



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

**CAMPUS VERACRUZ**

**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.)  
PROVENIENTES DE TRES ESTADOS DE MÉXICO**

**GREGORIO HERNÁNDEZ SALINAS**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ**

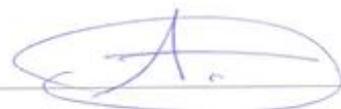
**2013**

La presente tesis, titulada: **Diversidad morfológica de accesiones de papayo (*Carica papaya* L.) provenientes de tres estados de México**, realizada por el alumno: **Gregorio Hernández Salinas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. CATARINO ÁVILA RESÉNDIZ

ASESORA:   
DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA

ASESOR:   
DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

ASESOR:   
DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ

ASESOR:   
MC. MARTÍN HERNÁNDEZ MOGICA

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 08 de mayo de 2013

# **DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.)**

## **PROVENIENTES DE TRES ESTADOS DE MÉXICO**

Gregorio Hernández Salinas, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

Se realizaron dos estudios con accesiones de *Carica papaya* L. provenientes de Baja California Sur, Veracruz y Campeche, México. En el primero, mediante descriptores morfológicos para papaya se cuantificó la diversidad morfológica en 20 accesiones de papayo en plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf), evaluando 25 características cuantitativas y 16 cualitativas. En base al análisis de componentes principales, las características cuantitativas de mayor contribución a la variabilidad total fueron: diámetro, longitud, diámetro de cavidad central, grosor de la pulpa, contenido de sólidos solubles totales, longitud del pedúnculo, color (valor  $a^*$  y  $L^*$ -CIELAB) del fruto, altura a la primera flor y número de nudos. Las características cualitativas de mayor contribución a la variabilidad fueron: coloración de antocianinas en peciolo, ramificación en planta y en fruto aristas, forma y cavidad central. En el segundo estudio se determinaron las características de calidad de fruto y se cuantificaron las características físicas de la semilla de frutos de 19 accesiones, encontrándose diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre accesiones. Se identificaron tres colores de pulpa: amarilla, amarilla-anaranjada y roja. De los dos estudios, se concluye que existe variabilidad amplia en características cuantitativas y cualitativas en plantas F y Hf de las 20 accesiones de papayo. Lo anterior evidencia una base genética amplia con múltiples posibilidades de utilización en programas de mejoramiento genético. Asimismo, la calidad del fruto y morfología de la semilla varió entre accesiones, ya que presentaron características aceptables y no aceptables para el consumidor.

Palabras clave: *Carica papaya* L., °Brix, calidad de fruto, morfología de la semilla.

# **MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF PAPAYA (*Carica papaya* L.) ACCESSIONS FROM THREE STATES IN MEXICO**

Gregorio Hernández Salinas, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

Two studies were conducted with accessions of *Carica papaya* L. from Baja California Sur, Veracruz and Campeche, Mexico. In the first, morphological diversity was assessed for female plants (F) and hermaphrodites (Hf) from 20 papaya accessions, where 25 quantitative and 16 qualitative characteristics were evaluated. Based on principal components analysis, the quantitative characters of greatest contribution to total variability were: diameter, length, central cavity diameter, pulp thickness, total soluble solids, peduncle length, fruit color (values: a\* and L\*-CIELAB), height at first flowering and number of nodes. The qualitative characteristics providing the greatest contribution to variability were: anthocyanin coloration of the petiole, plant branching and in fruit ridges, and shape of the central cavity. In the second study, fruit quality and physical characteristics of the seeds were quantified from 19 accessions, resulting in statistically significant differences ( $P \leq 0.05$ ) among accessions. Three pulp colors were identified: yellow, yellow-orange and red. From the two studies, it is concluded that there is wide variability in quantitative and qualitative characteristics in F and Hf plants from the 20 papaya accessions. This evidence suggests a broad genetic base with multiple possibilities for use in breeding programs. Fruit quality and seed morphology also varied among accessions, providing a acceptable or unacceptable features for consumers.

Key words: *Carica papaya* L., ° Brix, fruit quality, seed morphology.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Jah por darme vida, salud y amor en todo momento ya que con ello logré todas mis metas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de postgrado a nivel de maestría. Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, por haberme formado tanto en lo profesional como en lo personal.

Al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI-SAGARPA), por el financiamiento parcial en esta investigación.

Al Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión no. 167304 del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento económico parcial para realizar la investigación de tesis. También, a la LPI-2 Agroecosistemas Sustentables, por el apoyo con equipo de medición.

Al Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza Biblioteca Conmemorativa Orton (IICA/CATIE) Turrialba, Costa Rica, por el tiempo brindado en la búsqueda y facilitación de artículos científicos.

Al Dr. Catarino Ávila Reséndiz, por toda la dedicación brindada en la elaboración del presente documento y por la disponibilidad amplia que manifestó siempre. Además por su amistad inmensa, confianza, apoyo, profesionalismo, calidad humana y motivación en todo momento.

A la Dra. Alejandra Soto Estrada, por compartir sus conocimientos y experiencias en la revisión de la tesis. Asimismo, por su amistad, profesionalismo, apoyo incondicional, paciencia y palabras de aliento que en todo momento me brindó.

Al Dr. Arturo Pérez Vázquez, por compartir conmigo sus conocimientos valiosos, que mejoraron la escritura del escrito. Así como por ser un profesor y ser humano excelente. También por su apoyo incondicional y amistad incalculable.

Al Dr. Leobigildo Córdova Téllez, por todas las facilidades brindadas durante mi estancia en el Campus Montecillo. También por sus comentarios y sugerencias para enriquecer este documento.

Al M.C. Martín Hernández Mogica, por confiar desde la Licenciatura. Además por su amistad incalculable, apoyo, amabilidad y motivación en todo momento.

A todos mis profesores de Posgrado del Programa Agroecosistemas Tropicales, especialmente al Dr. Felipe Gallardo L., Dr. Octavio Ruíz R., Dr. Juan Antonio Villanueva J., Dr. Gustavo López R., Dr. Alberto Asían H., Dra. Carmen Álvarez Ávila, Dr. Ponciano Pérez H., Dr. Jorge López C., Dr. Eusebio Ortega J. y Dr. Cesáreo Landeros S. por ser personas excelentes, y compartir sus conocimientos y por contribuir en mejorar mi formación académica.

Al Dr. Pablo Díaz Rivera, Dra. Mónica de la Cruz Vargas Mendoza, Dr. Juan Pablo Martínez Dávila, Dr. Crescenciano Saucedo Veloz y Dr. Eliseo García Pérez, un reconocimiento muy especial, porque aunque no fueron mis asesores, me apoyaron en las dudas de la tesis en todo momento. Además por su apoyo y gran amistad.

Al Dr. Francisco Osorio Acosta, por ser una persona excelente y brindar su amistad hacia mi persona.

A mis compañeros y amigos de la generación primavera 2011, Rosita, Maribel, Ayatzol, Gerson, Doris, Diego, Alonso y Javier. Por su dedicación, disciplina, esfuerzo y compartir esta experiencia maravillosa en este camino. También, agradezco sinceramente a José Luis

Hernández, Yanet Jobo, Carlos Luna, José L. Telesforo, Lupita y Aurelio Hdz. por su apoyo en la caracterización morfológica de papayo tanto en laboratorio como en campo.

A todo el personal de apoyo y administrativo del Campus Veracruz, en especial a Julio Chalate Molina, Fabiola Hernández, María de Jesús Hernández, Ángeles Cabrera, Eduardo, Manuela, Maribel Espinoza, Rosario Mosqueda, Laura Grajales, Fabiola Rivera, Sofía Rodríguez, Manuel Pérez, Norma Reyes, Suemy Rossete y Minerva Hernández, por todas las facilidades brindadas para que pudiera terminar este posgrado exitosamente. Muchas gracias!

A la LCE. Maricela Garcés Peralta y la Dra. Liliana Armida Alcudia, por estar dispuestas a ayudarme en todo momento. Además por su amistad y confianza que me brindaron.

A mis amigos Jesús Amado Contreras, Andrés Trujillo y Manuel Hernández Pérez, por su apoyo incondicional, amistad invaluable y por tenderme la mano en momentos difíciles.

A todos los trabajadores de campo por su apoyo incondicional en el trasplante y labores culturales en la plantación de papayo, en especial al Ing. Oliverio Bautista.

A la Dra. Lilia Alcaraz Meléndez y a su equipo de trabajo, por su apoyo invaluable en la recolecta de las accesiones de papayo en Baja California Sur.

A la Dra. Libia I. Trejo Téllez, por la caracterización fisicoquímica del suelo.

A mis amigos Iván Zavala, Estela Ramírez, Aristarco Aguas, Ricardo Serna, Ismael Quiroz, por su disposición buena en compartir sus conocimientos y experiencias de manera desinteresada. También por su amistad inmensa, apoyo moral y confianza dentro y fuera del Campus Veracruz.

Al Dr. Octavio Ruiz Rosado, por su amabilidad en proporcionar los datos climatológicos de la estación meteorológica CPVerAS1 del CP, Campus Veracruz.

A los Dr. W. Bruce Campbell y Dra. Alejandra Soto E. por el apoyo en la traducción de los resúmenes del presente documento.

A Mayra Domínguez, Alba Aurora, Ernesto Cárdenas, Rosalía Hernández, José Lara, Blanca Cruz, Verónica Rosales, Eloísa Ortega, Jaime Arenas, Yair Canela y Wilber Pérez por su apoyo moral y gran amistad que me brindaron en todo momento.

A mi familia Salinas Hernández por su amor, cariño, confianza, paciencia y consejos que siempre me han brindado. En especial a mi hermana Martha Alicia Hernández Salinas por su apoyo moral y amor brindado, a pesar de la distancia.

A mis tíos Paula y Elías Salinas Hernández por comprensión, apoyo moral y por ser enseñarme a lograr el éxito.

