácido *p*-coumaroil éster (Figura III.2.H), en el estado Verde las líneas Mulata y KT presentaron el mayor contenido con 9.87 y 9.62 mg GAE/100 g PF respectivamente. En el estado MF, en la línea Mulata se cuantificó 15.69 mg GAE/100 g PF, seguido de la línea CY con 9.54 mg GAE/100 g PF y por último, las líneas KT y Cubana con 8.48 y 7.66 mg GAE/100 g PF respectivamente. Contrastantemente, la línea CY aumentó considerablemente en el estado EDO1 con una cantidad de 13.5 mg GAE/100 g PF. Como se ha observado en otras moléculas, en el estado EDO2 la única línea que aumento su contenido de este polifenol fue Mulata con 12.82 mg GAE/100 g PF, sin embargo, las demás líneas tendieron a disminuir su contenido de ácido *p*-coumaroil éster. En el último estado de maduración MC, la línea Cubana logró mantener un contenido de 12.14 mg GAE/100 g PF, mientras que la línea que presentó el menor contenido de esta molécula fue Mulata con 7.38 mg GAE/100 g PF, las silvestres CY y KT mantuvieron 8.57 y 7.89 mg GAE/100 g PF.



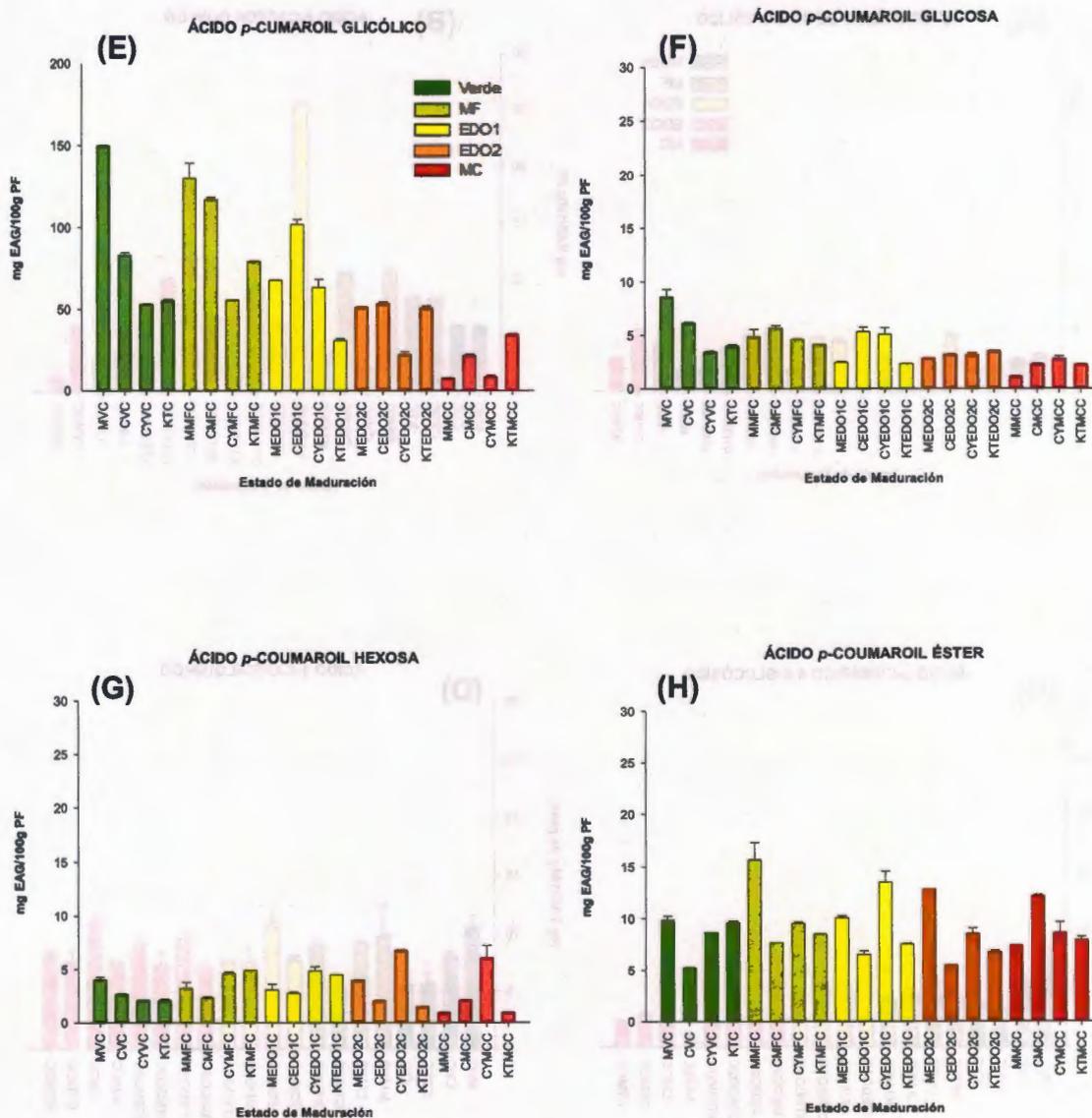


Figura III.2. Contenido de ácidos fenólicos en las diferentes líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en sus diferentes estados de maduración. (A) éster etílico del ácido gálico, (B) ácido 4-cafeoilquinico, (C) ácido *p*-cumárico 4-0-glucósido, (D) ácido 1-cafeoilquinico, (E) ácido *p*-coumaroil glicólico, (F) ácido *p*-coumaroil glucosa, (G) ácido *p*-coumaroil hexosa y (H) ácido *p*-coumaroil éster.

El compuesto floridzina (Figura III.3.A) la cual se encuentra dentro de la familia de los dihidrochalconas, un tipo de flavonoide. Las líneas comerciales Cubana y Mulata presentaron mayor contenido de este polifenol en estado Verde con 11.62 y 6.43 mg GAE/100 g PF respectivamente, conforme fue transcurriendo la maduración su concentración incremento hasta 17.97 mg GAE/100 g PF y 13.95 mg GAE/100 g PF para la líneas líneas Cubana y Mulata respectivamente en MF. Conforme se había observado en otras moléculas, al incrementar la maduración este polifenol disminuyo su contenido de hasta 7.44 y 4.73 mg GAE/100 g PF para las líneas Cubana y Mulata respectivamente al final de la maduración de los frutos (MC). Por otra parte, las líneas silvestres presentaron una menor contenido de floridzina, en casi todos los estados de maduración alcanzando valores de 3.64 mg GAE/100 g PF en KT y de 1.1 mg GAE/100 g PF para CY en MC.

En la Figura III.3.B, se observa la quercetina-3-O-rutinósido, es un glucósido flavonoide. Los resultados obtenidos en el UPLC indican que esta molécula se presentó en mayor contenido en los primero dos estados de maduración Verde y MF para las líneas Mulata y Cubana, disminuyendo su contenido conforme avanzaba la maduración, llegando a valores casi nulos en el último estado de maduración (MC). La línea KT los valores de esta molécula fue de 14.79 mg GAE/100 g PF, por lo anterior, fue esta línea silvestre la única que presentó valores altos de uercetina 3-O-rutinósido en MC.

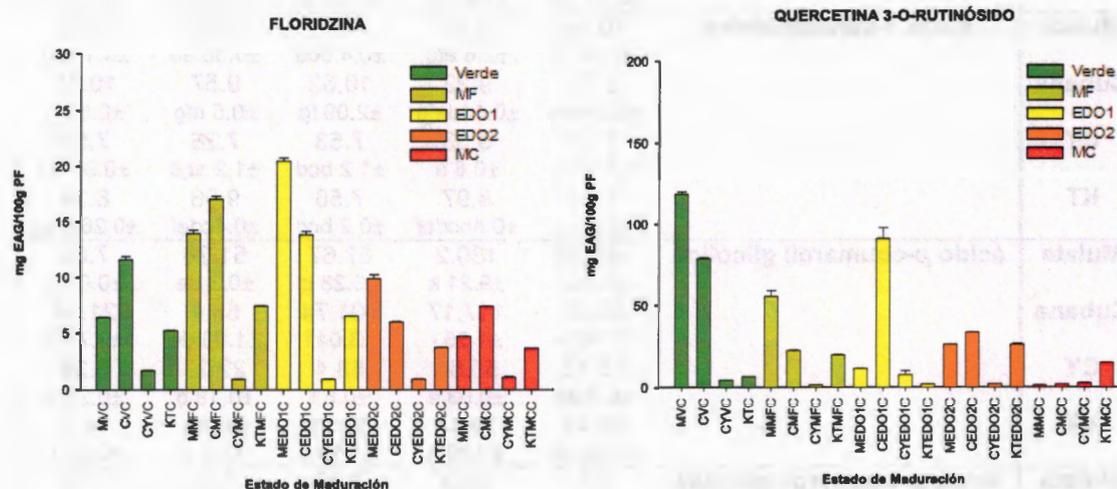


Figura III.3. Contenido de (A) Floridzina y (B) Quercetina 3-O-rutinósido en las diferentes líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) durante la maduración.

Tabla III.1. Contenido del perfil de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración. Medias con letras iguales no difieren significativamente. Prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

Líneas	Molécula	Verde	MF	EDO1	EDO2	MC
<i>mg GAE/100 g PF</i>						
Mulata	éster etílico ácido gálico	3.16	4.8	4.58	5.25	1.69
		±0.03 f	±0.34 l	±0.01 jk	±0.08 m	±0.08 a
Cubana		2.65	2.29	4.26	4.74	3.94
		±0.02 e	±0.009 d	±0.17 i	±0.01 kl	±0.01 h
CY		2.05	1.96	4.55	3.62	5.25
	±0.01 c	±0.01 bc	±0.01 j	±0.07 g	±0.01 m	
KT	1.86	2.76	1.79	1.82	2.74	
	±0.02 ab	±0.02 e	±0.02 ab	±0.11 ab	±0.16 e	
Mulata	ácido 4-cafeoilquinico	5.79	10.4	25.27	6.69	3.34
		±0.06 f	±0.47 k	±0.37 l	±0.01 g	±0.02 d
Cubana		5.84	1.95	5.9	4.13	2.5
		±0.03 f	±0.02 b	±0.01 f	±0.009 e	±0.02 c
CY		8.3	10.58	9.14	9.83	5.77
	±0.03 h	±0.02 k	±0.35 i	±0.27 j	±0.01 f	
KT	8.49	3.3	2.33	1.32	1.15	
	±0.009 h	±0.01 d	±0.02 c	±0.01 a	±0.004 a	
Mulata	ácido p-cumárico 4-O-glucósido	8.54	4.8	2.48	2.85	1.1
		±0.7 n	±0.57 j	±0.03 bc	±0.02cde	±0.03 a
Cubana		6.09	5.66	5.35	3.2	2.22
		±0.01 m	±0.25 lm	±0.39 kl	±0.02def	±0.01 b
CY		3.29	4.51	5	3.15	2.72
	±0.21 ef	±0.007 ij	±0.55 jk	±0.25def	±0.31bcd	
KT	3.86	4.13	2.3	3.49	2.27	
	±0.16 gh	±0.01 hi	±0.01 b	±0.04 fg	±0.06 b	
Mulata	ácido 1-cafeoilquinico	10.54	9.75	7.7	7.09	7.52
		±0.99 fg	±2.6 efg	±0.4 bcd	±0.36 ab	±0.1 bcd
Cubana		8.08	9.22	10.62	9.57	10.95
		±0.3bcde	±0.11defg	±2.09 fg	±0.5 efg	±0.59 g
CY		5.68	5.53	7.53	7.26	7.59
	±1.01 a	±0.6 a	±1.2 bcd	±1.2 abc	±0.9 bcd	
KT	5.62	8.97	7.56	9.06	8.34	
	±0.62 a	±0.4bcdef	±0.2 bcd	±0.4cdef	±0.26bcde	
Mulata	ácido p-coumaroil glicólico	149.86	130.2	67.67	51.26	7.65
		±0.16 l	±9.21 k	±0.28 g	±0.3 de	±0.02 a
Cubana		83.09	117.17	101.74	53.4	21.54
		±1.49 h	±1.35 j	±3.04 i	±1.08 de	±0.79 b
CY		53.12	55.66	63.4	22.23	8.26
	±0.2 de	±0.03 e	±0.6 f	±0.19 b	±0.23 a	
KT	55.41	79.14	30.91	50.84	34.4	
	±0.66 de	±0.39 h	±1.18 c	±1.2 d	±0.55 c	
Mulata	ácido p-coumaroil glucosa	8.6	4.89	2.45	2.84	1.08
		±0.7 n	±0.66 ij	±0.08bcd	±0.02 de	±0.07 a
Cubana		6.15	5.66	5.33	3.19	2.28
		±0.07 m	±0.25 k	±0.41 jk	±0.01 ef	±0.05 bc
CY		3.44	4.63	5.08	3.14	2.77
	±0.09 f	±2.12 i	±2.45 ij	±2.23 ef	±3.97 cde	

KT		3.99 ±0.11 gh	4.14 ±0.02 h	2.3 ±0.01 bc	3.52 ±0.01 fg	2.23 ±0.02 b
Mulata	ácido <i>p</i>-coumaroil hexosa	4.01 ±0.26 f	3.24 ±0.53 e	3.06 ±0.53 e	3.95 ±0.02 f	0.92 ±0.04 a
Cubana		2.65 ±0.04cde	2.34 ±0.11 cd	2.75 ±0.11 de	2.06 ±0.02 c	2.13 ±0.02 c
CY		2.12 ±0.02 c	4.62 ±0.13 g	4.85 ±0.41 g	6.79 ±0.04 i	6.06 ±1.15 h
KT		2.1 ±0.09 c	4.92 ±0.02 g	4.51 ±0.01 fg	1.5 ±0.005 b	0.91 ±0.03 a
Mulata		9.87 ±0.35 g	15.69 ±1.57 g	10.05 ±0.21 g	12.82 ±0.02 hi	7.38 ±0.01bcd
Cubana	5.25 ±0.041 a	7.66 ±0.08 de	6.51 ±0.35 b	5.48 ±0.01 a	12.14 ±0.13 h	
CY	8.65 ±0.005 f	9.54 ±0.11 j	13.5 ±1.05 i	8.52 ±0.51 ef	8.57 ±1.05 ef	
KT	9.62 ±0.15 g	8.48 ±0.03 ef	7.51 ±0.06 cd	6.71 ±0.2 bc	7.89 ±0.3 def	
Mulata	Floridzina	6.43 ±0.02 g	13.95 ±0.32 k	20.46 ±0.28 m	9.9 ±0.37 i	4.73 ±0.02 d
Cubana		11.62 ±0.3 j	17.07 ±0.24 l	13.84 ±0.3 k	6.02 ±0.04 f	7.44 ±0.009 h
CY		1.71 ±0.01 b	0.94 ±0.02 a	0.92 ±0.03 a	0.94 ±0.01 a	1.1 ±0.09 a
KT		5.24 ±0.01 e	7.45 ±0.02 h	6.53 ±0.02 g	3.71 ±0.02 c	3.64 ±0.01 c
Mulata		Quercetina 3-0- rutinósido	118.75 ±1.41 l	55.74 ±3.43 i	11.44 ±0.19 d	25.85 ±0.15 g
Cubana	78.99 ±0.6 j		22.33 ±0.41 f	90.97 ±6.84 k	33.61 ±0.2 h	1.88 ±0.04 a
CY	4.3 ±0.03 ab		1.51 ±0.005 a	7.56 ±2.54 c	1.97 ±0.04 a	2.75 ±0.17 a
KT	6.54 ±0.02 bc		19.58 ±0.31 f	1.88 ±0.02 a	26.05 ±0.38 g	14.79 ±0.24 e

III.6. DISCUSIÓN

En la pulpa de papaya Wu *et al.* (2004) reportaron un contenido de polifenoles totales de 54 mg GAE/100 g PF, además, en otro estudio publicado por Mélo *et al.* (2007), reportaron valores de 75.36 mg GAE/100 g PF en papaya cv. Formosa y de 103.90 mg GAE/100 g PF en papaya cv. Hawai con respecto a polifenoles totales en estados de madurez comercial. Debido a lo anterior, en nuestro trabajo de investigación se reporta que en la pulpa de las líneas comerciales Cubana y Mulata se obtuvieron un contenido de polifenoles totales de 84.56 y 70.18 mg GAE/100 g PF respectivamente, por lo anterior, nuestros resultados fueron similares a lo reportado por Mélo *et al.* (2007), en contraste, en la pulpa de las líneas silvestres KT y CY se obtuvieron valores de 93.62 y 87.37 mg GAE/100 g PF respectivamente, indicando que las líneas silvestres tienen más polifenol que las comerciales al final de la maduración de los frutos.

En todas las líneas evaluadas los polifenoles totales incrementaron su contenido conforme maduraban los frutos; según Wall (2006) y Boudries *et al.* (2007) este incremento de polifenoles totales varía de acuerdo al estado de maduración de la fruta, es decir, factores como la madurez de frutas, agroclima y las condiciones de almacenamiento después de la cosecha afectan el contenido de polifenoles en la maduración de las frutas, lo anterior concuerda con nuestros resultados al observar una tendencia al aumentar el contenido de polifenol en la pulpa de todas las líneas de papaya tanto comerciales como silvestres, en este sentido, las líneas Mulata (60.81 mg GAE/100 g PF), Cubana (60.5 mg GAE/100 g PF), CY (73.31 mg GAE/100 g PF) y KT (57.68 mg GAE/100 g PF) en el estado Verde tendieron a aumentar a 70.18, 84.56, 87.37 y 93.62 mg GAE/100 g PF respectivamente en el estado de madurez comercial (MC), lo anterior fue corroborado en frutos inmaduros de carambola los cuales mostraron cantidades de polifenoles totales menores (142,9 mg GAE/100 g PF) a lo cuantificado en frutos maduros de carambola (209,9 mg GAE/100 g PF). De igual manera, se observó esta misma tendencia en frutos inmaduros de mango (56 a 76.3 mg GAE/100 g PF) y de papaya (57.6 a 74.45 mg GAE/100 g PF) (Luximon *et al.*, 2003).

En comparación con otras frutas, en estado de consumo (MC) las líneas de papaya silvestres (CY con 87.37 y KT con 93.62 mg GAE/100 g PF) y las líneas comerciales

(Mulata con 70.18 y Cubana con 84.56 mg GAE/100 g PF) mostraron un contenido bajo de polifenoles en comparación con las siguientes frutas: mora con 417 a 555 mg GAE/100 g PF, fresas con 317.2 a 443.4 mg de GAE/100 g PF (Skupien y Oszmian 2004), lichis cv. Kwymay con 222.3 mg GAE/100 g PF y carambola con 181,71 mg GAE/100 g PF (Brat *et al.*, 2006). Las frutas que presentan valores similares de polifenoles totales en comparación con papaya son: cinco variedades de manzana (Braebum, Gala, Golden Delicious, Granny Smith y American tipo rojo) con un promedio de 103 mg GAE/100 g PF (Brat *et al.*, 2006), y por último, los frutos que presentan un menor contenido de polifenoles totales en comparación a frutos de papaya son: mango cv. Keitt con 68.1 mg GAE/100 g PF, plátano con 52 mg GAE/100 g PF, piña con 47 mg GAE/100 g PF, sandía con 29.32 mg GAE/100 g PF y melón con 16.71 mg GAE/100 g PF (Wu *et al.*, 2004; Brat *et al.*, 2006). Según lo reportado por Vrhovsek *et al.* (2004), las manzanas representan el 30% de polifenoles del total diario recomendado, por lo anterior, la papaya al presentar valores similares en el contenido de polifenoles totales, es un fruto que podría proporcionar la cantidad necesaria según la ingesta diaria recomendada (50 mg de PF).

Como se reporta por George *et al.* (2005), el ácido gálico es el principal polifenol en frutas y verduras, por lo anterior, nuestros resultados son similares al identificar el éster etílico del ácido gálico en cantidades de 5.25 mg GAE/100g PF para la línea silvestre CY, seguido de la línea Cubana con 3.94 mg GAE /100 g PF, por último la línea silvestre KT y la línea comercial Mulata con cantidades de 2.74 mg GAE /100 g PF y 1.69 mg GAE /100g PF respectivamente en estado de madurez comercial. El compuesto fenólico floridzina es un derivado fenilpropanoide (floreтина 2'-β-glucósido, florizina, florizina o florizosido) es un destacado miembro de las dihidrochalconas, un tipo de flavonoide (Gosch *et al.*, 2010), la floridzina se caracteriza por su sabor amargo, este compuesto se acumula en grandes cantidades en la manzana (*Malus sp.*) en concentraciones de 104-159 mg GAE/100 g PF, mientras que la mayoría de las especies contienen este compuesto sólo en cantidades bajas (Gosch *et al.*, 2010), en este estudio se ha identificado por primera vez la presencia de este metabolito en la cáscara de frutos de papaya, teniendo un contenido de 7.44 mg GAE/100 g PF en la línea comercial Cubana en el estado MC, este valor es inferior a lo reportado en manzana, sin embargo, la presencia de este metabolito en papaya ha sido un gran logro, debido a que son escasas las especies que lo sintetizan. Este compuesto se ha utilizado por sus propiedades

medicinales por un largo tiempo, la medicina moderna lo utiliza para en el control de los niveles de azúcar en la sangre, agente protector para el corazón de los radicales libres de captación de oxígeno y lesiones antioxidantes. Los estudios también han demostrado que florizina tiene actividad estrogénica y antiestrogénica (Wang *et al.*, 2010). Dada su importancia, su presencia en papaya es muy importante para la salud, por lo que se propone el estudio de este metabolito en esta especie para identificar sus funciones nutraceuticas.

Los flavonoides son compuestos fenólicos constituyentes de la parte no energética de la dieta humana. Se encuentran en vegetales, semillas, frutas y en bebidas como vino y cerveza. Aunque diversos estudios indican que algunos flavonoides poseen acciones prooxidantes, éstas se producen sólo a dosis altas, constatándose en la mayor parte de las investigaciones la existencia de efectos antiinflamatorios, antivirales o antialérgicos, y su papel protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías. En nuestros resultados de manera satisfactoria se identificó al flavonoide quercetina 3-O-rutinósido en el estado Verde con valores altos de 118.75 mg GAE/100 g PF y 78.99 mg GAE/100 g PF en las líneas Mulata y Cubana respectivamente, sin embargo, los valores disminuyeron en estas dos líneas en el estado de MC con valores de 1.88 y 1.37 mg GAE/100 g PF, sin embargo, lo opuesto ocurrió en la línea KT siendo la única línea silvestre de papaya que incrementó gradualmente este flavonoide alcanzando valores de 14.79 mg GAE/100 g PF en el estado de MC. Aunque los hábitos alimentarios son muy diversos en el mundo, el valor medio de ingesta de flavonoides se estima en 23 mg/día, siendo la quercetina el flavonoide predominante con un valor medio de 16 mg/día (Martínez *et al.*, 2002), por lo anterior, los frutos de papaya de la línea CY cumplen con el contenido de ingesta diaria recomendada.

En papaya cv. Formosa se reportó 1.20 mg GAE/100 g PF de flavonoles totales, 15.32 mg GAE/100 g PF del total de proantocianidinas y no se encontró antocianinas, valores similares se reportó en papaya cv. Hawaii con 1.91 mg GAE/100 g PF de flavonoles totales, 3.88 mg GAE/100 g PF del total de proantocianidinas y sin la presencia de antocianinas (Mélo *et al.*, 2006). Nuestros resultados coincidieron con los datos de Mélo *et al.* (2006), todas las líneas presentaron valores mínimos de flavonoles totales, proantocianidinas y de antocianinas, por lo cual no se graficaron nuestros datos.

III.7. CONCLUSIÓN

- En las líneas comerciales Mulata y Cubana los polifenoles totales en cáscara oscilaron entre 160 a 200 mg GAE/100 g PF en el estado MC y el contenido de polifenoles totales en la pulpa en estas dos líneas oscilaron entre 70 a 85 mg GAE/100 g PF en este mismo estado de consumo.
- Las líneas silvestres CY y KT presentaron un contenido de polifenoles totales en cáscara entre 170 a 220 mg GAE/100 g PF y de 87 a 94 mg GAE/100 g PF de polifenoles totales en pulpa, todo el contenido en el estado MC, por lo anterior, las líneas silvestres contienen en su cáscara y pulpa un mayor contenido de polifenoles totales.
- Se identificaron ocho metabolitos pertenecientes a los ácidos fenólicos, de los cuales los que presentaron mayor concentración en el estado MC fueron: el ácido 1-cafeoilquínico (Mulata: 7.52 mg GAE/100 g PF, Cubana: 10.95 mg GAE/100 g PF, CY: 7.59 mg GAE/100 g PF Y KT: 8.34 mg GAE/100 g PF) y el ácido *p*-coumaroil éster (Mulata: 7.38 mg GAE/100 g PF, Cubana: 12.14 mg GAE/100 g PF, CY: 8.57 mg GAE/100 g PF Y KT: 7.89 mg GAE/100 g PF).
- Se identificó por primera vez en papaya en la línea comercial Cubana el compuesto floridzina, el cual se ha reportado con funciones antioxidantes en otras especies y reduce el transporte renal de glucosa, disminuyendo la cantidad de glucosa en la sangre. La línea comercial Cubana presentó un contenido de 7.44 mg GAE/100 g PF en el estado MC.
- Se identificó en papaya en la línea silvestre KT al flavonoide quercetina 3-O-rutinósido el cual es un protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías. La línea silvestre KT presentó valores de 14.79 mg GAE/100 g PF en el estado de MC.

III.8. REFERENCIAS

- Arts I.C. and Hollman P.C. (2005) Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. **81**:317-325.
- Biesaga M. and Pyrzynska K. (2009) Liquid chromatography/tandem mass spectrometry studies of the phenolic compounds in honey. *Journal of Chromatography A*. **1216**: 6620-6628.
- Boudries H., Kefalas P. and Hornero M.D. (2007) Carotenoid composition of Algerian date varieties (*Phoenix datylifera*) at different edible maturity stages. *Food Chemistry*. **101**: 1372-1377.
- Brat P., George S., Bellamy A., Chaffaut L.D., Scalbert A. and Mennen L. (2006) Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *The Journal of Nutrition*. **136**: 2368-2373.
- Corral A.R.D., Yahia E.M., Carrillo L.A. and González A.G. (2008) Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **56**:10498-10504.
- George S., Brat P., Alter P. and Amiot M.J. (2005) Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **53**:1370-1373.
- Gosch C., Halbwirth H., Stich K. (2010) Phloridzin: biosynthesis, distribution and physiological relevance in plants. *Phytochemistry* **71**: 838-843.
- Hertog M.G., Hollman P.C.H., Katan M.B. and Kromhout D. (1993) Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adults in the Netherlands. *Nutritional and Cancer*. **20**: 21-29.

- Holden J.M., Bhagwat S.A., Beecher G.R., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E., Eldridge A.L., Dwyer J. and Peterson J. (2005) Development of a Database of Critically Evaluated Flavonoids Data: Application of USDA's Data Quality Evaluation. *Journal of Food Composition and Analysis*. **18**: 829-834.
- Huang D., Ou B. and Prior R.L. (2005) The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **53**: 1841-1856.
- Khan N. and Mukhar H. (2007) Tea polyphenols for health promotion. *Life Science* **81**: 519-533.
- Luximon R.A., Bahorun T. and Crozier A. (2003) Antioxidant actions and phenolic and vitamin C contents of common Mauritian exotic fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **83**: 496-502.
- Martínez F.S., González G.J., Culebras J.M. and Tuñón M.J. (2002) Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. **17**:271-278.
- Mélo E.A., Arroxelas G.L. and Sucupira M.M. (2006) Polyphenol, Ascorbic Acid and Total Carotenoid Contents in Common Fruits and Vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology*. **9**: 89-94.
- Murakami A., Ohgashi H. and Koshimizu K. (1994) Possible anti-tumor promoting properties of traditional Thai foods and some of their active constituents. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. **3**: 185-191.
- Neuhouser M.L. (2004) Dietary flavonoids and cancer risk: evidence from human population studies. *Nutrition and Cancer*. **50**:1-7.
- Norshahida M.S., Azizah A.H., Azizah O., Nazamid S., Farooq A., Mohd S.P.D. and Muhammad R.H. (2011) Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds

and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences* **12**: 4678-4692.

Pekal A., Drozd P., Biesaga M. and Pyrzynska K. (2011) Evaluation of the antioxidant properties of fruit and flavoured black teas. *European Journal of Nutrition*. **50**: 681-688

Rivera P.D., Yahia E.M. and González A.G. (2010) Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under low temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **90**: 2358-2365.

Santamaría B.F., Suri D.E., Espadas G.F., Raúl D.P., Larqué S.A. y Santamaria, F.J. (2008) Maduración postcosecha e índices de maduración de papaya Maradol. *Interciencia*. **34**: 584-588.

Sherman P.W. and Billing J. (1999) Darwinian gastronomy: why we use spices. *Bioscience*. **49**: 453-463.

Skupien K. and Oszmian J. (2004) Comparison of six cultivars of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown in northwest Poland. *European Food Research and Technology*. **219**: 66-70.

Vinson J.A., Hao Y., Su X. and Zubik L. (1998) Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **46**:3630–3634.

Vinson J.A., Su X., Zubik L. and Bose P. (2001) Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **49**:5315–5321.

Vrhovsek U., Rigo A., Tonon D. and Mattivi F. (2004) Quantification of polyphenols in different apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **52**: 6532–6538.

Wang J., Chung M.H., Xue B., Ma H., Ma C. and Hattori M. (2010). Estrogenic and antiestrogenic activities of phloridzin. *Biol Pharm Bull Journal*. **33**: 592-597.

Wall M.M. (2006) Ascorbic acid, vitamin A and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*. **14**: 434-445.

Wu X., Beecher G.R., Holden J.M., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E. and Prior R.L. (2004) Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **52**: 4026-4037.

CAPÍTULO IV

CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES EN LÍNEAS DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN POSTCOSECHA

IV.1. INTRODUCCIÓN

El color de la pulpa de la papaya es determinada en gran medida por la presencia de pigmentos carotenoides. Red de pulpa de fruta de papaya contienen licopeno, mientras que este pigmento está ausente de la fruta de pulpa amarilla. La conversión de licopeno (rojo) a beta-caroteno (amarillo) está catalizada por el licopeno beta-ciclasa (Devitt *et al.*, 2010).

Los carotenoides son pigmentos liposolubles de origen vegetal que están presentes en el organismo humano, el cual no los sintetiza *de novo* y los obtiene a partir de la dieta. Una elevada ingesta de frutas y hortalizas está claramente asociada con un menor riesgo de diversas enfermedades crónicas (Bazzano, *et al.*, 2002; Hung, *et al.*, 2004; Martínez, *et al.*, 2011). De los casi cincuenta carotenoides disponibles en la dieta humana, que pueden ser absorbidos y metabolizados, sólo seis (β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina) representan más del 95% de los carotenoides totales en sangre y son los habitualmente estudiados en el contexto de la dieta y la salud humana (Maiani, 2009).

La principal actividad de estos compuestos en las plantas es la fotoprotección del sistema fotosintético, además, estos compuestos en el organismo humano destacan funciones de importancia en la salud humana, como son la actividad de la provitamina A (Institute of Medicine, 2000), actividad antioxidante, secuestradores de radicales libres (Rao, 2007), la potenciación del sistema inmune (Chew 2004), la fotoprotección de tejidos como el epitelial y el ocular (Sthal, 2007; Maiani, 2009), entre otras. Se ha presentado evidencia de que los individuos con una baja ingesta de carotenoides y/o bajos niveles en sangre de carotenoides tienen un mayor riesgo de enfermedades degenerativas (Van de Berg *et al.* 2000). Los carotenoides pueden ayudar a prevenir el daño de los radicales libres al actuar como antioxidantes debido a su capacidad para inactivar las especies de radicales. Por lo

tanto, los carotenoides se han observado como los micronutrientes más abundantes encontrados en el cáncer preventivas alimentos (Cano y Ancos 1994).

Los carotenoides son los pigmentos naturales responsables de los colores amarillos, anaranjados y rojos en muchas frutas y vegetales (Vasconellos, 2000), tales como mango, naranja, tomate y zanahoria, entre otros (Meléndez *et al.*, 2007); aunque también han sido encontrados en hongos, algas, bacterias, insectos y crustáceos (Delgado *et al.*, 2000). Estos compuestos cumplen un papel importante en la calidad de las frutas y vegetales, ya que la composición cualitativa y cuantitativa de estos pigmentos está relacionada con el estado de madurez, exhibiendo un contenido diferencial durante el proceso de maduración (Rodríguez *et al.*, 2004).