A Rosa Campos Pulido por darme la oportunidad de compartir mis experiencias maravillosas contigo. Además, por su gran amor, apoyo, cariño para lograr esta meta.

Al M. C. Mario Rocandio por su apoyo y asesoría en los análisis estadísticos. Además, a la M. C. Yolanda Moreno por compartir sus conocimientos conmigo. ¡Gracias por su gran amistad!

Al Dr. Elías Hernández Castro por su apoyo moral y amistad brindada en todo momento.

Al Maestro Javier Tolentino García por brindarme su apoyo desinteresado.

Por supuesto, mi sincero agradecimiento a aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron y me extendieron su mano, en todo momento para lograr esta meta.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Objetivos.....	6
3. Hipótesis.....	6
4. Revisión de literatura.....	7
4.1. Diversidad y conservación de recursos fitogenéticos.....	7
4.2. Alternativas de conservación de los recursos fitogenéticos.....	9
4.3. Origen y distribución del género <i>Carica papaya</i> .....	11
4.4. Conservación de germoplasma de <i>C. papaya</i> a nivel mundial y México.....	12
4.5. Descriptores morfológicos para papayo.....	15
4.6. Calidad del fruto del papayo.....	17
5. Literatura citada.....	19
 <b>CAPÍTULO I. DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE 20 ACCESIONES DE PAPAYO (<i>Carica papaya</i> L.) PROVENIENTES DE TRES ESTADOS DE MÉXICO</b> .....	 25
1.1. Introducción.....	27
1.2. Materiales y métodos.....	29
1.2.1. Área de estudio.....	29
1.2.2. Material biológico.....	29
1.2.3. Siembra y producción de plántulas.....	31
1.2.4. Caracterización morfológica.....	34
1.2.5. Análisis estadístico.....	36

1.3. Resultados y discusión.....	37
1.3.1. Características morfológicas cuantitativas.....	37
1.3.2. Características morfológicas cualitativas.....	50
1.4. Conclusiones.....	56
1.5. Bibliografía.....	57
<b>CAPÍTULO II. CALIDAD DE FRUTO Y MORFOLOGÍA DE SEMILLA DE 19 ACCESIONES DE PAPAYA (<i>Carica papaya</i> L.).....</b>	<b>62</b>
2.1. Introducción.....	64
2.2. Materiales y métodos.....	66
2.2.1. Germoplasma evaluado.....	66
2.2.2. Características de calidad del fruto.....	67
2.2.3. Características físicas de la semilla.....	68
2.2.4. Análisis estadístico.....	68
2.3. Resultados y discusión.....	69
2.3.1. Características de calidad del fruto.....	69
2.3.2. Características físicas de la semilla.....	75
2.4. Conclusiones.....	76
2.5. Bibliografía.....	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>80</b>
1. Conclusiones.....	80
2. Recomendaciones.....	81
ANEXO A. Figuras de las accesiones de papayo bajo estudio.....	82

## LISTA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Países que conservan accesiones de <i>C. papaya</i> .....	13
Cuadro 2. Características que contribuyeron a la diferenciación o discriminación entre genotipos de papayo.....	16
Cuadro 3. Datos pasaporte de las accesiones de <i>Carica papaya</i> L. bajo estudio.....	30
Cuadro 4. Caracterización fisicoquímica del suelo.....	32
Cuadro 5. Características morfológicas cuantitativas y cualitativas evaluadas en 20 accesiones de papayo ( <i>C. papaya</i> ).....	35
Cuadro 6. Media, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) e intervalo de variación de 25 características morfológicas en 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México.....	42
Cuadro 7. Vectores característicos de 20 características cuantitativas y coeficientes de determinación para cada característica, respecto a su componente principal en 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México.....	44
Cuadro 8. Valores promedio de seis grupos obtenidos con el análisis de conglomerados para las características morfológicas evaluadas en 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México.....	49
Cuadro 9. Valores singulares, inercias principales, Chi- cuadrada y porcentajes individual de los ejes principales obtenidos con el análisis de correspondencia en 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México...	50
Cuadro 10. Moda de seis grupos del análisis de conglomerados de las accesiones de <i>C. papaya</i> en relación al sexo de plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf)....	54
Cuadro 11. Medias de siete características de calidad en frutos de 19 accesiones de <i>C. papaya</i> .....	70
Cuadro 12. Color de cáscara (Luminosidad, Cromo y Hue), color de pulpa (CP), grosor de cáscara (GC), firmeza (FP) y sólidos solubles totales (SST) en frutos de accesiones de <i>C. papaya</i> .....	74
Cuadro 13. Características físicas de la semilla en frutos de 19 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México.....	75

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Distribución de las accesiones de <i>C. papaya</i> registrada en 16 herbarios en México.....	3
Figura 2. Variación de: a) temperatura; b) humedad relativa; c) precipitación durante el periodo de evaluación 2010-2011.....	33
Figura 3. Diagrama de dispersión de 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México, en relación al sexo de plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf)...	46
Figura 4. Dendrograma de 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de Baja California Sur, Veracruz y Campeche, con base en 20 características cuantitativas.....	47
Figura 5. Distribución espacial de 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México.....	51
Figura 6. Agrupamiento de 20 accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México, con base en 13 características cualitativas.....	53
Figura 7. Incidencia y severidad del virus de la mancha anular del papayo en diferentes accesiones de <i>C. papaya</i> de tres estados de México. a) Primera evaluación; b) Segunda evaluación.....	56

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos 20 años se han realizado esfuerzos a nivel mundial para conservar la diversidad biológica. Sin embargo, el proceso de pérdida ha continuado, en gran parte como resultado de la actividad humana a través de la contaminación, los monocultivos y la introducción inadecuada de plantas y animales exóticos (GP-Agenda Local 21, 2006). A esto, se suman los impactos del cambio climático como la reducción o expansión de las áreas de distribución de diversas especies de invertebrados, vertebrados y plantas; el adelanto o retraso de la floración en muchas especies de plantas (CONABIO, 2005). Otros eventos naturales como las erupciones volcánicas, heladas, sequías, terremotos, incendios, entre otros, que se han venido generando a través del tiempo, son algunas de las causas que favorecen o desfavorecen el cambio de la estructura genética de las especies, ya sea para la sobrevivencia o desaparición de la misma.

También, el avance rápido de las fronteras agrícolas, urbanización; y en algunos casos la pobreza, analfabetismo, distribución desigual de tierras y de riqueza, llevan a una erosión genética de las especies que existen en el ambiente. La circunstancia agravante es que se desconoce la diversidad genética y la erosión genética de las especies nativas y domesticadas de cada región (Da Fonseca *et al.*, 2006). Los cultivos exóticos no están exentos a la problemática antes mencionada.

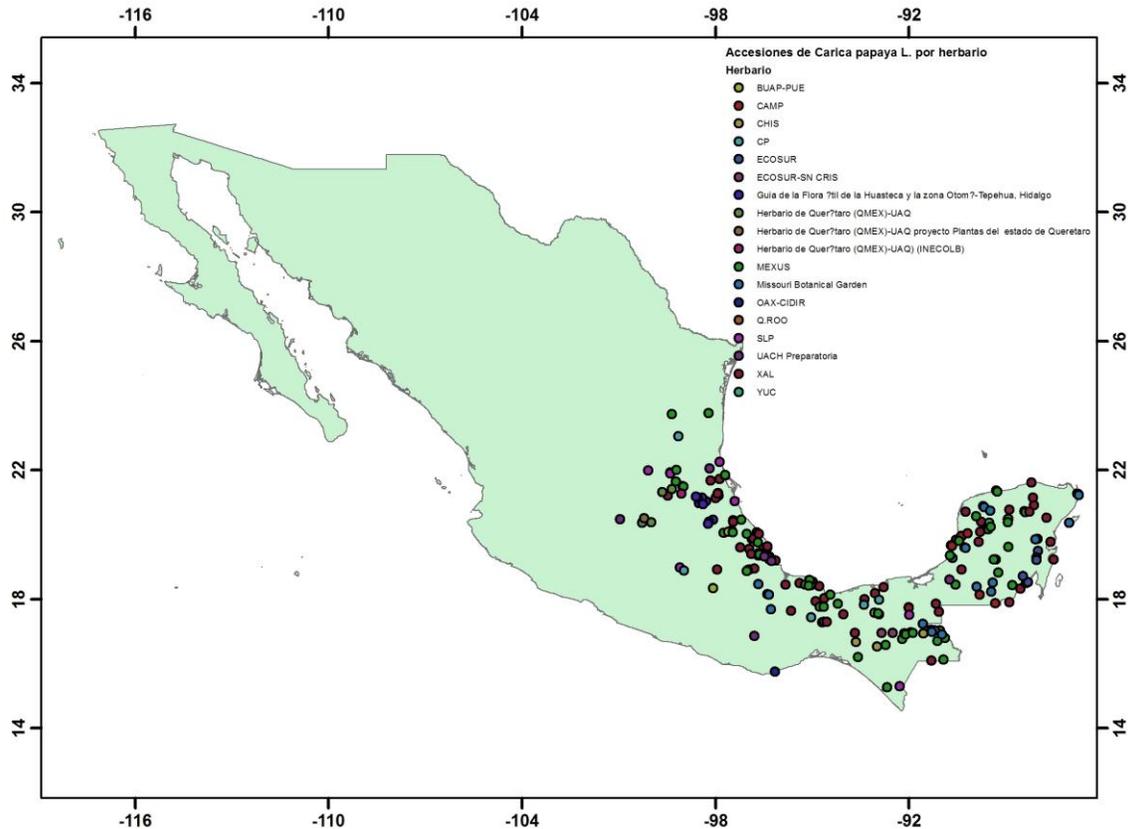
Sin embargo, la situación geográfica privilegiada de México, aunada a la presencia de múltiples climas (Lépiz y Rodríguez, 2006) y la sobreposición, y entrelazamiento de las regiones biogeográficas neártica y neotropical, han favorecido la diversidad genética, la evolución de las plantas y el endemismo, dando origen a una de las biotas más diversas (CONABIO, 2000). Por ello, México es considerado uno de los 17 países megadiversos del mundo; en plantas vasculares ocupa el quinto lugar, después de Brasil, Colombia, China e Indonesia, (Llorente-Bousquets y

Ocegueda, 2008). México presenta una diversidad genética amplia de especies frutícolas tanto de nativas como introducidas. Dentro de las nativas destaca el papayo.