El color que exhiben los frutos de papaya se atribuye a la presencia de pigmentos carotenogénicos, que son los responsables del color característico en la cáscara y pulpa, estos les confieren las tonalidades amarillas, anaranjadas y rojizas características. En este marco, el objetivo del presente trabajo de investigación fue identificar los pigmentos carotenogénicos presentes en cuatro líneas de papaya en diferentes estados de maduración.

IV.2. HIPOTESIS

Si al cuantificar el perfil metabolómico de carotenoides de cáscara y pulpa en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) durante la maduración postcosecha, entonces se podrán identificar si licopeno es el metabolito responsable proporcionar el color rojo y β -caroteno el color amarillo.

IV.3. OBJETIVOS

IV.3.1. Objetivo general

- Cuantificar el perfil metabolómico de carotenoides presentes en cáscara y pulpa en frutos de cuatro líneas de papaya (*Carica papaya* L.) en diferentes estados de maduración postcosecha.

IV.3.2. Objetivos particulares

- Analizar el comportamiento de los metabolitos identificados mediante HPLC durante el transcurso de la maduración postcosecha.
- Determinar los metabolitos carotenogénicos responsables de proporcionar el color característico en las líneas comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT).

IV.4. MATERIALES Y METODOS

IV.4.1. Material vegetal

Se utilizó muestras de cáscara y pulpa de las líneas de papaya Mulata, Cubana, CY y KT en diferentes estados de maduración previamente tratadas en el capítulo anterior: Caracterización fisicoquímica en frutos de diferentes líneas de papaya (*Carica papaya* L.) en estados postcosecha, las etapas de maduración seleccionadas fueron las establecidas según lo reportado por Santamaría *et al.* (2008).

Las muestras de pulpa (3 cm³) y cáscara (0.3 cm de grosor) previamente fueron expuestas en N₂ líquido y almacenados a -80 °C durante 24 hrs, posteriormente las muestras fueron liofilizadas para facilitar su maceración, por último, el tejido totalmente pulverizado fue colocado en tubos cónicos Sarstedt® de 50 mL y cubiertos con papel aluminio. Todo el material fue almacenado a -20 °C hasta su posterior uso para el análisis.

IV.4.2. Protocolo de extracción de carotenoides

La preparación de la muestra se llevó a cabo con poca luz. Se utilizó material de vidrio así como frascos ámbar para evitar la isomerización y degradación de carotenoides. Se pesó 0.25 mg de la muestra liofilizada de papaya, se le añadió 0.0625 g de Celite® 545 previamente pesado. Posteriormente se agregó 6.25 mL de una mezcla de Metanol: acetato de etilo: éter de petróleo (1:1:1, v/v/v), este último contenía 0.1 g/L de BHT y 0.1 g/L de BHA. Se colocó en el vortex por 30 s, posteriormente se colocó en el baño ultrasónico por 5 min a 20 °C, se centrifugó a 5 000 rpm durante 5 min.

Se recuperó el sobrenadante en un tubo nuevo, posteriormente se extrajo nuevamente la fase sedimentada 2 o 3 veces hasta que un residuo sólido se obtenga incoloro. Seguidamente se transfirió a un embudo de decantación el extracto total obtenido, se le agregó 3.75 mL de H₂O y 3.75 mL éter de petróleo, se agitó suavemente y se observó una separación de fases, la fracción inferior se eliminó y la fracción superior se recuperó. Esta

última se re-extrajo una vez más con 3.75 mL éter de petróleo y 2 a 3 veces con 5 mL éter de petróleo: acetato de etilo (1:1, v/v).

Posteriormente al extracto obtenido se le agregó 0.25 g Na_2SO_4 y se agitó suavemente para eliminar residuos de agua, se transfirieron en tubos nuevos y se pusieron a evaporar a sequedad completa en atmósfera de N_2 líquido bajo una presión reducida de ≤ 25 °C, posteriormente los extractos secos se re-suspendieron con 1.25 mL de MTBE/MeOH (9:1 v/v) y por último fueron almacenados a -20 °C en viales de vidrio ámbar para su posterior el análisis en HPLC.

IV.4.3. Análisis de carotenoides por HPLC

El análisis de carotenoides se realizó en un HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Resolución) con un equipo de HPLC Waters (Millipore Corporation, Milford, MA, EE.UU.), equipado con un detector de UV Waters modelo 966 (Millipore Corporation, Milford, MA, EE.UU). Se utilizó una columna de fase reversa de escala de análisis YMC C30 (YMC Europe GmbH, Dinslaken, Alemania) de 250 × 4.6 mm de diámetro, 5 μm de tamaño de partícula, protegido por una columna de seguridad YMC C30 (YMC Europe GmbH, Dinslaken, Alemania) de 10 × 3,0 mm de diámetro, 5 μm de tamaño de partícula. La temperatura de operación fue de 25 °C. La fase móvil consistió en un eluyente A (metanol/MTBE/agua, 81:15:4, v/v/v) y un eluyente B (metanol/MTBE, 94/91, v/v) con un programa de gradiente de la siguiente manera: 100% (0 min), un 50% (45 min), isocrática 45% (25 min) y 100% (25 min) después de pasar por la columna. El tiempo total fue de 95 min a una velocidad de flujo de 1 mL/min. El volumen de inyección fue de 10 μL . Los carotenoides libres y esterificados fueron identificados a 450 nm y en el espectro adicional de UV/Vis se registraron en el intervalo de 200-800 nm. Los carotenoides fueron identificados comparando espectros de absorción UV/Vis con los tiempos de retención y espectro de masas de los estándares auténticos.

IV.5. RESULTADOS

IV.5.1. Análisis del perfil de carotenoides por HPLC en cáscara de papaya

En la Figura IV.1., se ilustra el contenido de carotenoides presente en la cáscara de líneas de *Carica papaya* L., en sus diferentes estados de maduración. Con respecto al metabolito **fitoeno**, cabe señalar que no se identificó en el estado V de ninguna línea, sin embargo, este metabolito sólo se identificó en el estado MF de la línea silvestre KT con un contenido de $52.87 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Conforme avanzó la maduración en los frutos, el fitoeno presente en la cáscara incrementaba paulatinamente. En el EDO1 sólo se encontró presente en las líneas silvestres CY ($9.82 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y KT ($20.33 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En el estado EDO2, la línea que presentó en su cáscara el menor contenido de fitoeno fue Mulata con $6.29 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, mientras que en las líneas Cubana, CY y KT presentaron valores mas altos (10.34 , 10.09 y $10.78 \mu\text{g g}^{-1}$ PF $10.09 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente). Al final de la maduración en el estado MC, el fitoeno se mantuvo presente en todas las líneas, siendo la línea KT con mayor contenido de este metabolito se observó ($88.95 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), con valores mínimos en la línea Mulata ($28.09 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), Cubana ($19.31 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y CY ($13.82 \mu\text{g g}^{-1}$ PF).

El contenido de **ζ -caroteno** en la cáscara de las líneas de papaya durante el estado V fueron las siguientes: 39.10 y $24.36 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para las líneas comerciales Mulata y Cubana respectivamente, para las líneas silvestres el contenido de ζ -caroteno fueron de $28.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para CY y $21.92 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para la línea KT. Durante el estado MF, se enlista el contenido de este metabolito en orden creciente: $32.88 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en Cubana, $32.93 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY, $39.62 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en Mulata y la línea que presentó el mayor contenido de ζ -caroteno fue KT con $62.8 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Cabe señalar que el contenido de ζ -caroteno aumentó del EDO1 al EDO2 en tres líneas Mulata (43.87 a $54.98 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), Cubana (35.23 a $61.2 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y KT (62.3 a $76.28 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), mientras que en CY existió una pequeña disminución (38.25 a $36.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En el estado MC el mayor contenido de ζ -caroteno se identificó en la línea silvestres KT con $81.43 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguida por la línea Cubana con $66.92 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, Mulata con $58.82 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y por último CY con $41.01 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

En todas las líneas evaluadas no se identificó **licopeno** en los primeros dos estados de maduración (V y MF), sin embargo, en el estado EDO1 se detectó la presencia de este metabolito con mayor contenido en la línea comercial Mulata con $10.61 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por la línea Cubana con $1.84 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la línea KT ($5.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), por último, con menor contenido de licopeno para la línea silvestre CY con $1.18 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Todas las líneas en el EDO2 aumentaron gradualmente el contenido de licopeno en cáscara, siendo en el estado de MC donde se obtuvo la mayor concentración de este pigmento. Se observó que las líneas comerciales alcanzaron un mayor contenido de licopeno en comparación con las líneas silvestres para el estado MC, en este sentido, la línea Mulata obtuvo el mayor contenido con $57.86 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por la línea silvestre KT con $7.47 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la línea comercial Cubana con $3.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y con menor contenido en la línea CY con $2.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

El contenido de **β -caroteno** en cáscara de la línea comercial Mulata no se identificó en el estado V, sin embargo existió un aumento de este metabolito en los siguientes estados de maduración MF y EDO1 con 16.51 y $27.33 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente, sin embargo, en el estado EDO2 ($25.12 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y MC ($26.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) se observó una disminución del contenido de β -caroteno, por lo anterior, sólo en esta línea (Mulata) se presentó la condición anterior. Seguidamente se observó que en las líneas Cubana, CY y KT, existió un aumento en el contenido de β -caroteno conforme aumentaba la maduración, sin embargo, sólo en el estado V no se identificó β -caroteno en ninguna de las tres líneas restantes (Cubana, CY y KT), en el estado MF en la línea Cubana se cuantificó $20.69 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de β -caroteno y para las líneas silvestres CY y KT con $25.18 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y $25.99 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente. La línea Cubana aumentó al pasar de $30.77 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el EDO1 a $41.77 \mu\text{g g}^{-1}$ PF correspondiente al EDO2, de forma similar las líneas CY y KT aumentaron su contenido de β -caroteno en cáscara al incrementar de 39.92 a $41.59 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y de 37.21 a $44.35 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente. En el estado MC, la línea que presentó en su cáscara el mayor contenido de β -caroteno fue la línea comercial Cubana con $58.72 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido de la línea silvestre KT con $54.47 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y de último la línea silvestre CY con $48.10 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

Para el caso del contenido de **β -criptoxantina**, en la línea silvestre KT no se identificó este metabolito en el estado V, de manera escasa se observó en las líneas Mulata con $6.40 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y con más alto contenido en las líneas Cubana ($14.39 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y CY ($17.13 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). De manera contrastante, los resultados obtenidos del contenido de β -criptoxantina en el estado MF demostraron que en las líneas comerciales se presentó en menor cantidad este metabolito en comparación con las líneas silvestres, además, se observó el incremento gradual de β -criptoxantina en todas las líneas en los diferentes estados de maduración. En el estado MC la línea que obtuvo en su cáscara el mayor contenido de β -criptoxantina fue la línea silvestre KT con $54.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la siguiente fue la línea comercial Cubana con $44.79 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido de la línea CY con $42.78 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y de último, la línea que presentó el menor contenido de β -criptoxantina en su cáscara fue la línea comercial Mulata con $35.22 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

Durante el estado de maduración V, las cuatro líneas de papaya (Mulata, Cubana, CY y KT) no presentaron contenido de **violaxantina**. La línea comercial Cubana presentó el menor contenido de violaxantina en el estado MF ($17.65 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), mientras que las líneas silvestres CY y KT presentaron en su cáscara entre 20.3 a $20.6 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de violaxantina, además, la línea que presentó el mayor contenido de violaxantina en el estado MF fue la Mulata con $24.71 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Durante el estado EDO1, en la línea Mulata el contenido de violaxantina incrementó levemente de 24.71 a $28.56 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, de igual forma, se observó un aumento en el contenido de violaxantina para la línea comercial Cubana ($19.51 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), por lo contrario, se observó en las líneas silvestres CY y KT decrecieron abruptamente el contenido de violaxantina con 18.02 y $15.59 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente. Se observó concretamente que el contenido de violaxantina en el EDO2 decreció en todas las líneas de papaya, los siguientes valores fueron: Mulata con $16.28 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, Cubana con $18.63 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, CY con $17.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y KT con $15.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Para el estado MC aumentaron nuevamente los valores con respecto al contenido de violaxantina en la cáscara: la línea CY mostró el mayor contenido de violaxantina con $43.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido de la línea Cubana con $33.84 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, mientras que la línea Mulata y KT se cuantificó un 38.7 y $37.67 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de violaxantina respectivamente.

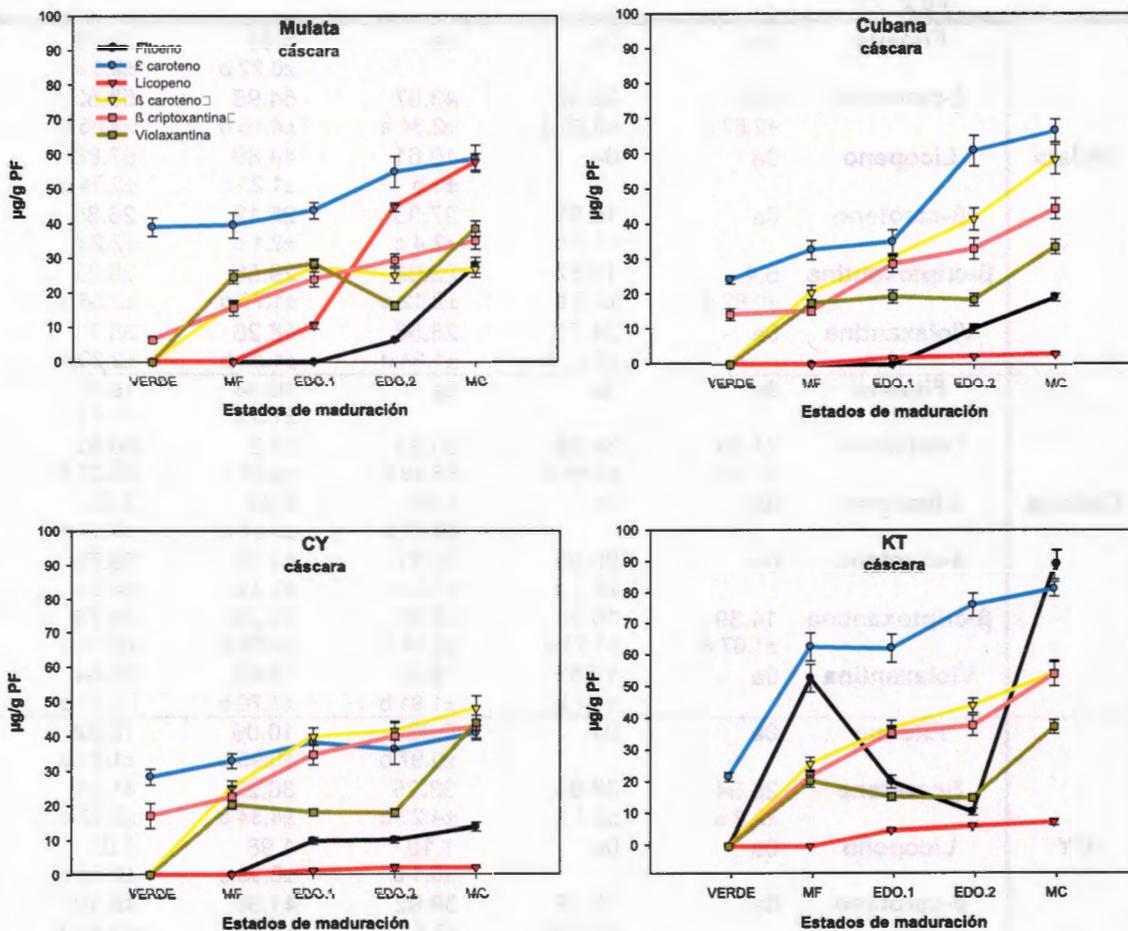


Figura IV.1. Contenido de carotenoides en la cáscara de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.

Tabla IV.1. Contenido del perfil de carotenoides en la cáscara de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.