El papayo (*Carica papaya* L.), es una planta originaria del sur de México y Centro América (Schroeder, 1958; Singh *et al.*, 2010), que pertenece a la familia caricaceae, comprende seis géneros y 35 especies (Ramos *et al.*, 2012), y *C. papaya* es la especie del género más importante económicamente (Sánchez-Betancourt y Núñez, 2008). Aunque es una especie monoespecífica presenta una variación fenotípica amplia en tamaño, forma, color, contenido de sólidos solubles del fruto y en altura de la planta, entre otros (Singh y Kumar, 2010) para las variedades de comerciales de papayo. Además de la diversidad fenotípica, resulta importante cuantificar la diversidad genética de esta especie, ya que permitirá identificar características sobresalientes para el desarrollo de nuevas variedades mejoradas genéticamente; por ejemplo Ramos *et al.* (2012) encontraron progenies de papayo con características superiores respecto a otras progenies en la retrocruza de la generación uno.

Ante el riesgo de la pérdida de la diversidad genética de cultivos de importancia económica y social se formula el Plan Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos de México. En este plan, a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) se fomenta la implementación de un proyecto de recolecta, conservación *in situ* y *ex situ* y la utilización sustentable de los 45 géneros de especies nativas, entre las que se encuentra *C. papaya*. El SINAREFI está integrado por cinco macro-redes que son básicos e industriales, hortalizas, ornamentales, subutilizadas y frutales; dentro de ésta, se encuentra la Red de papaya (<http://www.sinarefi.org.mx/inicio/acercadesinarefi.html#cuadro>). Después de consultar a 16 herbarios, con la finalidad de diagnosticar la distribución de *C. papaya* en México (Figura 1); la Red ha propuesto recientemente recolectar materiales nativos de *C. papaya*, tanto de tipos

domesticados como silvestres, en cuatro regiones de México que son: Golfo-Centro, Pacifico Sur-Centro, Península de Yucatán y Baja California Sur (Ávila *et al.*, 2009).



**Figura 1. Distribución de las accesiones de *C. papaya* registrada en 16 herbarios en México.**

### 1. Planteamiento del problema

En el mundo existen registradas variedades mejoradas de papayo como ‘Maradol’, ‘Sunset’, ‘Golden’, ‘Sunrise Solo’, ‘Red Lady’, entre otras. No obstante, y aun cuando México es considerado centro de origen, no existían estudios para recolectar la diversidad genética de poblaciones silvestres y los tipos de papayo como la cera, mamey y otros, pero con la introducción de variedades mejoradas de papayo, se han dejado de cultivar y algunas están relegadas en los patios de las viviendas y otras es posible que hayan desaparecido. Asimismo, las

poblaciones silvestres enfrentan diversas problemáticas como la destrucción de hábitats naturales, presencia de virosis y otras enfermedades que conllevan a la reducción de la diversidad existente. Esta diversidad genética tienen gran importancia ecológica, como parte de la biodiversidad de los ecosistemas naturales (Mora, 2007). Asimismo, favorecen la existencia de otros organismos (aves, mamíferos, insectos, entre otros).

Además de las variedades mejoradas de papayo, los nativos tienen importancia social, económica y cultural. En lo social, por su aporte en el valor nutricional y contenido de vitaminas; económicamente, por la generación de ingresos a nivel familiar y cultural por su uso en la elaboración de dulces en conserva para su comercialización y/o festejo de algún día en especial como es el día de muertos y en algunos casos como medicinal (desparasitante).

*Carica* es uno de los 15 géneros de cultivos nativos y de importancia agrícola y económica en México (Córdova y Molina, 2006) y aunque la especie *C. papaya* no se encuentra en la lista de la Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 de especies en riesgo de extinción, por lo antes mencionado es importante conocer la diversidad existente en el país y su estatus; además de recolectar, conservar *in situ* y *ex situ*, y caracterizar morfo-genéticamente genotipos nativos.

Antes de promover la utilización del germoplasma de una especie, es necesario conocer y evaluar la variabilidad genética (Vignale y Bisio, 2005; Alonso *et al.*, 2007; Pandey *et al.*, 2008; Carrillo y Chávez, 2010). Conociendo ésta, se puede promover su manejo y uso adecuado en programas de mejoramiento genético (Castellen *et al.*, 2007) y posteriormente pasar a la valoración económica, cultural y ecológica de la especie por el público en general. La caracterización morfológica y molecular son las herramientas más utilizadas para determinar la variabilidad morfo-genética (Chávez, 2003). La caracterización morfológica es un método tradicional,

económico y elemental en la caracterización de muestras en las colecciones de bancos de germoplasma (Silva *et al.*, 1997) y esta se basa en características cualitativas y cuantitativas (UPOV, 2008).

Estudios han confirmado la variabilidad en características morfológicas en variedades comerciales de papayo (Mora y Bogantes, 2004; Lim y Siti, 2007; Alonso *et al.*, 2008a; Alonso *et al.*, 2008b; Alonso *et al.*, 2009; Singh y Kumar, 2010; Alcántara *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2010). Sin embargo, no existen estudios sobre diversidad morfológica en genotipos nativos del cultivo en México, ni tampoco sobre aquellos descriptores morfológicos que permitan discriminar o diferenciar entre accesiones.

La FAO (2000) señala que el tamaño del fruto, color de la pulpa, textura y tamaño de la cavidad del fruto dependen de la variedad del papayo, y la forma del fruto del tipo de planta (femenina, hermafrodita y masculina). Además, indica que la falta de nutrimentos en la planta produce algunas alteraciones en el aspecto y calidad de la fruta. Por ejemplo, la deficiencia de boro produce protuberancias en la fruta que afectan la calidad de la misma.

Actualmente, los productores a nivel nacional han dejado de sembrar ciertos tipos de papayo nativos como la cera, mamey, coco y entre otros. Esto debido a factores diversos como presencia de virosis, introducción de materiales genéticos nuevos (Villegas y Mora, 2011) y desconocimiento de las normas de calidad del fruto (Norma del Codex Alimentarius para la papaya). La cosecha de frutos antes de que alcancen su completa maduración fisiológica afecta el proceso de almacenamiento y en consecuencia su calidad. Por ello, es trascendental realizar investigación y determinar su importancia en las características de la calidad del fruto y características físicas de la semilla, sobre todo en programas de mejoramiento genético futuros. Esto con el fin de desarrollar genotipos de papayo nuevos con frutos de calidad comercial

aceptables, tanto para consumo nacional como para el internacional, ya que en este frutal se vislumbran expectativas de mercado y rentabilidad altas para el productor mexicano (Vázquez *et al.*, 2008). Otro factor que está determinando el abandono de los tipos de papayo nativos son las diferentes exigencias del consumidor a través del mercado local, nacional e internacional, en características del fruto como tamaño, color de cáscara y pulpa, firmeza, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable, entre otros.

## **2. Objetivos**

2.1. Cuantificar la diversidad morfológica en plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf) de 20 accesiones de *C. papaya* provenientes de Baja California Sur, Veracruz y Campeche.

2.2. Determinar las características de calidad de fruto y cuantificar las características físicas de la semilla de frutos de 19 accesiones de papayo (*C. papaya*) provenientes de Baja California Sur, Veracruz y Campeche.

## **3. Hipótesis**

3.1. Existe una variabilidad morfológica amplia en plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf) en las 20 accesiones de *C. papaya* provenientes de los estados de Baja California Sur, Veracruz y Campeche.

3.2. La procedencia (Baja California Sur, Veracruz y Campeche) determina la calidad del fruto y las características físicas de la semilla de frutos del papayo (*C. papaya*).

## 4. Revisión de Literatura

### 4.1. Diversidad y conservación de recursos fitogenéticos

En los países de México, Panamá, Costa Rica, Honduras, Belice, Guatemala, El Salvador y Nicaragua existe una gran biodiversidad de especies vegetales que conforman aproximadamente el 10% de la flora del mundo y constituyen uno de los centros de origen y diversidad de varias plantas cultivadas, tales como la calabaza, algodón, amaranto, cacahuete, papa, cacao, frijol, girasol, mandioca, maíz, pimienta, tomate y jitomate, los cuales han adquirido importancia a nivel mundial (Da Fonseca *et al.*, 2006).

En México existen 50 especies nativas de interés económico, entre las cuales están las hortalizas, granos y frutales, entre otros; de éstas son 24 especies anuales y 26 especies perennes. Este grupo no considera a muchas especies de interés local o con algún valor de uso en las comunidades rurales (Lépiz y Rodríguez, 2006.). Lo anterior indica, que se desconoce la magnitud de la diversidad genética de las especies hortícolas, gramíneas y frutícolas, y la erosión genética de las especies nativas y cultivadas de cada región. Es por ello, que países megadiversos como Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y México están considerando medidas para la conservación, caracterización y uso de los recursos fitogenéticos (Ramírez, 2008).

Al respecto, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) señala que existen tres tipos de erosión genética, siendo: alto, medio y bajo. En el primero, están la *Pimienta dioica* (L.) Merr., *Theobroma cacao* L., *Vanilla planifolia* Andr., etc. En el segundo se encuentran *Manilkara zapota* L., *Bixa orellana* L., *Capsicum annuum* L., *Chenopodium berlandieri* Moq. y *Amarantus spp.*; mientras que en el último tipo incluye *Annona muricata* L.,

*Persea americana* Mill., *Spondias purpurea* L., *Cucurbita spp.*, *Zea mays* L y *C. papaya*, entre otras (Da Fonseca *et al.*, 2006).

La conservación de la agrodiversidad genética posee gran importancia ecológica, agrícola y económica. Ecológicamente, dicha diversidad está ligada al manejo de los agroecosistemas tradicionales, en los que se maximiza el aprovechamiento del ambiente mediante la interacción entre diferentes especies de plantas y animales. La importancia de los agroecosistemas tradicionales radica en el uso de variedades exóticas y nativas locales o regionales, que los agricultores han conservado y desarrollado, para satisfacer sus necesidades (Rocandio, 2008) Económicamente, esta variación genética existente, ha conferido el desarrollo cultivares sobresalientes que sus progenitores. A este tipo de importancia, se suma la satisfacción a las necesidades de alimentación y protección, así como a la obtención de otros tipos de satisfactores, que proveen mejores condiciones de vida en los agricultores (Castillo y Sánchez, 2000).

La agrodiversidad es aquél componente de la biodiversidad que es importante para la agricultura moderna y los agroecosistemas tradicionales (Collins y Hawtin, 1999). Los agroecosistemas tradicionales son producto de siglos de experiencia acumulada por los campesinos, obtenida por su conocimiento y convivencia con el ambiente biótico y abiótico; el conocimiento y manejo de las especies y formas dentro de especies que representa una opción para la conservación y el mantenimiento sustentable de la diversidad (Altieri y Merrick, 1987). Además, este tipo de agroecosistemas no sólo son diversos en el número de especies, si no también genéticamente, al contener poblaciones exóticas y nativas adaptadas a condiciones agroclimáticas específicas, al igual que especies silvestres botánicamente emparentadas con los cultivos. Esta diversidad genética confiere por lo menos resistencia parcial a enfermedades que son específicas a variedades particulares del cultivo (Altieri, 1991; Brush y Meng, 1998).

## 4.2. Alternativas de conservación de los recursos fitogenéticos

El germoplasma de los recursos fitogenéticos incluye diferentes tipos de plantas, así como el germoplasma que contienen los ecosistemas. El germoplasma vegetal agrícola se encuentra en los parientes silvestres de cultivos, en las formas de malezas, selección variedades locales, en plantas utilizadas en el mejoramiento y cultivares modernos. Los parientes silvestres de cultivos, las formas de malezas y selección de variedades locales, son unos de los propósitos importantes en la conservación, principalmente por su contribución potencial de características específicas en el mejoramiento genético y cultivares modernos. Varios cultivos nativos locales se han identificado en la categoría de recursos genéticos amenazados, por lo que son objeto de compensación a través de diferentes estrategias de conservación. Por ejemplo en Turquía se conserva *in situ* la diversidad local de trigo, a pesar de la introducción de variedades mejorados de trigo (Brush y Meng, 1998).

La conservación de los recursos fitogenéticos es esencial, tanto para asegurar que los fitomejoradores continúen teniendo acceso a los genes y complejos de genes que se necesitan para el mejoramiento actual y futuro de los cultivos, como para permitir que los agricultores continúen seleccionando y modificando sus cultivos en respuesta a ambientes y circunstancias cambiantes (Collins y Hawtin, 1999). La conservación fitogenética se divide en dos estrategias, *ex situ* e *in situ*. La primera considera el mantenimiento de los recursos genéticos en los bancos de genes, jardines botánicos y centros de investigación agrícola. La segunda consiste en el mantenimiento de los recursos genéticos en las parcelas agrícolas o en su hábitat natural (Zeven, 1996). Se distinguen dos tipos de conservación *in situ*: el primero es un fenómeno histórico, donde los agricultores mantienen la diversidad de variedades locales, aunque las variedades modernas, ampliamente adaptadas o de mayor rendimiento estén disponibles. El segundo se

refiere a proyectos específicos y programas para apoyar y promover el mantenimiento de la diversidad de los cultivos; además, se construyen sobre la experiencia del primer tipo de conservación, y están elaborados para que los agricultores mantengan sus cultivos empleando técnicas que pueden ser no locales, tales como fertilizantes, pesticidas y mecanización (Brush, 2003). La conservación *in situ* es un complemento de los bancos de germoplasma y jardines botánicos, ya que la *ex situ* no puede conservar toda la diversidad de los ambientes transformados y no transformados (Brush y Meng, 1998).

En México, América Central y el Caribe la conservación *ex situ* de cultivos en general es muy limitada. El esfuerzo mayor respecto a esta conservación, lo han realizado centros internacionales, principalmente el IPGRI (Instituto Internacional de Recursos Genéticos de Plantas), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Centro Internacional de la Papa (CIP), y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). En general, con excepción del CYMMYT, el CATIE y el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal (CENTA), las instalaciones para la conservación de germoplasma son inadecuados e insuficientes, lo que ha llevado a la pérdida de algunas colecciones como en el caso del cacahuate del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en México. Sin embargo, las deficiencias y las limitaciones en este tipo de conservación varían entre países, existiendo casos de necesidad de instalaciones básicas, en Panamá, Guatemala y Honduras (Da Fonseca *et al.*, 2006).

En México, instituciones como INIFAP en Tabasco, y Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) existe una colección de 61 accesiones de papayo con predominancia de materiales introducidos; el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) tiene

una colección de más de 60 accesiones, conservadas de manera *in vitro* (SINAREFI, s/f). El Colegio de Postgraduados (CP) mantiene más de 80 accesiones de papayo nativos en campo.

#### **4.3. Origen y distribución del género *Carica papaya***

*C. papaya* es una planta originaria de América Tropical (Morin, 1967; Almeida *et al.*, 2003), específicamente del sur de México (Schroeder, 1958); América Central (Ocampo, 2007; Singh *et al.*, 2010) y actualmente se ha extendido a otras regiones tropicales del mundo como Kenia, Filipinas, Tailandia, Cuba, Jamaica y Venezuela, entre otros (FAOSTAT, 2012)

Aunque es una planta típicamente tropical, sus buenas cualidades sobre otros cultivos han hecho que su cultivo se extienda en muchas zonas subtropicales como Lucknow, India (Singh *et al.*, 2010).

El papayo pertenece a la familia Caricaceae, la cual comprende seis géneros con 35 especies (Ramos *et al.*, 2012). Uno de los géneros más conocidos es *Carica*; no obstante, estudios recientes en taxonomía incluyen un género nuevo conocido como *Vasconcellea*, el cual se caracteriza principalmente por presentar cinco lóculos en el ovario, contrario a *Carica* que presenta solo uno (Badillo, 2000; Kyndt y Gheysen, 2007). Dentro de este género, la especie *C. papaya* es la más conocida e importante económicamente (Sánchez-Betancourt y Nuñez, 2008).

La CONABIO (2007) indica que esta especie se distribuye en la vertiente del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta la Península de Yucatán, incluyendo los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche. Así como en la vertiente del Pacífico, desde Baja California hasta Chiapas, incluyendo los estados de: Baja California Sur, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí.

#### **4.4. Conservación de germoplasma de *C. papaya* a nivel mundial y México**

La conservación, evaluación y caracterización de los recursos fitogenéticos es esencial para la sustentabilidad del papayo, en términos de resistencia a plagas (insectos, enfermedades, virosis, ácaros) y calidad del fruto, entre otras características de importancia agronómica. En este sentido, a nivel mundial existen aproximadamente 30 colecciones de *Carica spp.* (Dantas *et al.*, 1999, citado por Oliveira *et al.*, 2011); además, algunos países conservan accesiones de *C. papaya* en estrategias diversas como *ex situ*, *in situ*, *in vitro*, de semillas y jardín botánico (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Países que conservan accesiones de *C. papaya*.**

País	Estado	No. accesiones	Institución	Estrategia de conservación <sup>x</sup>	Tipo de accesión
Barbados <sup>†</sup>	Bridgetown	2	Ministry of Agriculture and Rural Development	Campo, <i>in vitro</i> y de semillas	ND
Brasil <sup>†</sup>	Cruz das Almas, Bahía	118	EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (CNPMPF)	Campo	ND
Brasil <sup>†</sup>	Vitória, Espírito Santo	16	Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA)	Campo e <i>in vitro</i>	Variedades tradicionales/mejoradas
Brasil <sup>†</sup>	Linhares, Espírito Santo	18	Estacao Experimental de Linhares, EMCAPA	ND	ND
Brasil <sup>†</sup>	Campinas, Sao Paulo	169	Instituto Agronomico de Campinas (L.A.C)	<i>In vitro</i> , <i>in situ</i> y de semillas	Variedades mejoradas
Brasil <sup>†</sup>	Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro	24	Lab. De Recursos Genéticos (CCTA), Universidade Estadual do Norte Fluminense	Campo, <i>in vitro</i> y de semillas	Variedades mejoradas
Brasil <sup>¶</sup>	Cruz das Almas-BA	161	Banco Ativo de Germoplasma de Mamao ( <i>Carica papaya</i> L.)	Campo	ND
Cuba <sup>§</sup>	Jagüey Grande, Matanzas	22	Instituto de Investigaciones en fruticultura Tropical (IIFT)	Banco de germoplasma	ND
Cuba <sup>†</sup>	La Habana	20	Dirección de Investigaciones de Citros y Frutales	ND	Variedades mejoradas
Grenada <sup>†</sup>	St. George's	2	Caribbean Agricultural Research and Development Institute (CARDI)	Campo	Variedades mejoradas
Honduras <sup>†</sup>	Tela, Atlantida	1	Jardín Botánico Wilson Popenoe de Lancetilla	Campo, <i>in situ</i> y de semillas	ND
Jamaica <sup>†</sup>	Kingston 7	34	Biotechnology, University of the West Indies	Campo e <i>in vitro</i>	Variedades mejoradas

Continuación....