LÍNEAS	CÁSCARA $\mu\text{g g}^{-1}$ PF	VERDE	MF	EDO1	EDO2	MC
Mulata	Fitoeno	0a	0a	0a	6.29 ± 0.22 b	28.09 ± 2.3 c
	ξ -caroteno	39.1 ± 2.67 a	39.62 ± 3.68 a	43.87 ± 2.34 a	54.98 ± 4.45 b	58.82 ± 3.85 b
	Licopeno	0a	0a	10.61 ± 1 b	44.89 ± 1.23 c	57.86 ± 2.34 d
	β -caroteno	0a	16.51 ± 1.2 b	27.33 ± 2.4 c	25.12 ± 2.1 c	26.85 ± 2.2 c
	β -criptoxantina	6.4 ± 0.62 a	15.67 ± 2.2 b	23.98 ± 2.12 c	29.56 ± 1.77 d	35.22 ± 2.56 e
	Violaxantina	0a	24.71 ± 1.91 c	28.56 ± 1.34 d	16.28 ± 1.23 b	38.7 ± 2.23 e
Cubana	Fitoeno	0a	0a	0a	10.34 ± 1.3 b	19.31 ± 1.1 c
	ξ -caroteno	24.36 ± 1.19 a	32.88 ± 2.69 b	35.23 ± 3.49 b	61.2 ± 4.34 c	66.92 ± 3.23 d
	Licopeno	0a	0a	1.84 ± 0.07 b	2.33 ± 0.04 c	3.02 ± 0.34 d
	β -caroteno	0a	20.69 ± 2.1 b	30.77 ± 1.1 c	41.77 ± 3.2 d	58.72 ± 4.2 e
	β -criptoxantina	14.39 ± 1.67 a	15.34 ± 1.11 a	28.85 ± 2.34 b	33.28 ± 3.01 b	44.79 ± 2.98 e
	Violaxantina	0a	17.65 ± 1.1 b	19.51 ± 1.91 b	18.63 ± 1.76 b	33.84 ± 2.12 e
CY	Fitoeno	0a	0a	9.82 ± 0.97 b	10.09 ± 0.95 b	13.82 ± 1.21 c
	ξ -caroteno	28.34 ± 2.3 a	32.93 ± 2.1 b	38.25 ± 4.23 c	36.23 ± 4.34 e	41.01 ± 2.12 d
	Licopeno	0a	0a	1.18 ± 0.1 b	1.98 ± 0.98 c	2.02 ± 0.03 c
	β -caroteno	0a	25.18 ± 2.01 b	39.92 ± 2.52 c	41.59 ± 2.73 c	48.10 ± 3.48 d
	β -criptoxantina	17.13 ± 3.75 a	22.67 ± 2.87 a	34.71 ± 2.89 b	40.06 ± 3.83 bc	42.78 ± 3.34 c
	Violaxantina	0a	20.3 ± 1.23 c	18.02 ± 1.08 bc	17.85 ± 1.19 b	43.85 ± 2.23 d
KT	Fitoeno	0a	52.87 ± 4.34 d	20.33 ± 2.1 c	10.78 ± 1.1 b	88.95 ± 4.45 e
	ξ -caroteno	21.92 ± 1.45 a	62.8 ± 4.45 b	62.3 ± 4.45 b	76.28 ± 3.75 c	81.43 ± 2.34 c
	Licopeno	0a	0a	5.02 ± 0.37 b	6.29 ± 0.43 c	7.47 ± 0.98 d
	β -caroteno	0a	25.99 ± 2.12 b	37.21 ± 2.45 c	44.35 ± 2.23 d	54.47 ± 3.97 e
	β -criptoxantina	0a	22.34 ± 1.72 b	35.76 ± 1.67 c	38.11 ± 3.23 c	54.23 ± 3.74 d
	Violaxantina	0a	20.6 ± 1.92 c	15.59 ± 1.23 b	15.23 ± 1 b	37.67 ± 2.23 d

IV.5.2. Análisis del perfil de carotenoides por HPLC en pulpa de papaya

En la Figura IV.2., se identifica el contenido del perfil de carotenoides presente en la pulpa de líneas de papaya (*Carica papaya* L.) en diferentes estados de maduración. El metabolito correspondiente a **fitoeno** no se identificó en ninguna de las líneas (Mulata, Cubana, CY y KT) en el estado V, sin embargo, en el estado MF de igual forma no se encontró en las líneas comerciales Mulata y Cubana, pero sí fue identificado en las líneas silvestres con un contenido de $10.27 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y de $31.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en KT. Para el estado EDO1, únicamente no se identificó fitoeno en la línea Cubana, mientras que en las demás líneas restantes presentaron los siguientes valores: Mulata con $6.59 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, CY con $33.45 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y finalmente con $41.05 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para la línea KT. En el estado EDO2 se observó que las pulpas de líneas silvestres presentaron mayor contenido de fitoeno (KT con $68.04 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y CY con $56.87 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) con respecto a las líneas comerciales (Mulata con $47.98 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y Cubana con $39.29 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). Finalmente, en el estado MC, se observó que las líneas silvestres contenían mayor fitoeno en la pulpa siendo la línea KT la de mayor contenido ($92.21 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), seguido por la línea Mulata ($66.57 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), Cubana ($64.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y CY ($57.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF).

No se identificó **ζ -caroteno** en el estado V de todas las líneas de papaya, únicamente se encontró este metabolito de manera escasa en el estado MF de las líneas silvestres CY con $3.73 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y en la línea KT con $7.07 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, sin embargo, en este mismo estado de maduración todavía no se identificaba en las líneas comerciales. Con respecto al estado EDO1, el contenido de ζ -caroteno se pudo apreciar su presencia en las líneas comerciales con $5.56 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para Mulata y $13.94 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para Cubana, mientras que en las líneas silvestres ζ -caroteno aumentó a $9.82 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y $13.16 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para KT. Contrastantemente en el EDO2, la línea comercial Cubana registró los valores más altos de ζ -caroteno con $50.09 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por la línea silvestre KT con $18 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y con valores cercanos a $16 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de ζ -caroteno para las líneas Mulata y CY. En el estado MC, todas las líneas aumentaron el contenido de ζ -caroteno con respecto al estado de maduración anterior, siendo la línea Cubana en donde se cuantificó el mayor contenido de ζ -caroteno ($55.5 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), la segunda línea que registró mayor ζ -caroteno en su pulpa fue KT ($34.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), la línea Mulata registró $28.88 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de este

metabolito, por último, la línea con menor contenido de ζ -caroteno en su pulpa fue para la silvestre CY con $22.1 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

Cabe señalar que en los primeros estados de maduración V y MF, la presencia de **licopeno** no se identificó. En el EDO1 se empezó a registrar datos de este metabolito, en la línea Mulata se identificó los datos más altos de licopeno con $11.64 \mu\text{g g}^{-1}$ PF seguida por la línea Cubana con $2.65 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y la línea KT con $0.78 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, únicamente la línea CY no se identificó este metabolito en el estado EDO1. Drásticamente en el estado EDO2 el contenido de licopeno aumentó en las líneas comerciales (Mulata con $41.52 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y Cubana con $2.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) en comparación con las líneas silvestres (CY con $1.53 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y KT con $1.86 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). Para el estado MC, la línea que presentó el mayor contenido de licopeno en su pulpa fue la línea Mulata con $54.31 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la línea Cubana presentó menor contenido de licopeno con $6.73 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, las líneas silvestres presentaron cantidades de licopeno muy por debajo al ser comparadas con las líneas comerciales. El contenido de licopeno en MC para las líneas silvestres fue de $2.81 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y $3.93 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para CY y KT respectivamente.

El contenido de **β -caroteno** únicamente se registró en la línea silvestre KT ($0.57 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) en el estado V. El contenido de este metabolito, en general, aumentó conforme la pulpa maduraba. En el estado MF los valores de β -caroteno fueron los siguientes: $1.47 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en la línea Mulata, $0.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en Cubana, $0.89 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y en la línea KT con $1.71 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. En el EDO1 se presentan los valores de β -caroteno de mayor a menor contenido de este metabolito en las diferentes líneas: Mulata con $3.45 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, KT con $2.08 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, CY con $2.46 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y Cubana con $1.11 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de β -caroteno. Del estado EDO2 al MC el contenido de β -caroteno en la pulpa de papaya de las diferentes líneas aumentaba conforme continuaba la maduración, siendo el estado MC donde se observó mayor contenido de β -caroteno. La línea Cubana con $1.92 \mu\text{g g}^{-1}$ PF fue la que menor contenido presentó, mientras que las líneas silvestres presentaron 3 y $4.56 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y KT respectivamente, la línea Mulata fue la que mayor contenido de β -caroteno obtuvo ($6.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF).

En las líneas Mulata y KT no se identificó el contenido de **β -criptoxantina** en el estado V, mientras que de manera escasa se identificó en las líneas Cubana ($0.69 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y CY ($1.10 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En contraste en el estado MF la línea que presentó mayor contenido de β -criptoxantina con valores de $4.11 \mu\text{g g}^{-1}$ PF fue en KT, mientras que para las líneas restantes sus contenidos fueron menores (Mulata con $2.29 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, Cubana con $3.18 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y CY con $3.39 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). Conforme avanzaba la maduración en el EDO1 los valores de β -criptoxantina fueron: KT con $6.92 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, CY con $6.8 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, Cubana con $6.28 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y Mulata con $6.11 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En el EDO2 la tendencia anterior cambio debido a que la línea Mulata presentó el mayor contenido de β -criptoxantina con $11.22 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por las líneas KT con $10.86 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, CY con $9.93 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y Cubana con $7.35 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. En el último estado de maduración (MC), la presencia de β -criptoxantina fue mayor en la línea comercial Mulata con $14.63 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, las líneas silvestres KT con $13.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y CY con $12.60 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la línea Cubana fue la que presentó menor contenido de β -criptoxantina con $12.54 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

Se observó que el contenido de **violaxantina** no se identificó en los estados V, MF, EDO1 y EDO2 de la línea comercial Mulata, únicamente se identificó en el último estado de maduración MC con $14.91 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. En la línea comercial Cubana y la línea silvestre KT presentaron valores similares de violaxantina cercanos a $7-8 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado V y MF para ambos casos, sin embargo, la línea silvestre CY no se identificó violaxantina en el estado V y con cantidades mínimas de $2.32 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado MF. Únicamente en la línea Cubana se observó una disminución en el contenido de violaxantina al pasar de $7 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado MF a $5.83 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado EDO1., sin embargo, se observó un incremento durante el EDO2 de $8.40 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y finalmente de $33.84 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado MC. Con respecto a las líneas silvestres durante el estado EDO1 y EDO2 registraron valores de entre 9 a $11 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para ambas líneas. En el estado MC la línea CY presentó un valor más alto de violaxantina en comparación a la línea KT. Los valores de violaxantina en CY fueron de $28.49 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y con $19.90 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para la línea KT.

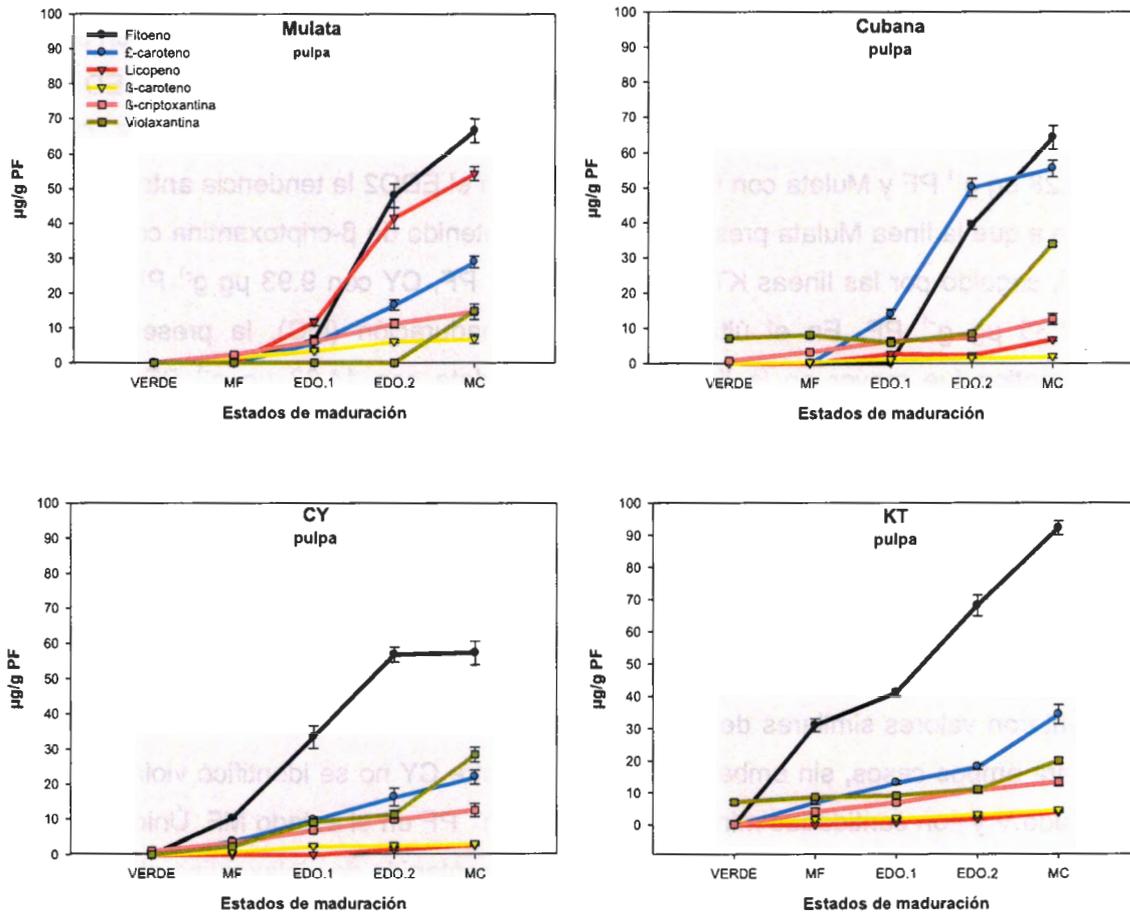


Figura IV.2. Contenido de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.

Tabla IV.2. Contenido del perfil de carotenoides en la pulpa de frutos en líneas de papaya comerciales (Mulata y Cubana) y silvestres (CY y KT) en diferentes estados de maduración.