Cuadro 1. Continuación...

País	Estado	No. accesiones	Institución	Estrategia de conservación	Tipo de accesión
Panamá <sup>†</sup>	El Dorado, Panamá 6A	10	Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP)	Campo, <i>in vitro</i> y de semillas	ND
Panamá <sup>†</sup>	Panamá City	1	Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Universidad de Panamá (UP)	Campo y de semillas	ND
Puerto Rico <sup>†</sup>	Lajas	7	Agricultural Experimental Station, University of Puerto Rico	Campo	Variedades mejoradas
U.S. Virgin Islands <sup>†</sup>	Kingshill	35	University of the Virgin Islands, Agricultural Experiment Station	Campo y de semillas	Variedades mejoradas
Saint Lucia <sup>†</sup>	Castries	3	Caribbean Agricultural Research and Development Institute (CARDI)	Campo, <i>in situ</i> y de semillas	Variedades mejoradas
Suriname <sup>†</sup>	Paramaribo	4	STIPRIS (Foundation for Experimental Gardens), Tijgerkreek-West and Boma	Campo	Variedades mejoradas
Colombia <sup>†</sup>	Rionegro, Antioquia	40	Centro de Investigación La Selva, CORPOICA	Campo, <i>in vitro</i> y de semillas	ND
Costa Rica <sup>†</sup>	Sabanilla, Montes de Oca	1	Asociación ANAI	ND	ND
México <sup>b</sup>	D.F	1	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Campo, <i>in situ</i> y de semillas.	ND
México <sup>b</sup>	Noroeste y Sureste	89	ND	Campo <sup>††</sup>	ND
México <sup>b</sup>	Noroeste y Centro	159	ND	<i>In vitro</i> <sup>††</sup>	ND
México <sup>b</sup>	Sureste	1	ND	Jardín <sup>††</sup> botánico	ND

Información obtenida de: <sup>†</sup>Knudsen (2000), <sup>b</sup>Córdova y Molina (2006); <sup>†</sup>Castellen *et al.* (2007); <sup>§</sup>Alonso *et al.* (2007). <sup>‡</sup>Este tipo de conservación no es específica para papayo, ya que aquí se incluyen otros tipos de colecciones de diversos cultivos. <sup>††</sup>Específico para papayo. ND= Información no disponible.

#### **4.5. Descriptores morfológicos para papayo**

Existen descriptores definidos para un gran número de especies cultivadas. Entre éstos, se encuentran los de *C. papaya* que fueron propuestos a nivel internacional y otros a nivel local, por investigadores expertos en el tema. A nivel internacional están los del Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR, 1988) que integra todos los datos relacionados con el cultivo, como pasaporte de la accesión y colecta, caracterización y evaluación preliminar (datos del lugar de siembra y de planta). Además, se incluye una segunda caracterización y evaluación donde se consideran datos del lugar de siembra, planta, susceptibilidad al estrés, susceptibilidad a plagas y enfermedades, composición aloenzimática, características citológicas e identificación de genes. Asimismo, está el de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2008) que considera 26 características cuantitativas y 19 cualitativas, relacionadas con planta, lámina de la hoja, peciolo, inflorescencia, flor, fruto y semilla. En Brasil, existe el catálogo de germoplasma de *C. papaya* propuesto por Dantas *et al.* (2000), donde se mencionan 36 características cuantitativas y 25 cualitativas. Estos descriptores coinciden en la mayoría de las características de la planta, hoja, inflorescencia, flor, fruto y semilla. No obstante, existen variaciones menores en la hoja, flor y fruto. En la hoja, en la forma del borde; en la flor, tipo de hermafroditismo y cambio de sexo en la flor; en el fruto, el rendimiento, el peso, la acidez titulable, la relación °Brix/acidez, el pH y la Vitamina C. El primer descriptor se diferencia de los últimos dos, porque añade características de rendimiento por planta, como es el total de peso fresco de hojas, total de papaína deshidratada. Además, de características químicas, está el porcentaje de materia seca de las hojas, contenido proteico de las hojas, contenido mineral de las hojas. También, la susceptibilidad al estrés hídrico y térmico, a plagas y enfermedades.

Los descriptores a nivel local, son los propuestos por investigadores en estudios sobre diversidad morfológica en papayo, utilizando descriptores cuantitativos y otros donde combinan los cualitativos y cuantitativos (Cuadro 2). Por ejemplo, Castellen *et al.* (2007) consideraron cinco características cuantitativas y tres cualitativas; mientras que, Mora (2007) evaluó 28 características cuantitativas y 30 cualitativas. Silva *et al.* (2008) han evaluado características cuantitativas (18); en tanto que, Oliveira *et al.* (2012) utilizaron 10 cuantitativas.

**Cuadro 2. Características que contribuyeron a la diferenciación o discriminación entre genotipos de papayo.**

Características morfológicas		Referencia
cuantitativas	cualitativas	
Longitud y ancho de hoja, longitud de pedúnculo del fruto	Ninguna	Castellen <i>et al.</i> (2007)
Tamaño de hoja, tamaño de la flor, tamaño del estilo, tamaño de estigma y número de lóbulos primarios de la hoja	Brácteas en el pedúnculo de la inflorescencia, disposición de los pétalos y color del estilo	Mora (2007)
Altura de la planta a los 140 y 260 días después del trasplante (DDT), diámetro del tallo a los 140 y 260 DDT, altura de inserción del primer fruto a los 140 DDT, número total de flores a los 140 y 260 DDT, número de flores deformes a los 140 y 260 DDT, número de flores estériles a los 140 y 260 DDT, número de flores normales a los 260 DDT, número total de frutos a los 240 DDT, número de frutos carpelóides a los 240 DDT, número de frutos pentandricos a los 240 DDT, número de frutos comerciales a los 240 DDT, masa, longitud, diámetro, rendimiento por planta, firmeza y firmeza de la pulpa, en el fruto.	No evaluada	Silva <i>et al.</i> (2008)
Rendimiento, altura de la planta a los 12 meses, número de frutos comerciales, número de frutos carpelóides, número de nudos al primer fruto; en el fruto, longitud, masa, sólidos solubles totales y firmeza.	No evaluada	Oliveira <i>et al.</i> (2012)

#### **4.6. Calidad del fruto del papayo**

Los criterios de calidad para frutos de papayo se clasifican en físicos y químicos. Los físicos incluyen peso, longitud, diámetro, forma, color de cáscara y pulpa, firmeza; mientras que los químicos incluyen el contenido de sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, entre otros (Fagundes y Yamanishi, 2001). Los requerimientos físicos del fruto dependen del tipo de mercado, que puede ser local, regional, nacional e internacional. Por ejemplo, en Brasil se prefiere dimensiones de fruto de 8.5 cm de diámetro y 14.3 cm de longitud (variedad ‘Golden’) (Ramos *et al.*, 2012); contrario a Tailandia donde el diámetro preferido es entre 9.5 y 11.7 cm, con una longitud de 30.7 a 34.5 cm (‘Clones Khaek Dam’ de papayo) (Kumcha *et al.*, 2008). En México, existe demanda comercial de frutos de papayo maradol, los cuales deben tener dimensiones de 9.8 cm de diámetro y 16.9 cm de longitud (Alcántara *et al.*, 2010). Además de las poblaciones de papayo domesticadas, se encuentran las poblaciones silvestres que producen frutos entre 2.5 y 15 cm de longitud (Silva *et al.*, 2007), las cuales tienen poco mesocarpio y muchas semillas en el fruto (Mora, 2007). Así, el grosor del mesocarpio y el número de semillas, son algunas de las características que influyen en el poco o nulo uso del fruto por los consumidores. Además, la forma del fruto influye en la comercialización, ya que los mercados prefieren la forma elongada y piriforme de plantas hermafroditas en contraste con la oval y globular de las femeninas (Urasaki *et al.*, 2002).

La FAO (2000) señala que el tamaño, color de pulpa, textura y tamaño de la cavidad del fruto dependen de la variedad de papayo cultivado; mientras que la forma del fruto esta asociado con el sexo de la planta (hermafroditas, femeninas y masculina).

Cuando el fruto esta inmaduro presenta mucho latex blanco y la cáscara es de color verde y de textura dura. Conforme avanza la madurez fisiológica, la cáscara se torna a un color amarilla-naranja, por lo que la pulpa gruesa y succulenta tornandose de color amarilla-naranja o inclusive, varia de color rojo salmón (Silva *et al.*, 2007). En ese sentido, la Norma Mexicana NMX-FF-041-1996 describió el punto de madurez para las papayas tipo cera y mamey con base en el cambio de color de cáscara de verde a amarillo en la cera y de verde a anaranjado para la mamey. La firmeza, aparte de ser un criterio de calidad, es un indicador de madurez del fruto. Ésta es uno de los atributos de aceptación por los consumidores. Para la variedad ‘Sunrise Solo’, en el estadio uno (hasta un 10% de color amarillo en la cáscara), la firmeza del fruto debe ser de  $12.93 \text{ Kg m}^{-2} \cdot 10^{-4}$  y en los estadios seis (maduras) y siete (sobremaduras) debe oscilar entre  $3.02$  y  $0.87 \text{ Kg m}^{-2} \cdot 10^{-4}$ , respectivamente (Fonseca *et al.*, 2003). Ésta, se relaciona con el cambio del color de la cáscara (°Hue), ya que a medida que el fruto va perdiendo firmeza, entra en senescencia y su color se va deteriorando (Sañudo *et al.*, 2008).

El contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y pH son criterios químicos que revelan el cambio de madurez fisiológica de frutos de papayo (cv. ‘Pococí’) (Scheweiggert *et al.*, 2011), debido a las actividades de la poligalacturonasa y  $\beta$ -galactosidasa que aumentan durante la maduración, por lo que se degrada la pared celular debido a la hidrólisis de la pectina y la hemicelulosa, la cual se supone contribuye al aumento de los SST, independientemente de tratamientos poscosecha (Lazan *et al.*, 1995).

La calidad depende del estado de madurez del fruto, lo cual influye en la vida poscosecha. La cosecha de frutos realizada antes de que alcancen su madurez fisiologica completa, daña su proceso de maduración, afectando la calidad del fruto. La cosecha de frutos totalmente maduros reduce la vida de anaquel. Además, se dificulta su manejo y transporte durante la

cosecha y postcosecha, debido al ablandamiento físico. Por ello, es importante definir parámetros físicos y químicos (°Brix, firmeza, color, etc.) de poblaciones silvestres y tipos nativos de papaya, mediante métodos directos complementarios, a los índices de madurez subjetivos de los productores de papaya. Asimismo, la mayoría de trabajos sobre calidad del fruto se basan principalmente en variedades comerciales de papaya. Sin embargo, los valores de éstas pueden variar por las condiciones ambientales y del cultivo (FAO, 2000).

## 5. Literatura Citada

- Alcántara J., J. A., E. Hernández C., S. Ayvar S., A. Damián N., y T. Brito G. 2010. Características fenotípicas y agronómicas de seis genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) de Tuxpan, Guerrero, México. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1: 35-46.
- Ávila R., C., E. García P., y G. Hernández S. 2009. Colecta dirigida de los recursos fitogenéticos de *Carica papaya*. Resúmenes ejecutivos, Ejercicio Fiscal 2009. Texcoco Edo. de México. pp:72.
- Alonso E., M., R. Ramos R., y Y. Tornet Q. 2007. Caracterización y evaluación de los recursos genéticos de papaya (*Carica papaya* L.). *CitriFrut* 24: 38-42.
- Alonso E., M., Y. Tornet Q., R. Ramos R., E. Farrés A., M. Aranguren G., D. Rodríguez M. 2008a. Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México* 34:333-339.
- Alonso, M., Y. Tornet R., R. Ramos., E. Farrés., J. Castro., y M. C. Rodríguez. 2008b. Evaluación de tres cultivares de papaya del grupo Solo basada en caracteres de crecimiento y productividad. *Cultivos Tropicales* 29: 59-64.
- Alonso, M., Y. Tornet., R. Ramos., E. Farrés., D. Rodríguez. 2009. Evaluación de dos híbridos de papaya introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense* 33: 267-274.
- Almeida, T. F., S. Bernardo., E. F de Sousa., S. L David M., y S. Grippa. 2003. Growth and yield papaya under irrigation. *Scientia Agricola* 60: 419-424.
- Altieri, M. A. 1991. ¿Por que estudiar la agricultura tradicional? <http://www.clades.cl/revistas/1/rev1.htm>. Fecha de consulta: 22 de noviembre 2012.
- Altieri, M. A., y L. Merrick. 1987. *In situ* conservation of crop gentic resources throgh mainteance of traditional farming systems. *Economic Botany* 41: 89-96.

- Badillo, V. M. 2000. *Carica* L. vs. *Vasconcella* St. Hil. (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. *Ernstia* 10:74-79.
- Brush, S. B., y E. Meng. 1998. Farmers' valuation and conservation of crop genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* 45: 139-150.
- Brush, S. B. 2003. Los temas en la conservación *in situ* de los recursos genéticos de los cultivos. Lima, Perú. Documento número 2. 22 p.
- Castillo G., F., y J. J. Sánchez G. 2000. Aprovechamiento de los recursos fitogenéticos. *In*: Ramírez., V. P., R. Ortega P., A. López H., F. Castillo G., M. Livera M., F. Rincón S., y F. Zavala G (eds.). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura. Informe Nacional. Chapingo, Edo. de México. pp: 112-126.
- Carrillo R., J. C., y J. L. Chávez S. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (Núm. especial): 1-6.
- Castellen, S. M., C. A da Silva L., E. J de Oliverira., L. S Monteiro F., y J. L. L. Dantas. 2007. Caracterização de accesos do banco activo de germoplasma de mamão por meio de análise multivariada. *Magistra*, Cruz das Almas-BA 19:299-303.
- Chávez, J. L. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica. *In*: Franco, T. L., y R. Hidalgo (eds.). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. IPGRI. Colombia pp: 72-77.
- CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2005. Capítulo 6. Atmósfera. [http://appl.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/06\\_atmosfera/cap6\\_2.html](http://appl.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/06_atmosfera/cap6_2.html). Fecha de consulta: 11 de febrero 2013.
- CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2007. *Carica papaya*. [Http://www.Conabio.Gob.Mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf](Http://www.Conabio.Gob.Mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.Pdf). Fecha de consulta: 10 abril 2011.
- CONABIO (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad). 2000. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia\\_nacional/doctos/pdf/ENB.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/pdf/ENB.pdf). Fecha de consulta: 01 abril 2013.
- Córdova., T. L., y J. C. Molina M. 2006. Conservación *ex situ*. *In*: Molina M., J. C., y L. Córdova T (eds.). Recursos fitogenéticos en México para la alimentación y la agricultura. Chapingo, Edo. de México. pp:60-100.
- Collins, W. W., and G. C. Hawtin. 1999. Conserving and using crop plant biodiversity in agroecosystems. *In*: Collins, W. W., and C. O. Qualset (eds.). CRC Press. USA. pp: 267-282.

- Dantas, L. J. L., R. M. de Souza P., J. Firmino de L., F. R. Ferreira. 2000. Catálogo de germoplasma de mãmao (*Carica papaya* L.). No. 94: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, Bahia, Brasil 40 p.
- Da Fonseca, J. M. A., M. M. V. da Sliva W., y A. Celso C. 2006. El estado del arte de los recursos genéticos en las Ámericas: Conservación, caracterización y utilización. Embrapa. Brasil. 60 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm). Fecha de consulta: 20 de enero 2013.
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. Estadísticas de producción y consumo mundial de frutas y hortalizas. <Http://faostat.Fao.Org/site/567/desktopdefault.aspx?Pageid=567#ancor>. Fecha de consulta: 15 de noviembre 2012.
- Fagundes, R. G., y O. K Yamanishi. 2001. Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo 'Solo' comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília-DF. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal 23: 541-545.
- Fonseca, de O. M. J., N. Rocha L., S. A Cenci., P. R Cecon., y R. E Bressan-Smith. 2003. Comparación entre las papayas 'Sunrise Solo' y 'Golden' durante siete estados de madurez. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 5: 86-91.
- Grupo Promotor de agenda Local 21. 2006. Sección II. Conservación y manejo de recursos para el desarrollo. Capítulo 15. Conservación de la diversidad biológica. <http://agenda21ens.cicese.mx/capitulo15.htm>. Fecha de consulta: 10 de febrero 2013.
- IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). 1988. Descriptors for papaya. Rome, Italy. 34 p.
- Knudsen, H. 2000. Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe. Primera edición. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Roma, Italia.
- Kumcha, U., S. Chaikiattiyos., and V. Prasatsri. 2008. Varietal improvement of papaya (*Carica papaya* L.) for fresh consumption. Acta Horticulturae 787: 147-150.
- Kyndt, T., and G. Gheysen. 2007. Evolutionary relationships between and within the highland papaya (genus *Vasconcellea*) and the common papaya (*Carica papaya*). Acta Horticulturae 740: 61-72.
- Lazan, H., M. K Selamat., y Z. M Ali. 1995.  $\beta$ -Galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. Physiologia Plantarum 95: 106-112.

- Lépiz I., R., y E. Rodríguez G. 2006. Los recursos fitogenéticos de México. *In*: Molina M., J. C., y L. Córdova T (eds.). Recursos fitogenéticos en México para la alimentación y la agricultura. Chapingo, Edo. de México. pp:2-17.
- Lim, L. S., y J. Siti H. 2007. Earliness in flowering and dwarfism in relation to internode length and tree height in papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Horticulturae* 740: 103-108.
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en Capital natural de Mexico, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. pp:283-322.
- Morin, C. 1967. Cultivo de frutales tropicales. *In*: Morin, C. (ed.). El papayo. Lima, Perú. pp: 231-288.
- Mora, E., y A. Bogantes. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 15: 39-44.
- Mora, E. 2007. Morphological and isozyme characterization of common papaya in Costa Rica. *Acta Horticulturae* 740: 109-120.
- Ocampo, P. J. 2007. Papaya genetic diversity assessed with microsatellite markers in germplasm from the Caribbean region. *Acta Horticulturae* 740: 93-102.
- Oliveira, E. J., J. L. Loyola D., y M. Silva C. 2011. Conservação e uso do germoplasma de mamoeiro na Embrapa. <http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=438>. Fecha de consulta: 19 de febrero 2013.
- Oliveira, E. J., G. A. F. Oliveira., J. L. Costa., V. J. S. Oliveira., A. C. L. Dantas., J. L. L. Dantas., and J. G. Pádua. 2012. Genetic diversity and marker-assisted inbreeding in papaya. *Scientia Horticulturae* 147: 20-28.
- Pandey, A., A. Kumar T., D. C. Bhandari., y S. K. Pareek. 2008. Towards collection of wild relatives of crop plants in India. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 187-202.
- Ramos, H. C. C., M. G. Pereira., L. S. A. Gonçalves., A. P. C. G. Berilli., F. O. Pinto., and E. H. Ribeiro. 2012. Multivariate analysis to determine the genetic distance among backcross papaya (*Carica papaya*) progenies. *Genetics and Molecular Research* 11: 1280-1295.
- Ramirez, M. 2008. Redes de recursos fitogenéticos en las Américas. *Recursos Naturales y Ambiente* 53: 85-92.
- Rocandio, R. M. 2008. Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de frijol común cultivadas en asociación con maíz. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. 78 p.