LÍNEAS	PULPA $\mu\text{g g}^{-1}$ PF	VERDE	MF	EDO1	EDO2	MC
Mulata	Fitoeno	0a	0a	6.59 ± 0.66 b	47.98 ± 3.34 c	66.57 ± 3.34 d
	ξ -caroteno	0a	0a	5.56 ± 2.34 b	16.55 ± 1.48 c	28.88 ± 1.65 d
	Licopeno	0a	0a	11.64 ± 1 b	41.52 ± 3 c	54.31 ± 2 d
	β -caroteno	0a	1.47 ± 0.22 b	3.45 ± 0.34 c	6.11 ± 0.34 d	6.85 ± 1.32 d
	β -criptoxantina	0a	2.29 ± 0.33 b	6.11 ± 1.72 c	11.22 ± 1.23 d	14.63 ± 2.21 e
	Violaxantina	0a	0a	0a	0a	14.91 ± 0.51 b
Cubana	Fitoeno	0a	0a	0a	39.29 ± 1.23 b	64.23 ± 3.27 c
	ξ -caroteno	0a	0a	13.94 ± 1.35 b	50.09 ± 2.56 c	55.5 ± 2.45 d
	Licopeno	0a	0a	2.65 ± 0.54 b	2.23 ± 0.67 b	6.73 ± 0.45 c
	β -caroteno	0a	0.34 ± 0.006 a	1.11 ± 0.04 b	1.56 ± 0.12 c	1.92 ± 0.5 c
	β -criptoxantina	0.69 ± 0.25 a	3.18 ± 0.19 b	6.28 ± 0.33 c	7.35 ± 0.98 c	15.54 ± 1.56 d
	Violaxantina	7.08 ± 0.17 b	8 ± 0.83 c	5.83 ± 0.59 a	8.4 ± 0.19 d	33.84 ± 0.6 e
CY	Fitoeno	0a	10.27 ± 0.23 b	33.45 ± 3.2 c	56.87 ± 2.12 d	57.34 ± 3.34 d
	ξ -caroteno	0a	3.73 ± 0.34 b	9.82 ± 0.89 c	16.33 ± 2.54 d	22.1 ± 2.01 e
	Licopeno	0a	0a	0a	1.53 ± 0.42 b	2.81 ± 0.3 c
	β -caroteno	0a	0.89 ± 0.03 b	2.46 ± 0.2 c	2.67 ± 0.3 cd	3 ± 0.5 d
	β -criptoxantina	1.1 ± 0.22 a	3.39 ± 0.12 b	6.8 ± 0.31 c	9.93 ± 0.54 d	12.6 ± 1.87 e
	Violaxantina	0a	2.32 ± 0.23 b	9.12 ± 0.89 c	11.34 ± 1.23 d	28.49 ± 2.1 e
KT	Fitoeno	0a	31.02 ± 1.99 b	41.05 ± 1.14 c	68.09 ± 3.23 d	92.21 ± 2.23 e
	ξ -caroteno	0a	7.07 ± 0.78 b	13.16 ± 0.54 c	18 ± 0.82 d	34.34 ± 2.98 e
	Licopeno	0a	0a	0.78 ± 0.008 b	1.86 ± 0.06 c	3.93 ± 0.29 d
	β -caroteno	0.57 ± 0.005 a	1.71 ± 0.07 b	2.08 ± 0.21 b	3.19 ± 0.34 c	4.56 ± 0.34 d
	β -criptoxantina	0a	4.11 ± 1.02 b	6.92 ± 0.69 c	10.86 ± 1.08 d	13.34 ± 1.28 e
	Violaxantina	7.03 ± 0.62 a	8.57 ± 0.13 ab	9 ± 0.69 b	11 ± 0.61 c	19.9 ± 0.85 d

IV.6. DISCUSIÓN

El color de la cáscara y pulpa en frutos de *Carica papaya* se debe principalmente a los carotenoides, entre ellos, ζ -caroteno, licopeno (de color rojo), β -caroteno (de color naranja), β -criptoxantina (amarillo) y la violaxantina (amarillo) fueron identificados en las líneas de papaya de líneas comerciales (Mulata y Cubana) y de líneas silvestres (CY y KT) en los diferentes estados de maduración (V, MF, EDO1, EDO2 y MC). Nuestros resultados establecen que los frutos de las líneas que poseen una coloración roja en su pulpa o cáscara existe una diferencia contrastante en el contenido de carotenoides comparadas con frutos de las líneas de pulpa y/o cáscara amarilla. La diferencia más significativa entre los tipos de pulpa roja y amarilla fue que en frutos rojos el licopeno se encontró en mayor cantidad, mientras que los frutos amarillos el licopeno se encontraba en menor contenido o ausente. Además de la alta concentración de licopeno en los frutos rojos, la concentración de β -criptoxantina y ζ -caroteno fue menor en frutos rojos. Por lo anterior, fue de interés establecer la composición de los pigmentos en estas líneas de papaya y establecer las comparaciones cuantitativas de los pigmentos entre los frutos de estas líneas contrastantes.

El metabolito **fitoeno** se encuentra reportado según Paine *et al.* (2008) como el paso limitante de la biosíntesis de carotenoides en algunos tejidos y se le considera como regulador importante en la vía de la biosíntesis de los carotenoides. Es de vital importancia conocer en que estado de maduración principia el fitoeno y de igual manera su acumulación al llegar al estado final de maduración en las diferentes líneas de papaya debido a que el licopeno se forma a partir de cuatro reacciones de desaturación o deshidrogenación que comienzan con el fitoeno (Cunningham y Gantt 1998). En el estado Verde (V) el fitoeno en cáscara y pulpa no fue detectado en ninguna línea de papaya evaluadas, fue hasta el estado MF cuando solamente las líneas silvestres presentaron en pulpa este metabolito con $10.27 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y de $31.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en KT, lo anterior concuerda con lo reportado por Kato *et al.* (2004), los cuales no detectaron fitoeno en diferentes frutos de cítricos cuando estos se encontraban verdes; de igual manera, Schweiggert *et al.* (2011) mencionan que los precursores biosintéticos correspondientes como fitoeno se detectaron sólo en cantidades menores en primeras etapas de

maduración de frutas de papaya de pulpa roja. Reportes realizados por Yan *et al.* (2010), han demostrado que la expresión de genes de la fitoeno desaturasa (PDS) es significativamente reguladas durante la maduración del fruto, presumiblemente como resultado de la síntesis de licopeno, por lo anterior, cabe mencionar que en nuestro resultado se observó que el fitoeno alcanzó concentraciones más altas en la pulpa de las líneas silvestres de pulpa amarilla, (33.45 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY y 41.05 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en KT) y no en la línea Mulata (pulpa roja), presumiblemente en papaya se acumula fitoeno en etapas intermedias antes de llegar a la maduración final, sin embargo, se acumula para dar paso a otros carotenoides y no sólo licopenos como mencionan Yan *et al.*, (2011). En el estado de maduración para consumo Kato *et al.* (2004) reportaron que el fitoeno se acumula masivamente en frutos de mandarina cv. Satsuma con un contenido de 110.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF, nuestros resultados en papaya fueron contundentes, ya que en este mismo estado de maduración (MC) en las cuatro líneas de papaya se registró el mayor contenido de fitoeno, siendo la línea silvestre KT con mayor contenido de este metabolito (88.95 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en cáscara y 92.21 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en pulpa), sin embargo, en las otras líneas restantes se observó que la concentración era mayor en la pulpa que en la cáscara.

Con respecto al ζ -caroteno observamos que en el estado V no se encontraba presente este metabolito en pulpa de ninguna línea, por lo contrario, en cáscara se encontraba en las cuatro líneas con valores de 39.10 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en Mulata, 28.34 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en CY, 24.36 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en Cubana y 21.92 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en KT, conforme fue avanzando la maduración se observó que la cáscara de la línea silvestre KT registró valores altos de este metabolito con 62.8 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF y en su pulpa se cuantificó una concentración de 13.16 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF de ζ -caroteno en el estado MF, lo anterior concuerda con lo reportado por Kato *et al.* (2004) los cuales no identificaron ζ -caroteno en tejidos de cítricos como limón, mandarina y naranja, este metabolito se identificó escasamente con cantidades de 6.8 - 7.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF en etapas posteriores de maduración en tres diferentes cítricos, sin embargo, el limón cv. Lisbon presentó 36.6 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF de ζ -caroteno, por lo tanto, el contenido de ζ -caroteno en pulpa de limón es mayor que en pulpa de papaya de la línea KT. Gamage *et al.*, (2003) realizaron estudios con el fin de identificar y cuantificar carotenoides de dos variedades de pulpa roja y amarilla de papaya (*Carica papaya* L.) cultivadas en Sri Lanka, en sus reportes indicaron que en pulpas rojas se encontró un contenido de 9.9 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF de ζ -caroteno, mientras

que en papayas de pulpa amarilla fue de $15.5 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, de igual forma, Clotault *et al.*, (2008) demostró que la zanahoria cv. Nutrired (raíces rojas) contienen este metabolito ($14.52 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) en etapas de maduración finales. Nuestros reportes coincidieron con los de Gamage *et al.*, (2003) debido a que los valores de ζ -caroteno lo identificamos en cantidades menores en la pulpa roja de la línea Mulata ($28.88 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) en comparación con la línea Cubana de pulpa amarilla en la cual cuantificamos $55.50 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, además, de los datos proporcionados por Gamage *et al.*, (2003) y Clotault *et al.*, (2008) demostramos que ambas líneas de papaya (Mulata y Cubana) contienen de dos a tres veces más contenido de ζ -caroteno que lo reportado por ambos autores en papaya y zanahoria. Sin lugar a dudas, la eficiencia en las diferentes líneas de papaya de acumular o degradar ζ -caroteno podría afectar el metabolismo de licopeno en frutas de color amarillo y rojo. Por lo tanto, según lo hipotetizado por Shelton *et al.*, 2006, podría ser necesario clonar el ζ -caroteno y comprobar sus niveles de expresión en los genotipos amarillo y rojo para determinar si las actividades de esta enzima son las mismas en ambos genotipos de papaya roja y amarilla.

El **licopeno** es un intermedio importante en la biosíntesis de carotenoides precursores de la vitamina A como el β -caroteno y β -criptoxantina. Como se describe en detalle por Fraser y Bramley (2004). En nuestro trabajo el contenido de licopeno sólo se identificó en cáscara y pulpa de la línea comercial Mulata, empezando desde el estado EDO1 con valores más altos en pulpa con $11.64 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, además, cabe destacar que en las líneas Cubana, CY y KT (pulpa amarilla) presentaron valores muy bajos de licopeno en ambos tejidos, lo anterior concuerda con lo reportado por Yamamoto (1964) y Chandrika *et al.* (2003) al mencionar que el color en el fruto de papaya está determinado en gran medida por el contenido de carotenoides, principalmente el color rojo del fruto de papaya contiene altos niveles de licopeno, mientras que frutos de color amarillo no presentan licopeno. En nuestro estudio, las concentraciones de licopeno en la línea Mulata fueron altas al compararlas con el contenido de este metabolito publicados en otros cultivares de papaya que oscilaron entre 18.5 y $42.81 \mu\text{g g}^{-1}$ PF según lo descrito por Sentanin y Amaya (2007), García *et al.* (2010), y Oliveira *et al.* (2010). Otros reportes realizados por Gamage *et al.* (2003) mencionaron que frutas de papaya de pulpa amarilla no se detectó licopeno, mientras que en frutas con pulpa roja se detectó con un contenido de $11.5 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de

igual forma, Schweiggert *et al.* (2011) reportó que tras la maduración del fruto de papaya se acumuló en gran medida licopeno, alcanzando un contenido máximo de hasta $31.68 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, respectivamente. En otra comparación, se realizó un estudio en diferentes etapas de maduración en tomate, se reportó que conforme fue avanzando la maduración en este fruto el contenido de licopeno de igual manera aumentaba, los valores figuraron de $1.16 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en el estado Verde, de $34.06 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en una etapa intermedia de maduración y de $122 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en la etapa final de maduración según lo reportado por Arias *et al.* (2000). Después de la evaluación de varias frutas y verduras ricas en licopeno, se expuso que valores mayores a $20 \mu\text{g g}^{-1}$ PF son considerados como alimento con un contenido muy alto de licopeno (Britton y Khachik 2009), por tanto, la línea Mulata de papaya (pulpa roja) puede ser considerada como buena fuente nutritiva del licopeno debido al presentar contenidos muy altos de este metabolito en el estado MC ($54.31 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En particular, las variedades de pulpa roja exhiben beneficios nutricionales aún más por la acumulación de un alto contenido de licopeno (Yamamoto, 1964), que ejerce fuertes propiedades antioxidantes, presumiblemente reduce la incidencia de cáncer y enfermedades degenerativas (Rao y Agarwal, 2000).

En la mayoría de países tropicales y subtropicales, la papaya representa una importante fuente dietética de precursores de vitamina A, principalmente el **β -caroteno** (Cano *et al.*, 1996; Furtado *et al.*, 2004). El color amarillo de la papaya es el resultado de la conversión de licopeno a β -caroteno y otros carotenos corriente abajo (Yamamoto 1964; Hirschberg 2001). En nuestro trabajo de investigación identificamos en el estado V la concentración de β -caroteno muy bajo sólo en la pulpa de la línea silvestre KT con $0.57 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y conforme fue avanzando la maduración se empezó a cuantificar este metabolito en el posterior estado MF para todas las líneas de papaya. Sin embargo, la concentración de este metabolito fue más alta en cáscara que en pulpa, nuestros resultados concuerdan con el trabajo realizado por Schweiggert *et al.* (2011) los cuales mencionan que frutos de papaya en los primeros estados de maduración se caracterizan por presentar cantidades muy bajas de β -caroteno. Cabe destacar que la línea que presentó mayor cantidad en su pulpa de β -caroteno fue Mulata (pulpa roja) con $6.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por las líneas KT y CY (pulpas amarillas) con $4.56 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y $3 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente, mientras que la línea que presentó menos β -caroteno en su pulpa fue Cubana (pulpa amarilla) con 1.92

$\mu\text{g g}^{-1}$ PF, nuestros resultados en el contenido de β -caroteno en la línea de pulpa roja Mulata con $6.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF difiere con los valores de $2.22 \mu\text{g g}^{-1}$ PF establecidos por Schweiggert *et al.* (2011). Según los reportes de Gamage *et al.* (2003), indican que frutas de papaya amarilla contienen menos cantidad de β -caroteno ($1.4 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) en comparación con frutos de pulpa roja ($9.9 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), por lo tanto, nuestros resultados mostraron la misma tendencia debido a que el contenido de β -caroteno en frutos de pulpa amarilla fue menor (1.92 a $4.56 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) que en frutos de la línea Mulata que presentaba una coloración roja en su pulpa ($6.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF), de igual manera nuestro resultado del contenido de β -caroteno en Mulata coincide con los $6.69 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de este metabolito reportado por Aguado *et al.* (2007) y los $7 \mu\text{g g}^{-1}$ PF reportado por Veda *et al.* (2007). Al comparar nuestros resultados en el contenido de β -caroteno con otras especie como zanahoria se observó que zanahorias amarillas de cv. Yellowstone contenían $5.46 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de β -caroteno, zanahorias naranjadas cv. Bolero contenían $58.41 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y zanahorias rojas co $35.09 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de β -caroteno (Clotault *et al.* 2003).

En frutos de mandarina cv. Satsuma se reportó que **β -criptoxantina** no se cuantificó en los primeros estados de maduración, sin embargo, el contenido de este metabolito fue de $48.7 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en últimos estados postcosecha (Kato *et al.*, 2004), mientras que en Clotault *et al.* (2008) no identificaron β -criptoxantina en zanahorias de color amarillas (cv. Yellostone), zanahorias naranjas (cv. Bolero), ni tampoco en zanahorias rojas (cv. Nutired). Para el caso de papaya, se reportó por Breithaupt y Bamedi (2001) altos contenidos de β -criptoxantina en papaya con valores de $8.92 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, además Gamage *et al.* (2003) ha reportado en papaya de coloración amarilla $15.4 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de β -criptoxantina y de $16.9 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en papayas rojas, sin embargo, se ha reportado por Gouado *et al.* (2007) valores aún más altos de β -criptoxantina con valores que oscilan entre 18 a $19 \mu\text{g g}^{-1}$ PF. Recientes trabajos realizados por Schweiggert *et al.* (2011) reportó que β -criptoxantina laurato y caprato representan los pigmentos más importantes en la etapa de maduración inicial en frutos de papaya, y sus contenidos incrementan significativamente durante la maduración del fruto según las disposiciones vigentes de enzimas desconocidas, por lo anterior, en pulpa de papaya cuantificaron entre 0.24 a $0.3 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en los primeros estados de maduración y de 6.4 a $7.75 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en los últimos estados de maduración.

Para el caso de β -criptoxantina, el contenido de este metabolito fue incrementando del estado V hasta el estado MC, con base a lo anterior, se identificó β -criptoxantina con valores altos en cáscara y pulpa en el estado MC de la línea silvestre KT con $54.23 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y $13.34 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente, seguida por la línea Cubana valores de $44.79 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en cáscara y $12.54 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en pulpa, la línea CY con valores de $42.78 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en cáscara y de $12.60 \mu\text{g g}^{-1}$ PF en pulpa, y por último en la línea comercial Mulata, los valores de β -criptoxantina en cáscara ($35.22 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y pulpa ($14.63 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). Curiosamente, nuestros datos coincidieron con lo reportado por Caicedo *et al.* (2006) lo cuales cuantifican valores similares al mencionar que en los primeros estados de madurez se caracteriza por una proporción de β -criptoxantina ésteres, pasando de 42% en etapas iniciales de maduración ($0.54 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de $13 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de carotenoides totales) a 21% en etapas de maduración intermedia ($3.02 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de $144.6 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de carotenoides totales) y llegando finalmente a una relación contrastante de 19-20% en los últimos estados de maduración ($6.98 - 12.57 \mu\text{g g}^{-1}$ PF de $360.6 - 621.4 \mu\text{g g}^{-1}$ PF).

Como se ha mencionado anteriormente, el color de la pulpa en papaya se debe a carotenoides, entre estos, la β -criptoxantina, **violaxantina**, β -caroteno y ζ -caroteno fueron identificados en frutos de pulpa amarilla. Los principales carotenoides en los alimentos son β -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína y violaxantina, sin embargo, este último carotenoide son de los menos estudiados debido a que no se encuentran presentes en el plasma humano, por lo tanto, la violaxantina son de los carotenoides menos estudiados en términos de la salud humana (Rodríguez *et al.*, 2002). La violaxantina ha sido identificada en papaya cv. Sunrise During en etapas tardías de postcosecha (Cano *et al.*, 1996), en especies de cítricos, el metabolito de violaxantina se acumula de manera masiva en mandarina cv. Satsuma ($48.1 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) y naranja cv. Valencia ($50.7 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). Nuestros resultados indican que en la cáscara de papaya, el contenido de violaxantina fue identificado mayoritariamente entre $20.3 - 20.6 \mu\text{g g}^{-1}$ PF para las líneas silvestres, conforme aumentaba la maduración los valores de violaxantina se redujeron en todas las líneas, siendo. Fue hasta el estado MC cuando se observó que la línea Cubana obtuvo un $33.84 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, seguido por la línea CY con $28.49 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, la línea KT con $19.9 \mu\text{g g}^{-1}$ PF y de último la línea Mulata con $14.91 \mu\text{g g}^{-1}$ PF; en cáscara la línea que presentó mayor contenido de violaxantina fue CY con $43.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF.

IV.7. CONCLUSIÓN

Carotenoides en cáscara:

- En todas las líneas de papaya el metabolito con mayor concentración desde el estado V fue ζ -caroteno y se mantuvo en incremento hasta el estado MC (excepto en el caso de la línea silvestre CY). Solo en la línea Mulata se observó una acumulación constante de licopeno en cáscara ($57.86 \mu\text{g g}^{-1}$ PF) desde la etapa de MF hasta MC, en los demás materiales la concentración de licopeno se mantuvo baja durante todo el proceso de maduración. Por el contrario, se identificó altas concentraciones de β -caroteno, β -criptoxantina y violaxantina, en las líneas Cubana (58.72 , 44.79 y $33.84 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, respectivamente), CY (48.10 , 42.78 y $43.85 \mu\text{g g}^{-1}$ PF, respectivamente) y KT (54.47 , 54.23 y $37.67 \mu\text{g g}^{-1}$ PF respectivamente).

Carotenoides en pulpa:

- El metabolito que presentó mayores concentraciones en todas las líneas fue fitoeno incrementando a partir del estado V hasta finales del proceso de maduración en MC, particularmente en las variedades silvestres. De igual forma ζ -caroteno presentó un incremento constante durante el proceso en todos los materiales, particularmente en la línea Cubana, donde se mantuvo como el principal metabolito después del fitoeno. En el caso de licopeno, el contenido incremento linealmente durante el proceso de maduración nuevamente solo en la línea Mulata, desde la etapa de MF hasta la MC ($54.31 \mu\text{g g}^{-1}$ PF). En los otros materiales los niveles de licopeno se mantuvieron bajos durante todo el proceso. Por el contrario en la línea Mulata se mantuvieron bajos los contenidos de β -caroteno, mientras que en los otros tres materiales, los contenidos β -caroteno, β -criptoxantina y violaxantina, se mantuvieron con ligeros incrementos durante todo el proceso.

IV.8. REFERENCIAS

- Arias R., Lee T. Ch., Logendra L., Janes H. (2000) Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color Reading of a hidroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal Agriculture Food Chemistry*. **48**:1697-1702.
- Barber N.J. and Barber J. (2002) Lycopene and prostate cancer. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases*. **5**:6-13.
- Bartley G.E., Coomber S.A., Bartholomew D.M. and Scolnik P.A. (1991) Genes and enzymes for carotenoid biosynthesis. *In Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants*. **78**: 331-364.
- Bazzano L., He J., Ogden L., Liria C., Vupputuri S., Myers L., Whelton P. (2002) Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiological Follow-up Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*. **76**: 93-99.
- Bendich A. (1991) Non-provitamin A activity of carotenoids: immunoenhancement. *Trends in Food Science & Technology*. **2**:127-130.
- Britton G. Later reactions of carotenoid biosynthesis. *Pure Appl Chem* 1976; 223-236.
- Cano M.P. and Ancos B. (1994) Carotenoid and carotenoid ester composition in mango fruit as influenced by processing method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **42**: 2737-2742.
- Camara B., Huguene y P., Bouvier F., Kuntz, M. & Moneger, R. (1995) Biochemistry and molecular biology of chromoplast development. *International Review of Cytology*. **163**: 175-247.

- Cano M.P. (1991) HPLC separation of chlorophylls and carotenoid pigments of four kiwi fruit cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **39**: 1786-1791.
- Cano M.P., and De Ancos B. (1994) Carotenoid and carotenoid ester composition in mango fruit as influenced by processing method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **42**: 2737-2742.
- Cano M.P., and Marin M.A. (1992) Pigment composition and color of frozen and canned kiwi fruit slices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **40**: 2 141-2 146.
- Cano M.P., De Ancos B., Lobo G.M. and Monreal M. (1996) Carotenoid Pigments and Colour of Hermaphrodite and Female Papaya Fruits (*Carica-papaya* L) cv Sunrise During Post-Harvest Ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **71**: 351-358.
- Chandrika UG, Jansz ER, Wickramasinghe SMDN, Wamasuriya ND. (2003) Carotenoids in yellow- and red-fleshed papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **83**:1279-1282.
- Chew B, Park J. (2004) Carotenoid action on the immune response. *Journal of Nutrition*. **134**: 257S-261S.
- Colditz G.A., Branch L.G., Lipnick R.J., Willet W.C., Rosner B., Posner B.M., Hennekens C.H (1985) Increase green and yellow vegetables intake and lowered cancer deaths in an elderly population. *The American Journal of Clinical Nutrition*. **41**:32-36.
- Clotault J., Peltier D., Berruyer R., Thomas M., Briard M. and Geoffriau E. (2008) Expression of carotenoid biosynthesis genes during carrot root development. *Journal of Experimental Botany*. **29**: 1-11.

- Couey H.M., Linsen E.S. and Nakamura A.N. (1984) Quarantine procedure Hawaiiin papaya using heat and cold treatments. *Journal of Economic Entomology*. **77**: 984.
- Cunningham Jr, FX, Gantt E. (1998) Genes and enzymes of carotenoide biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. **49**: 557-583.
- Delgado-Vargas, F.; Jiménez, A. R.; Paredes-López, O. (2000) Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **40**:173-289.
- De Pee S. and West C.E. (1996) Dietary carotenoids and their role in combating vitamin A deficiency: review of the literature. *European Journal of Clinical Nutrition*. **50**:85-126.
- De Pee S., West C.E., Muhilal K.D. and Hautvast J.G.A.J. (1995) Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark green leafy vegetables. *Lancet*. **346**:75-81.
- Dwamena A.C., McGhie T., Wibisono R., Montefiori M., Hellens R.P. and Andrew C.A. (2009) The kiwifruit lycopene beta-cyclase plays a significant role in carotenoid accumulation in fruit. *Journal of Experimental Botany*. **60**: 3765-3779.
- Fraser, P.D., Truesdale, M., Bird, C.R., Schuch, W. & Bramley, P.M. (1994) Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*. **105**: 405-413.
- Fraser, P.D. et al. (2002) Evaluation of transgenic tomato plants expressing an additional phytoene synthase in a fruit-specific manner. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **99**: 1092-1097.
- Fraser, P.D., & Bramley, P. M. (2004). The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*. **43**: 228-265.

- Furtado, J., Siles, X., & Campos, H. (2004) Carotenoid concentrations in vegetables and fruits common to the Costa Rican diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. **55**: 101-113.
- Gamage U.C., Errol R.J., Wickramasinghe N.S. and Warnasuriya D.N. (2003) Carotenoids in yellow- and red-fleshed papaya (*Carica papaya* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **83**:1279-1282.
- Granado F., Olmedilla B., Blanco I., Rojas H.E. (1992) Carotenoid composition in raw and cooked Spanish vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **40**: 2135-2140.
- Goodwin TW. The Biochemistry of Carotenoids. 2nd Edition, vol 1. London: Chapman & Hall, 1980.
- Gouado I., Schweigert F.J., Ejoh R.A., Tchouanguép M.F. and Camp J.V. (2007) Systemic levels of carotenoids from mangoes and papaya consumed in three forms (juice, fresh and dry slice). *European Journal of Clinical Nutrition*. **61**: 1180-1188.
- Ha S.H., Kim J.B., Park J.S., Lee S.W. and Cho K.J. (2007) A comparison of the carotenoid accumulation in Capsicum varieties that show different ripening colours: deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany*. **58**: 3135-3144.
- Hirschberg J. (2001) Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology*. **4**: 210-218.
- Hofmeyr J.D.J. Genetical studies of *Carica papaya* L. I. The inheritance and relation of sex and certain plant characteristics. II. Sex reversal and sex forms. S Afr Dept Agric Sci Bull 1938; 187.

- Hung H. C, Joshipura K, Jiang R, Hu F, Hunter D, Smith-Wamer S. (2004) Fruit and vegetable intake and risk of major chronic disease. *Journal of the National Cancer Institute*. **96**: 1577-1584.
- Institute of Medicine. (2000) Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. National Academy Press. Washington DC.
- Karrer P, Jucker E. Carotenoids. New York, NY: Elsevier Publishing Co., 1950.
- Kato M., Ikoma Y., Matsumoto H., Sugiura M., Hyodo H. and Yano M. (2004) Accumulation of Carotenoids and Expression of Carotenoid Biosynthetic Genes during Maturation in Citrus Fruit. *Plant Physiology*. **134**: 824-837.
- Khachik, F., Goli M. B., Beecher G. R., Holden J., Lusby W. R., Tenorio M.D. y Barrera M.R. (1992) Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoide constituents of tomatoes and several green vegetables. *Journal Agriculture Food Chemistry*. **40**: 390-398.
- Khachik F., Beecher G.R., Whittaker N.F. (1986) Separation, identification and quantification of the major carotenoide and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **34**: 603-616.
- Khachik F., Beecher G.R., Goli M.B., Lusby W.R. (1991) Separation, identification and quantification of carotenoid in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography. *Pure and Applied Chemistry*. **63**: 71-80.
- Krinsky NI, Wang X-D, Tang T, Russell RM. Cleavage of β -carotene to retinoids. In: Livrea MA, Vidali G, eds. Retinoids:basic science and clinical applications. Basel: Birkhaeuser, 1983:21-28.

- Kinsky N.I. (1993) Carotenoids as antioxidant. *Nutrition*. **17**: 815-817.
- Maiani G, Periago-Castón M, Catasta G, Toti E, Goñi-Cambrodón I, Bysted A. (2009) Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*. **53**: S194-S218.
- Manshardt RM. "UH Rainbow" papaya. Germplasm, G-1. Honolulu, HI: University of Hawaii College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1998.
- Marin M.A. and Cano M.P. (1992) Patterns of peroxidase in ripening mango (*Mangifera indica*) fruits. *Journal of Food Science*. **57**: 690-692.
- Martínez-González M, de la Fuente-Arrillaga C, López del Burgo C, Ruiz-Canela M, Benito S. (2011) Low consumption of fruit and vegetables and risk of chronic disease: a review of the epidemiological evidence and temporal trends among Spanish graduates. *Public Health Nutrition*. **14**: 2309-2315.
- Martínez-Valverde I., Periago M. J., Provan G. y Chesson A. (2002) Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in comercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food Agriculture*. **82**: 323-330.
- Matthews-Roth M.M. (1991) Recent progress in the medical applications of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*. **63**:147-156.
- McGrath M.J. and Karahadian C. (1994) Evaluation of physical, chemical and sensory properties of pawpaw fruit (*Asimina triloba*) as indicators of ripeness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **42**: 968-974.
- Ming R, Hou S, Feng Y, *et al.* (2008) The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). *Nature*. **452**: 991–997.

- Minguez M and Homero M. (1993) Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika and oleoresin by reversed-phase HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **41**: 1616-1620.
- Minguez M.I., Pérez G.A. y Homero M.D. (2002) Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples "colorantes" naturales. Departamento de biotecnología de alimentos. Instituto de la grasa. Sevilla. AGROCSIC. pp. 1-7.
- Meléndez-Martínez, A. J.; Vicario, I. M.; Heredia, F. J. (2007) Review: analysis of carotenoids in orange juice. *Journal of Food Composition and Analysis*. **20**:638-649.
- Mozsik G., Javor T., Toth G., Zsoldos T., Tugyi A. (1984) Interrelationships between the gastric cytoprotective effects of vitamin A and β -carotene and the gastric mucosal superoxide dismutase activity in rats. *Acta Physica Hungarica*. **64**:315-318.
- Moon R.C., Itri L.M. (1984) In: The Retinoids, eds Sporn M B, Roberts A B & Goodman D S. Academic Press, New York, USA, p 327.
- Pecker I, Gabbay R, Cunningham Jr FX, Hirschberg J. (1996) Cloning and characterization of the cDNA for lycopene beta-cyclase from tomato reveals decrease in its expression during fruit ripening. *Plant Molecular Biology*. **30**: 807-819.
- Rao A, Rao L. (2007) Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*. **55**: 207-216.
- Rao, A. V., & Agarwal, S. (2000) Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*. **19**: 563-569.

- Rock C.D. and Zeevaart J.A.D. (1991) The ABA mutant of *Arabidopsis thaliana* is impaired in epoxy-carotenoid biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. **88**: 7496-7499.
- Rodríguez-A. D., Kimura, M. (2004) Harvestplus Handbook for Carotenoid Analysis. *Harvestplus Technical Monograph 2*, Washington D.C., pp. 3-4, p. 10, 40.
- Rodríguez-Amaya, D.B. (1999) Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. **49**: 38S-47S.
- Römer S. and Fraser P. (2005) Recent advances in carotenoid biosynthesis regulation and manipulation. *Plant Journal*. **221**: 305-308.
- Ronen G., Carmel-Goren L., Zamir D. and Hirschberg J. (2000) An alternative pathway to β -carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. **97**:11102-11107.
- Santamaría B.F., Suri D.E., Espadas G.F., Raúl D.P., Larqué S.A. y Santamaria F.J. (2008) Maduración postcosecha e índices de maduración de papaya Maradol. *Interciencia*. **34**: 584-588.
- Schweiggert R.M., Steingass C.B., Mora E., Esquivel P. and Reinhold C. (2011) Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Food Research International*. **44**: 1373-1380.
- Shiota H. (1991) Volatile components of pawpaw fruit (*Asirnimia triloba*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **39**: 1631-1635

- Skelton R.L., Yu Q., Srinivasan R., Manshardt R., Moore P.H. and Ming R. (2006) Tissue differential expression of lycopene b-cyclase gene in papaya. *Cell Research*. **16**: 731-739
- Sthal W, Sies H. (2007) Carotenoids and flavonoids contribute to nutritional protection against skin damage from sunlight. *Molecular Biotechnology*. **37**: 26-30.
- Storey WB. Papaya. In: Ferwerda FP, Wit F, Veenman H and Zoen NV, eds. Outlines of perennial crop breeding in the tropics. The Netherlands: Wageningen, 1969:389-408.
- Tian L, DellaPenna D. (2004) Progress in understanding the origin and functions of carotenoid hydroxylases in plants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. **430**: 22-29.
- Tonucci L.H., Holden J.M., Beecher G.R., Khachik F., Davis C. S. y Mulokozi G. (1995) Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal Agriculture Food Chemistry*. **43**: 579-586.
- Van de Berg, H.; Faulks, R.; Granado, H. F.; Hirschberg, J.; Olmedilla, B.; Sandmann, G.; Southon, S.; Stahl, W. (2000) The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **80**: 880-912.
- Vasconsellos J. A. (2000) Alimentos funcionales. Conceptos y beneficios para la salud. *The World of Food Science*. IFT y IUFOST. www.worldfoodscience.org
- Veda S., Platel K., Srinivasan K. (2007) Varietal differences in the bioaccessibility of beta-carotene from mango (*Mangifera indica*) and papaya (*Carica papaya*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **55**: 7931-7935.

Yamamoto H. (1964) Differences in carotenoid composition between red- and yellow-fleshed papaya. *Nature*. **201**:1049-1050.

Yano M., Kato M., Ikoma Y., Kawasaki A., Fukazawa Y., Sugiura M., Matsumoto H., Oohara Y., Nagao A. and Ogawa K. (2005) Quantitation of carotenoids in raw and processed fruits in Japan. *Food Science and Technology Research*. **11**: 13-18.