- Sánchez-Betancourt, E., y V. M. Núñez Z. 2008. Evaluación de marcadores moleculares tipo SCAR para determinar sexo en plantas de papaya (*Carica papaya* L.). Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología 9: 31-36.
- Sañudo B., J. A., J. Siller C., T. Osuma E., D. Muy R., G. López Á., y J. Labavitch. 2008. Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 141-147.
- Schweiggert M., R., C. Björn S., E. Mora., P. Esquivel., y R. Carle. 2011. Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). Food Research International 44: 1373-1380.
- Schroeder, C. A. 1958. The origin, spread and improvement of the avocado, sapodilla and papaya. The Indian Journal Horticulture 15 (Special Symposium Number): 1-16.
- SINAREFI (Sistema Nacional de Recursos fitogenéticos para la Alimentación y la agricultura). s/f. Acerca del SINAREFI. <http://www.sinarefi.org.mx/inicio/acercadesinarefi.html#cuadro>. Fecha de consulta: 19 de Febrero 2013.
- SINAREFI (Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura). s/f. Perfil del diagnóstico para nuevas redes. Elaborado por el Dr. Catarino Ávila Reséndiz, Veracruz, México. 12 p.
- Singh, A. K., A. Bajpai., and A. Singh. 2010. Classification of morpho-agronomic variability in papaya for developing elite cultivar. Acta Horticulturae 851: 137-144.
- Singh, K., y A. Kumar. 2010. Genetic variability and correlation studies in papaya under Bihar conditions. Acta Horticulturae 851: 145-150.
- Silva, S. de O., A. P de Mateos., E. J Alves., y K. Shepherd. 1997. Mejoramiento de bananos diploides (AA) en Embrapa/CNPMPF. Infomusa 6:4-6.
- Silva, T. J. A., Z. Rashid., D. Tan N., D. Sivakumar., A. Gera., M. Teixeira Jr., y P. F. Tennant. 2007. Papaya (*Carica papaya* L.) biology and biotechnology. Tree and Forestry and Biotechnology 1: 47-73.
- Silva, F. F., M. G. Pereira., H. C. C. Ramos., P. C. Damasceno Junior., T. N. S. Pereira., A. P. Viana., R. F. Daher., and G. A. Ferreguetti. 2008. Estimation of genetic parameters related to morpho-agronomic and fruit quality traits of papaya. Crop Breeding and Applied Biotechnology 8: 65-73.
- UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants). 2008. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Papaya (*Carica papaya* L.). TG/1/3, Geneva.

- Urasaki, N., M. Tokumoto., K. Tarora., Y. Ban., T. Kayano., H. Tanaka., H. Oku., I. Chinen., y R. Terauchi. 2002. A male and hermaphrodite specific RAPD marker for papaya (*Carica papaya* L.). Theoretical and Applied Genetics 104: 281-285.
- Vázquez G., E., E. E Román A., y R. Ariza F. 2008. Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el Sur de Tamaulipas, México. Revista Fitotecnia Mexicana 31(Núm. especial): 45-48.
- Vignale, B., y L. Bisio. 2005. Selección de frutales nativos en Uruguay. Agrociencia 9: 35-39.
- Villegas M., A., y A. Mora A. 2011. Avances de la fruticultura en México. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal- SP Volume especial, E: 179-186.
- Zeven, A. C. 1996. Results of activities to maintain landraces and other material in some european countries *in situ* before 1945 and what we may learn from them. Genetic Resources and Crop Evolution 43: 337-341.

## CAPÍTULO I.

### DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE 20 ACCESIONES DE PAPAYO (*Carica papaya* L.) PROVENIENTES DE TRES ESTADOS DE MÉXICO

#### RESUMEN

Se cuantificó *ex situ* la variabilidad morfológica en plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf) de 20 accesiones de papayo. Con base en los descriptores sugeridos para papaya, se midieron 25 características cuantitativas y 16 cualitativas de 10 accesiones de Baja California Sur, nueve de Veracruz y una de Campeche. El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones por accesión. En las plantas evaluadas, se obtuvo un coeficiente de variación de 23.1 a 82.9% en el 60% de las características evaluadas. Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron el 62.6% de la variabilidad morfológica cuantitativa total. Con el método de ligamiento promedio y considerando un coeficiente de distancia Euclidiana de 1.1 se definieron seis grupos, de los cuales en el cuarto se ubicaron las accesiones 19Hf, 18F, 16F, 6Hf y 2F de Veracruz y las 14F y 12F de Baja California Sur que se distinguieron de los otros grupos por presentar frutos de tamaño pequeño con menor grosor de pulpa y con alto contenido de sólidos solubles totales. Por su diversidad cualitativa, se formaron cinco grupos considerando un coeficiente de distancia Euclidiana de 2.4, difieren principalmente por la forma del fruto, cavidad central, intensidad de antocianinas y tipo de tallo. Se concluye que existe una variación morfológica amplia en características cuantitativas y cualitativas de las accesiones estudiadas. Estas accesiones por sus características morfológicas distintivas en planta y fruto se podrían incluir en programas de mejoramiento genético del papayo.

Palabras clave: *Carica papaya* L., análisis multivariado, variabilidad morfológica.

**MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF 20 PAPAYA ACCESSIONS (*Carica papaya* L.)  
FROM THREE STATES IN MEXICO**

**ABSTRACT**

Morphological variability in female plants (F) and hermaphrodites (Hf) was quantified *ex situ* from 20 papaya accessions. Based on the descriptors suggested for papaya, 25 quantitative and 16 qualitative characteristics were measured of 10 accessions from Baja California Sur, nine from Veracruz and one from Campeche. The experimental design was completely randomized, with five replicates per accession. A correlation coefficient of variation ranging from 23.1 to 82.9% for 60% of the evaluated characteristics was obtained among the plants measured. The first three principal components (PC) explained 62.6% of the total quantitative morphological variability. Using the average linkage method and considering a Euclidean distance coefficient of 1.1, six groups were differentiated of which the fourth group contained the accessions 19Hf, 18F, 16F, 6HF and 2F from Veracruz and 14F and 12F from Baja California Sur. This group was different from the other groups by presenting smaller fruit with less pulp thickness and a high content of total soluble solids. Due to their qualitative diversity, five groups were formed considering the Euclidean distance coefficient of 2.4, differing mainly in fruit and central cavity shape, anthocyanin intensity and type of stem. It can be concluded that there is wide morphological variation in quantitative and qualitative characteristics in the accessions studied. Given the distinctive plant and fruit morphological characteristics, these accessions could be included in papaya breeding programs.

Key words: *Carica papaya* L., multivariate analysis, morphological variability.

## 1.1. INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya* L.) es originario del norte de Centro América y sur de México (Schroeder, 1958; Badillo, 2000), pertenece a la familia caricaceae, que consta de seis géneros y 35 especies (Ramos *et al.*, 2012); de la familia es la especie más importante económicamente por su distribución amplia en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Aradhya *et al.*, 1999). Ésta especie, presenta tres tipos de poblaciones: dioicas, plantas que producen flores masculinas y femeninas; ginodioicas, plantas que producen flores femeninas y otras poseen flores hermafroditas; y trioicas, plantas con flores masculinas, femeninas y hermafroditas (Oliveira *et al.*, 2010). Las variedades comerciales de papayo presenta una variación fenotípica amplia en la mayoría de sus características morfológicas, incluyendo tamaño, forma, color, contenido de sólidos solubles del fruto y en altura de la planta, entre otros (Singh y Kumar, 2010). Además de la cuantificación fenotípica, la diversidad genética de esta especie es importante, ya que permite identificar características sobresalientes para el desarrollo de nuevas variedades mejoradas genéticamente. Sin embargo, en general, los lugares que presentan una gran riqueza en variabilidad genética están perturbados y erosionados por factores antropogénicos o naturales que causan la reducción de dicha variabilidad (Ríos, 2006; Pandey *et al.*, 2008). En ese sentido, los bancos de germoplasma que conservan la diversidad genética, ayudan a reducir los impactos de la erosión genética de diversos cultivos (Castellen *et al.*, 2007).

En México, se han dejado de sembrar el papayo nativo como la cera, mamey y coco, entre otros, por lo que sólo se encuentran en huertos familiares de una a tres plantas. Este fenómeno es causado por la introducción de variedades mejoradas genéticamente de papayo, lo cual trae como consecuencia la reducción de la diversidad tanto fenotípica como genotípica. Asimismo, las

poblaciones silvestres enfrentan diversas problemáticas por la destrucción de selvas, vegetación secundaria, etc. que conllevan a la reducción de la diversidad de papayo existente.

Ante el riesgo de la pérdida de diversidad agrícola de cultivos de importancia económica y social se ha formulado el Plan Nacional sobre Recursos Fitogenéticos de México (SAGARPA-SOMEFI, 2006). Por esta razón, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) ha fomentado la implementación del plan de acción en recolecta, conservación y utilización sustentable de los 45 géneros de especies nativas, entre las que se encuentra *C. papaya*.

Para la utilización del germoplasma de una especie, es necesario conocer y evaluar la variabilidad genética (Vignale y Bisio, 2005; Alonso *et al.*, 2007; Pandey *et al.*, 2008; Carrillo y Chávez, 2010), lo que permite establecer programas de manejo y uso adecuado de estos recursos, así como su incorporación en programas de mejoramiento genético (Castellen *et al.*, 2007). La caracterización morfológica y molecular son las herramientas más utilizadas para estimar la variabilidad (Chávez, 2003). La caracterización morfológica es un método tradicional difundido ampliamente, de uso fácil y de costo económico bajo, por lo cual se considera eficiente (Castellen *et al.*, 2007). Por medio de ésta, se ha encontrado variación amplia en características relacionadas con hoja (tamaño, forma y color), fruto (tamaño, forma y color de pulpa) y planta (pigmentación del tallo y tipo de habito) del papayo (Ocampo *et al.*, 2006; Asudi *et al.*, 2010).