Zhou C.H., Xu C.J., Sun C.D., Li X. and Chen K.S. (2007) Carotenoids in white- and red-fleshed loquat fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **55**: 7822-7830.

CAPÍTULO V

V.1. DISCUSIÓN GENERAL

Debido a que en papaya no se encuentra reportado el contenido de polifenoles totales se realizó su cuantificación tanto en cáscara como en pulpa en todos los estados de maduración postcosecha. Mencionado lo anterior, en la cáscara de las diferentes líneas tienen un contenido considerable de polifenoles totales observándose su mayor concentración en los EDO1 (CY 317.06 mg GAE/100 g PF, KT 258 mg GAE/100 g PF, Mulata 275 mg GAE/100 g PF y Cubana 305 mg GAE/100 g PF). Para el caso de la pulpa, se registraron valores de polifenoles totales en menor cantidad, sin embargo, las concentraciones de polifenoles fueron en pulpa se encuentra entre el rango a lo reportado en otras especies, en este sentido, la línea que presentó mayor contenido fue la línea silvestre KT con 115.5 mg GAE/100 g PF, Cubana con 104.87 mg GAE/100 g PF, CY con 100.07 mg GAE/100 g PF para y por último la línea Mulata con 98 mg GAE/100 g PF. Aunque el contenido de polifenoles totales es un parámetro interesante para ser incluido en estudios, es necesario evaluar las diferentes clases o estructuras para determinar su actividad biológica, que depende en gran medida de su biodisponibilidad, nuestros resultados sugieren una variación en las diferentes clases de polifenoles y también variaciones dentro de las subclases. Por ejemplo, los ácidos polifenólicos están en mayor contenido, por el contrario, floridzina y quercetina 3-O-rutinósido están en menor cantidad, sin embargo, los polifenoles pueden actuar como antioxidantes y tienen efectos protectores a lo largo del tracto digestivo según lo sugerido recientemente por Halliwell *et al.* (2005). En cuanto al perfil de polifenoles los que se cuantificaron en mayor contenido fueron: el éster etílico de ácido gálico, ácido 4-cafeoilquínico, ácido *p*-cumárico 4-O-glucósido, ácido *p*-coumaroil glicólico, ácido *p*-coumaroil glucosa, ácido *p*-coumaroil hexosa y ácido *p*-coumaroil éster, además se identificó por primera vez en papaya el compuesto floridzina, así como también se identificó al flavonoide quercetina 3-O-rutinósido. La presencia de compuestos fenólicos con actividad antioxidante se identificó en mayor contenido en la cáscara de las líneas de papaya y con valores altos de polifenoles totales en la pulpa, lo anterior es una indicación de la importancia potencial de esta fruta para la nutrición y la salud humana. Siendo este fruto muy importante en las

regiones tropicales y subtropicales, la información presentada en este estudio podría justificar su inclusión para formar parte de una dieta saludable en estos países.

Los pigmentos carotenoides en las diferentes líneas de papaya fueron analizados en seis estados de maduración de acuerdo con el color de la cáscara y de la pulpa: verde, amarillo y rojo. El perfil de carotenoides que se encontró en cada etapa de maduración fueron diferentes entre las líneas de papaya. En la etapa de maduración, el licopeno, es el responsable del color rojo de la pulpa de la fruta madura. El contenido de licopeno aumentó en forma sustancial en comparación con el resto de los pigmentos, estos cambios de color se corroboraron mediante el colorímetro. Los frutos rojos o anaranjados presentaron valores altos del parámetro a^* en MC. Por el contrario, las líneas de coloración amarilla presentaron valores altos del parámetro b^* , de la siguiente manera: Cubana en cáscara y pulpa con valores b^* de 58.86 y 45.59, la línea silvestre CY presentó frutos con valores b^* de 61.19 en cáscara y 53.04 en pulpa y la línea KT con valores b^* de 69.9 en cáscara y 51.23 en pulpa, esta tendencia en estas tres líneas indicó un cambio de color de verde a amarillo. El aumento de la concentración de pigmento rojo (licopeno) durante la maduración del fruto está relacionada con el aumento de valor de a^* , que es más significativo en la línea Mulata (cáscara y pulpa roja), mientras que b^* esta más asociada con el color amarillo y su valor de b^* aumentó coincidiendo con un aumento de varios pigmentos como β -caroteno, β -criptoxantina y violaxantina. Nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Karrer (1950), Yamamoto (1964), Hirschberg (2001) y Chandrika *et al.* (2003), quienes han documentado que los frutos de pulpa amarilla tienen altas cantidades de los carotenoides β -criptoxantina, β -caroteno y ζ -caroteno pero presentan bajos contenidos de licopeno, mientras que las frutas de pulpa roja tienen altas cantidades de licopeno. En conclusión reportan que el color rojo de la papaya es debido a la acumulación de licopeno, el color amarillo es el resultado de la conversión de licopeno a β -caroteno y β -criptoxantina.

En la línea de papaya Mulata que presentó una coloración roja característica de esta fruta hasta el EDO1 de maduración, el principal carotenoide que se encontró en mayor proporción fue licopeno en el estado MC con un contenido en la cáscara de $57.86 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF y en la pulpa de $54.31 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, sin embargo, se observó el carotenoide β -

caroteno se fue acumulando a partir del estado MF incrementando su contenido paulatinamente hasta el último estado MC donde se acumuló en gran medida tanto en cáscara ($26.85 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) como en pulpa ($6.85 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF), nuestros resultados confirman lo reportado por Pecker *et al.* (1996), el licopeno es un precursor directo de β -caroteno, uno de los carotenoides más activos y esencial.

Como se ilustra en la Tabla de Anexos 1A y 5A, se realizaron correlaciones entre el contenido de carotenoides y polifenoles en función a los valores de color, que describe bien las relaciones entre los cambios de color en papaya. El valor a^* (color rojo) en la cáscara y pulpa de línea Mulata fue aumentando (de valores negativos a positivos) conforme el contenido de carotenoides totales incrementaba durante la maduración postcosecha, teniendo una correlación con una $r^2 = 0.83$ y 0.85 para ambos tejidos. Datos similares se observan en el valor b^* (color amarillo) en cáscara y pulpa, donde la $r^2 = 0.8317$ y 0.5628 respectivamente. Respecto al valor L^* (luminosidad), se presentó una correlación más alta en cáscara ($r^2 = 0.7441$) que en pulpa ($r^2 = 0.6344$), esto debido a que mientras mayor contenido de carotenoides totales hay en cáscara mayor luminosidad existe, es decir tienen un aspecto más luminoso; lo contrario ocurre en la pulpa, ya que mientras más contenido de carotenoides totales hay menor luminosidad existe, considerando que en el estado verde la pulpa es de color blanca (mayor luminosidad) y conforme transcurre la maduración este color cambia a rojo o amarillo (menor luminosidad) según sea el caso. En cuanto a $^{\circ}\text{H}$ y C , se presentó correlaciones altas con el contenido de carotenoides totales tanto en cáscara como en pulpa, debido a que mientras avanzaba la maduración la presencia de estos pigmentos se hacía más notorio aumentando así los valores de $^{\circ}\text{H}$ y C . Respecto al contenido de β -caroteno se observó que existe una baja correlación en cáscara, mientras que en pulpa fue mayor para todos los valores del color. Por su parte el contenido de licopeno presentó tanto en cáscara como en pulpa correlaciones más altas en comparación a β -caroteno, esto se debe a la acumulación de licopeno en la línea Mulata, lo que se atribuye al enrojecimiento del fruto.

En la línea Cubana se observó que el contenido de carotenoides totales presentó una correlación alta en cáscara y pulpa para todos los valores de color. Se observó que el contenido de β -caroteno y licopeno tuvo correlaciones altas, esto se debe a que en el transcurso de la maduración de la cáscara y pulpa, a mayor presencia de β -caroteno y

licopeno los valores colorimétricos tienden a incrementar, lo que se atribuye que la línea Cubana sea un fruto de color amarillo-naranja (Tabla 2A y 6A).

En la línea silvestre CY se observó correlaciones altas entre el contenido de carotenoides totales y los valores de color. Así mismo el contenido de β -caroteno se encuentra estrechamente relacionado con los valores de color b^* en cáscara y pulpa, y el licopeno únicamente se encuentra correlacionado en cáscara, a esto podría atribuirse el color presentado en esta línea silvestre (Tabla 3A y 7A).

Por su parte la línea KT, se observó que presenta una correlación en el valor de b^* (color amarillo) $r^2 = 0.9851$ en cáscara y $r^2 = 0.6626$ en pulpa, mientras que en el valor a^* (color rojo) $r^2 = 0.7999$ en cáscara y $r^2 = 0.851$ en pulpa, siendo esta menor. Mientras que en la correlación de licopeno el valor de a^* resultó mayor $r^2 = 0.8391$ en cáscara y $r^2 = 0.7692$ en pulpa (Tabla 4A y 8A).

V.2. CONCLUSIÓN GENERAL

Dado los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

La línea comercial **Mulata** de manera visual presentó una coloración roja en la cáscara y en su pulpa, que coinciden con los valores de a^* encontrados (17.69 y 26.44 en la cáscara y pulpa respectivamente) lo que es consistente con el hecho de que la pulpa es más roja que la cáscara. Este valor de a^* , correlaciona con el contenido de carotenoides analizado por HPLC, ya que en este fruto el metabolito que presentó una mayor concentración en la cáscara fue el licopeno ξ -caroteno ($58.82 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y licopeno ($57.68 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) en el estado MC. De igual forma en la pulpa se identificó licopeno ($54.31 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y fitoeno ($66.57 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) en el estado MC. Por lo anterior, el carotenoide licopeno es el metabolito responsable de dar una coloración roja tanto en cáscara como en la pulpa de la línea Mulata (Fig. IV.1 y Fig. IV.2). Las dimensiones de los frutos de esta línea comercial fueron similares a la otra línea comercial (Cubana) pero más grandes que los de las líneas silvestres (CY y KT) presentando pesos que oscilaron entre 1,100 a 1,600 g y longitudes entre 20 a 25 cm y diámetro entre 11 a 13 cm, la concentración de SST fue de 11.78 °Bx, su pulpa presentó una firmeza correspondiente a 0.8 N en el estado de maduración MC. Por otro lado, Mulata en el estado MC presentó un contenido de polifenoles totales de 167.68 mg GAE/100 g PF en cáscara y de 70.18 mg GAE/100 g muestra PF en su pulpa. El perfil de polifenoles reveló que para Mulata el ácido 4-cafeoilquínico ($25.27 \text{ mg GAE/100 g PF}$) en EDO2, la Floridzina ($15 \text{ mg GAE/100 g PF}$) en el estado EDO1, la quercetina 3-O-rutinósido en estado Verde y MF (118.75 y $55.47 \text{ mg GAE/100 g PF}$ respectivamente) y sobretodo el ácido *p*-coumaroil glicólico en estado Verde, MF, EDO1, EDO2 (149.86 , 130.2 , 67.67 , 51.26 respectivamente), son los metabolitos identificados con mayor concentración.

Por su parte la otra línea comercial **Cubana**, presentó de manera visual una coloración en la cáscara y en su pulpa de tonalidad naranja (entre roja y amarilla). Lo anterior es consistente con la caracterización de color (usando un colorímetro) ya que se obtuvieron valores de b^* de 58.86 y 45.59 en cáscara y pulpa respectivamente. Estos valores se

ubican en la carta de color en la tonalidad naranja. Esto correlaciona con los resultados obtenidos en el análisis por HPLC, ya que los carotenoides identificados en cáscara fueron ξ -caroteno ($66.92 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF), β -caroteno ($58.72 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y β -criptoxantina ($44.79 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y en pulpa se identificó al fitoeno ($64.23 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF), ξ -caroteno ($55.5 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y β -criptoxantina ($15.54 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF) en el estado MC y bajo contenido de licopeno (Fig. IV.1 y Fig. IV.2). La línea Cubana presentó frutos de peso similar a Mulata pero más grandes que los frutos de los materiales silvestres, con un peso promedio que oscila entre 1,100 a 1,600 g, además de presentar longitudes entre 19 a 23 cm y de 10 a 13 cm de diámetro, presentaron una cantidad de SST de $11.5 \text{ }^\circ\text{Bx}$, notándose en su pulpa una firmeza correspondiente a 0.8 N en el estado de maduración MC. Esta línea comercial en MC presentó un contenido de polifenoles totales de 201.43 mg GAE/100 g de PF presente en cáscara y de 84.56 mg GAE/100 g PF en su pulpa, por su parte el perfil de polifenoles reveló que para Cubana, el ácido *p*-coumaroil glicólico en todos sus estados de maduración [Verde (83.09 mg GAE/100 g PF), MF (117.17 mg GAE/100 g PF), EDO1 (101.74 mg GAE/100 g PF), EDO2 (53.4 mg GAE/100 g PF) y MC (21.54 mg GAE/100 g PF)], el ácido *p*-coumaroil éster en el estado MC (12.14 mg GAE/100 g PF), la floridzina en estado MF (17.07 mg GAE/100 g PF) y la quercetina 3-O-rutinósido en Verde y EDO1 (78.99 y 90.97 mg GAE/100 g PF respectivamente) fueron los metabolitos identificados con mayor concentración.

Finalmente, la línea silvestre **CY** de manera visual presentó una coloración amarilla en la cáscara y en su pulpa. Lo anterior coincide con los valores encontrados en la caracterización de color, observándose valores de b^* de 61.19 y 53.04 en la cáscara y pulpa, respectivamente. Más importante, los carotenoides identificados en esta línea en cáscara fueron β -caroteno con $48.10 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, β -criptoxantina con $42.78 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, y violaxantina con $43.85 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF en el estado MC y no se encontraron licopenos. De igual forma en la pulpa se encontró fitoeno con $57.34 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF, violaxantina con $28.49 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF y β -criptoxantina con $12.60 \mu\text{g g}^{-1}$ de PF en el estado MC y nuevamente no se encontraron licopenos (Fig. IV.1 y Fig. IV.2). Los frutos de esta línea silvestre son mucho más pequeños que los comerciales y presentaron pesos que oscilaron entre 250 a 300 g, además de presentar longitudes entre 12 a 15 cm y de 6 a 8 cm de diámetro, estos frutos presentaron una cantidad de SST de $12.01 \text{ }^\circ\text{Bx}$, notándose en su pulpa una firmeza correspondiente a 0.8 N en el estado de maduración MC. CY

presentó un contenido de polifenoles totales de 223.93 mg GAE/100 g de PF en cáscara y de 87.37 mg GAE/100 g PF en la pulpa en el estado MC. Por su parte el perfil de polifenoles reveló que para esta línea el ácido *p*-coumaroil glicólico sus estados de maduración Verde (53.12 mg GAE/100 g PF), MF (55.66 mg GAE/100 g PF), EDO1 (63.4 mg GAE/100 g PF) y EDO2 (22.23 mg GAE/100 g PF), además del ácido *p*-coumaroil éster en estado EDO1 con 13.5 mg GAE/100 g PF fueron los que se encontraron en demasía.

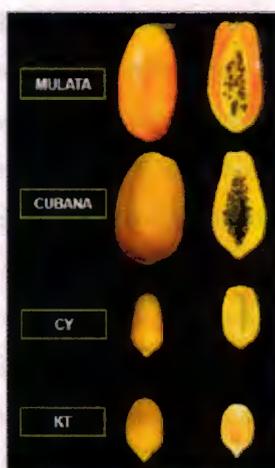
La línea silvestre KT también presento de manera visual una coloración en la cáscara y en su pulpa de tonalidad naranja, que coincide con los valores encontrados en la caracterización de color, observándose valores de b^* de 69.9 y 51.23 en la cáscara y pulpa respectivamente. Esto correlaciona también con el alto contenido de fitoeno y ξ -caroteno (88.95 y 81.43 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF respectivamente), además se encontraron valores similares al β -caroteno y β -criptoxantina con 54.47 y 54.23 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF respectivamente, y con menor contenido la violaxantina con 37.67 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF en el estado MC. En la pulpa se identificó fitoeno y ξ -caroteno (92.21 y 34.34 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF respectivamente), en menores cantidades se identificó violaxantina (19.90 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF) y β -criptoxantina (13.34 $\mu\text{g g}^{-1}$ de PF) en el estado MC y se encontraron bajas cantidades de licopeno (Fig. IV.1 y Fig. IV.2). Los frutos de esta línea silvestre presentaron dimensiones más pequeñas que los de las otras tres líneas estudiadas. Los pesos oscilaron entre 75 a 100 g, además de presentar longitudes entre 6 a 8 cm y de 5 a 6 cm de diámetro, estos frutos presentaron una cantidad de SST de 11.4 °Bx, notándose en su pulpa una firmeza correspondiente a 0.8 N en el estado de maduración MC. Esta línea silvestre presentó en MC un contenido de polifenoles totales de 175.81 mg GAE/100 g de PF en cáscara y de 93.62 mg GAE/100 g PF en la pulpa en el EDO1. Por su parte el perfil de polifenoles reveló que para esta línea el ácido *p*-comaroil glicólico en todos sus estados de maduración [Verde (55.41 mg GAE/100 g PF), MF (79.14 mg GAE/100 g PF), EDO1 (30.91 mg GAE/100 g PF), EDO2 (50.84 mg GAE/100 g PF) y MC (34.4 mg GAE/100 g PF)] y la quercetina 3-0-rutinósido en estado MF (19.58 mg GAE/100 g PF) fueron los metabolitos mas abundantes en esta línea silvestre.

En general nuestros resultados sugieren que en *C. papaya*, los frutos de color rojo (altos valores de a^* y bajos en b^* , como la línea Mulata (Fig. V.1A), son el resultado de la acumulación de licopeno, tal vez al no estar activas las enzimas corriente abajo de la ruta biosintética de carotenoides (Fig V.1C). Por el contrario, los frutos amarillos (altos valores de b^* y bajos en a^* ; como el materiales silvestre CY y KT; Fig. V.1A y B) acumulan menos licopenos ya que se presentan altas actividades de las enzimas corriente abajo de dicha ruta biosintética, resultando en una acumulación de β -carotenos en el caso de cáscara y de β -criptoxantina y violaxantina en el caso de pulpa (Fig V.1C).

A)

Líneas de papaya	Tejido	a^*	b^*	L^*	H^*	C	Carotenoides Totales	Licopeno	β -	β -	Violaxantina
									caroteno	criptoxantina	
$\mu\text{g g}^{-1}$ de PF											
Mulata	Cáscara	17.7	49.5	55.4	70.3	52.5	245.6	57.5	26.8	35.22	35.7
	Pulpa	25.4	38.8	48	55.7	46.9	165.1	54.3	6.8	14.63	14.91
Cubana	Cáscara	14.5	58.8	70	76.1	60.6	266.6	3	58.7	44.79	33.84
	Pulpa	22	45.6	47	64.2	50.6	174.7	6.7	1.9	15.54	33.84
CY	Cáscara	14.4	61.2	66.7	76.7	62.8	191.6	2	48	42.78	43.85
	Pulpa	10.9	53	66.1	78.3	54.1	126.3	2.8	3	12.6	28.49
KT	Cáscara	14.7	70	57.8	78.1	71.4	324.2	7.5	54.4	54.23	37.67
	Pulpa	10.1	51.2	67.1	78.8	52.2	168.3	3.9	4.5	13.34	19.9

B)



C)

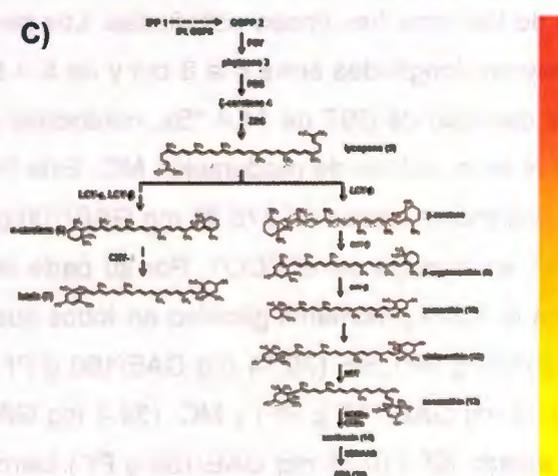


Figura V.1. A) Cuadro comparativo de los principales componentes posiblemente asociados al color del fruto de papaya en cáscara y pulpa de las cuatro líneas estudiadas, B) apariencia visual del color de la cáscara y de la pulpa de las cuatro líneas de papaya estudiadas y C) ruta de la biosíntesis de carotenoides en plantas.

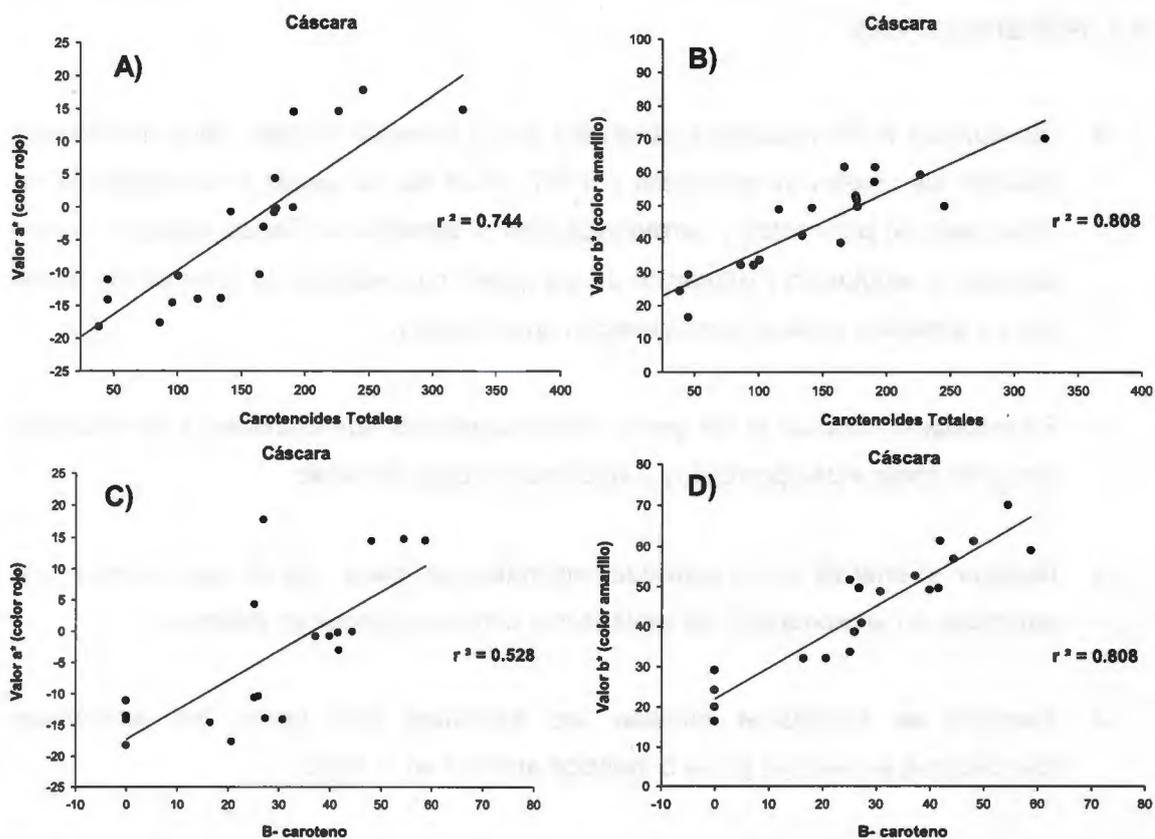


Figura V.2. Correlaciones de parámetros de color con el contenido de carotenoides en cáscara. A) Carotenoides totales en función al valor de a*, B) Carotenoides totales en función al valor de b*, C) β -caroteno en función del valor de a* en cáscara y D) β -caroteno en función del valor de b*.

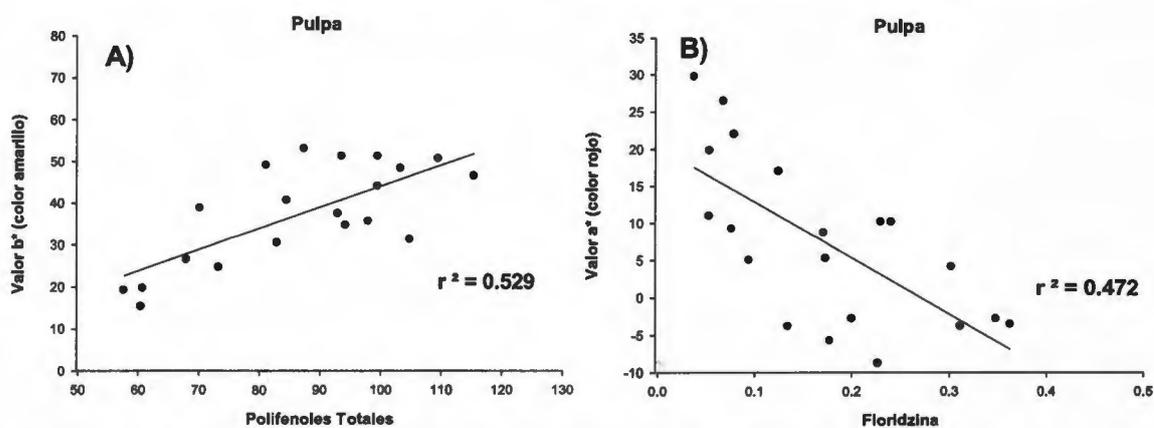


Figura V.3. Correlaciones de parámetros de color con el contenido de polifenoles en pulpa. A) Polifenoles totales en función al valor de b* y B) Flordizina en función al valor de a*.

V.3. PERSPECTIVAS

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, sería interesante analizar los niveles de expresión por RT-qPCR de los genes involucrados en la biosíntesis de pigmentos y carotenoides en el genoma de *Carica papaya* L., para estudiar la regulación y expresión de los genes con respecto al color de los frutos rojos y amarillos durante la maduración postcosecha.
- Es necesario conocer si los genes carotenogénicos que codifican a las enzimas corriente abajo están prendidos o solo poseen baja actividad.
- Realizar el análisis de la actividad enzimática de cada una de las enzimas que participan en la producción de metabolitos carotenogénicos en papaya.
- También es importante estudiar las funciones que tienen los polifenoles identificados en papaya y que beneficios aportan en la salud.

V.4. REFERENCIAS

- Cano M.P., Ancos B. (1994) Carotenoid and carotenoid ester composition in mango fruit as influenced by processing method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **42**: 2737-2742.
- Cano M.P. (1991) HPLC separation of chlorophylls and carotenoid pigments of four kiwi fruit cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **39**: 1786-1791.
- Chandrika G.U., Jansz E., Nalinie S., and Warnasuriya N. (2003) Carotenoids in yellow- and red-fleshed papaya (*Carica papaya* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **83**:1279-1282.
- Halliwell B., Rafter J., Jenner A. (2005) Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols and other phenols: direct or indirect effect? Antioxidant or not?. *The American Journal of Clinical Nutrition*. **81**: 268S-77S.
- Hirschberg J. (2001) Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion of Plant Biology*. **4**: 210-218.
- Karrer P., Jucker E. (1950) Carotenoids. New York, NY: Elsevier Publishing Co.
- Krinsky N.I., Wang X.D., Tang T., Russell R.M. (1983) Cleavage of β -carotene to retinoids. In: Livrea MA, Vidali G, eds. Retinoids: basic science and clinical applications. Basel: Birkhaeuser. pp. 21-28.
- Pecker I., Gabbay R., Cunningham Jr F.X., Hirschberg J. (1996) Cloning and characterization of the cDNA for lycopene beta-cyclase from tomato reveals decrease in its expression during fruit ripening. *Plant Molecular of Biology*. **30**: 807-819.

ANEXOS

Tabla 1A. Correlación del contenido de carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **Mulata**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Carotenoides totales	0.833	0.851	0.831	0.562	0.744	0.634	0.902	0.811	0.897	0.763
β-caroteno	0.281	0.946	0.661	0.827	0.727	0.872	0.396	0.963	0.674	0.964
Licopeno	0.953	0.911	0.865	0.585	0.744	0.667	0.99	0.871	0.903	0.805

Tabla 2A. Correlación del contenido carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **Cubana**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Carotenoides totales	0.8948	0.6213	0.8408	0.7145	0.9866	0.7349	0.9904	0.4644	0.8644	0.7687
β-caroteno	0.8058	0.9439	0.8555	0.9174	0.9872	0.9826	0.959	0.8515	0.8733	0.9773
Licopeno	0.7527	0.6685	0.9186	0.7177	0.922	0.7414	0.9214	0.5248	0.9345	0.7727

Tabla 3A. Correlación del contenido carotenoides totales, β -caroteno y licopeno en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **CY**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Carotenoides totales	0.7403	0.8089	0.9545	0.555	0.9473	0.92	0.9524	0.7029	0.9442	0.5805
β-caroteno	0.6495	0.821	0.9706	0.6907	0.9477	0.9598	0.9569	0.788	0.0949	0.7065
Licopeno	0.7615	0.56	0.8017	0.2716	0.7618	0.5789	0.8139	0.4126	0.7978	0.297

Tabla 4A. Correlación entre valores Carotenoides totales, β -caroteno y Licopeno en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **KT**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Carotenoides totales	0.8546	0.868	0.911	0.6745	0.7834	0.864	0.9017	0.8363	0.925	0.6996
β-caroteno	0.7999	0.851	0.9851	0.6626	0.937	0.848	0.9849	0.8168	0.969	0.6881
Licopeno	0.8391	0.7692	0.8615	0.3772	0.9262	0.6593	0.8328	0.6125	0.8646	0.4033

Tabla 5A. Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **Mulata**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Polifenoles totales	0.7869	0.100	0.2388	0.3814	0.1224	0.3076	0.6727	0.1642	0.3104	0.2367
Familia 1: Ácidos fenólicos	0.8348	0.011	0.8527	0.0343	0.7564	0.0851	0.90885	0.0146	0.9181	0.0119
Familia 2: Dihidro-chalconas	0.3671	0.9996	0.0228	0.6881	0.0001	0.7767	0.2499	0.9864	0.0333	0.9066
Familia 3: Flavonoides	0.3527	0.4191	0.6623	0.6649	0.6962	0.6952	0.4652	0.474	0.6971	0.5586

Tabla 6A. Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **Cubana**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Polifenoles totales	0.2182	0.7453	0.0253	0.4731	0.0081	0.5974	0.0363	0.8243	0.0156	0.5283
Familia 1: Ácidos fenólicos	0.841	0.342	0.4582	0.474	0.5653	0.4654	0.6772	0.2062	0.4993	0.5106
Familia 2: Dihidro-chalconas	0.5543	0.9268	0.5063	0.803	0.4367	0.9132	0.5132	0.8655	0.5212	0.877
Familia 3: Flavonoides	0.4666	0.3142	0.1701	0.0872	0.3468	0.2254	0.3653	0.1718	0.1837	0.1839

Tabla 7A. Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **CY**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Polifenoles totales	0.0173	0.3807	0.2026	0.4409	0.137	0.5664	0.1807	0.4429	0.1693	0.4356
Familia 1: Ácidos fenólicos	0.4619	0.248	0.2089	0.1188	0.2766	0.5107	0.2317	0.1959	0.2431	0.1288
Familia 2: Dihidro-chalconas	0.112	0.3811	0.5083	0.2032	0.4914	0.2426	0.4713	0.2837	0.4604	0.2202
Familia 3: Flavonoides	0.00005	0.7118	0.0005	0.6047	0.0136	0.4854	0.00005	0.652	0.00004	0.6219

Tabla 8A. Correlación del contenido de polifenoles totales, ácidos fenólicos, dihidrochalconas y flavonoides en función a los valores de colorímetro (a^* , b^* , L^* , $^{\circ}H$ y C^*), evaluados en **cáscara y pulpa** en la línea de papaya **KT**.

	a^*		b^*		L^*		$^{\circ}H$		C^*	
	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa	Cáscara	Pulpa
Polifenoles totales	0.0403	0.3631	0.2252	0.7877	0.2521	0.5524	0.2705	0.6185	0.1746	0.768
Familia 1: Ácidos fenólicos	0.5691	0.6551	0.4376	0.9542	0.4456	0.8405	0.4342	0.8474	0.4504	0.9591
Familia 2: Dihidro-chalconas	0.3897	0.0178	0.2414	0.1272	0.3972	0.0009	0.1785	0.0123	0.2741	0.1123
Familia 3: Flavonoides	0.0205	0.0189	0.0912	0.1824	0.1606	0.0555	0.0701	0.1006	0.0854	0.1679