Los trabajos sobre caracterización morfológica en papayo se han realizado principalmente en variedades comerciales y consideran básicamente características de interés morfo-agronómico (Mora y Bogantes, 2004; Lim y Siti, 2007; Alonso *et al.*, 2008a; Alonso *et al.*, 2008c; Alonso *et al.*, 2009; Singh y Kumar, 2010; Alcántara *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2010), características físicas

y químicas de fruto (Kumcha *et al.*, 2008; Alonso *et al.*, 2008b; Santamaría *et al.*, 2009), así como en características cuantitativas y cualitativas (Dantas *et al.*, 2000; Castellen *et al.*, 2007; Asudi *et al.*, 2010; Mendoza-Garces *et al.*, 2010). Otros estudios, se han centrado en el reestablecimiento taxonómico y relaciones genéticas entre *C. papaya* y *Vasconcellea* spp., con la finalidad de sustentar la separación reciente de ambos géneros (Badillo, 2000; Medina *et al.*, 2010). Además, Jobin-Decor *et al.* (1997) demostraron mediante el marcador molecular Polimorfismo en el ADN Amplificado Aleatoriamente (RAPD) e Isoenzimas que no existe similitud genética entre *C. papaya* y seis especies de *Carica* evaluadas. No obstante, la diversidad genética dentro del género monoespecífico ha sido poco documentada (Ocampo, 2007; Castellen *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2012).

Aun cuando México se considera centro de origen de papayo, no existen estudios sobre diversidad morfológica en genotipos nativos. En este estudio se cuantificó la diversidad morfológica en plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf) de 20 accesiones de *C. papaya* provenientes de Baja California Sur, Veracruz y Campeche.

## **1.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.2.1. Área de estudio**

La presente investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México; situado a los 19°11'38.62'' LN y 96°20'31.26'' LO; a 24 m snm, durante el periodo de diciembre del 2010 a diciembre del 2011.

### **1.2.2. Material biológico**

De acuerdo a la escala desarrollada por la FAO (2000), se colectaron frutos aptos para el consumo en estado de madurez fisiológica cinco (un 90-100% de color amarillo en la cáscara)

correspondientes a 20 accesiones de papayo, durante los años 2009 y 2010. De estas accesiones, 10 se colectaron en Baja California Sur, nueve en Veracruz y una en Campeche (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Datos pasaporte de las accesiones de *Carica papaya* L. bajo estudio.**

Accesión no. <sup>b</sup>	Estado	Municipio	Localidad	Latitud N	Longitud O	Altitud (m snm)
1F	BCS	Los Cabos	Santiago	22°53'54.16"	109°55'23.22"	40
2F	Veracruz	Yecuatla	Yecuatla	20°01'40.29"	96°38'52.22"	420
3F	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	24°07'25.61"	110°18'24.26"	37
4F	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	23°45'30.5"	109°54'53.8"	500
5F/Hf	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	23°45'30.5"	109°54'53.8"	500
6F/Hf	Veracruz	Zongolica	Sn. Rafael Guizar y Valencia	18°37'52.35"	96°55'05.86"	1025
7Hf	Veracruz	Zongolica	Piedras Blancas	18°39'47.00"	96°54'12.00"	516
8F/Hf	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	24°07'25.05"	110°18'24.80"	37
9F	Campeche	Campeche	Chiná	19°45'36.65"	90°29'45.60"	14
10F	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	24°07'25.05"	110°18'24.8"	37
11F	BCS <sup>a</sup>	Los Cabos	La Laguna	22°53'27.56"	109°55'02.55"	22
12F	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	24°07'26.03"	110°18'31.93"	34
13F	BCS <sup>a</sup>	La Paz	Sn. Bartolo	24°07'26.03"	110°18'31.93"	34
14F	BCS <sup>a</sup>	Los Cabos	La Laguna	22°53'27.56"	109°55'02.55"	22
15F/Hf	Veracruz	Paso de Ovejas	Paso de Ovejas	19°17'03.97"	96°26'15.97"	46
16F	Veracruz	Otatitlán	Otatitlán	18°10'48.46"	96°02'01.54"	19
17F/Hf	Veracruz	Otatitlán	Otatitlán	18°10'56.02"	96°01'59.11"	19
18F	Veracruz	Otatitlán	Otatitlán	18°10'48.22"	96°02'11.94"	19
19F/Hf	Veracruz	Tantoyuca	Tantoyuca	21°22'36.77"	98°13'53.81"	163
20F/Hf	Veracruz	Tantoyuca	Tantoyuca	21°22'41.30"	98°14'01.14"	147

<sup>a</sup>BCS Baja California Sur, <sup>b</sup>Las letras que acompañan a cada número (no.) de accesión indican el tipo de sexo, F femenino, Hf hermafrodita.

De cada fruto recolectado, se extrajo de manera manual la semilla y se les eliminó el mucílago por frotación manual dentro de un tamiz de plástico y posteriormente se lavaron con agua corriente. Subsecuentemente, las semillas se colocaron a la sombra a temperatura ambiente durante 12 días y se utilizaron para la producción de plántulas.

### **1.2.3. Siembra y producción de plántulas**

Antes de la siembra, las semillas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 20%. La siembra se efectuó en charolas de plástico con 28 cavidades conteniendo el sustrato Peat-moss®, que contenía N, K, Ca y Mg, con un pH de 6.2. Se depositó una semilla en el centro de cada cavidad e inmediatamente las charolas que contenían las semillas sembradas fueron instaladas bajo un techo con plástico, con la finalidad de proveer un sombreado y evitar disminución del contenido de humedad del suelo. Lo antes mencionado, se realizó el 15 de noviembre de 2010.

Durante los primeros 13 días posteriores a la siembra, las charolas se regaron diariamente de manera manual utilizando una regadera de aluminio de 10 L. Posteriormente a este periodo, los riegos se realizaron cuando las plántulas lo requerían. Los riegos se hicieron a las 08:00 horas.

A los 26 días después de la siembra, cuando las plántulas tenían una altura promedio de 15.0 cm, éstas se trasplantaron en el campo a una distancia de 1.5 m entre plantas y 2.0 m entre surcos. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones por accesión.

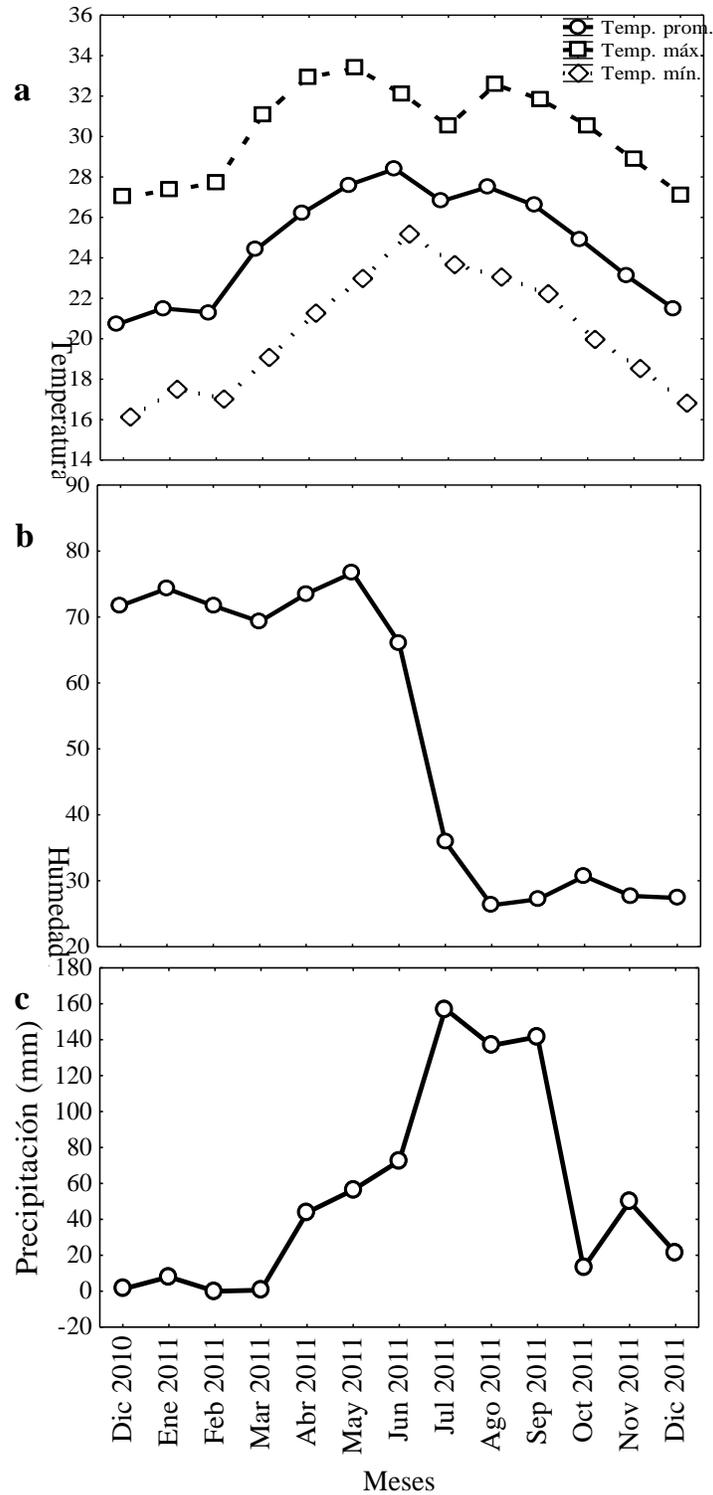
Durante el desarrollo del experimento, y de acuerdo a la distribución de las accesiones de papayo en campo, el terreno se dividió en dos partes. Posteriormente, después del trasplante se realizó un muestreo de suelo al azar en forma de zig-zag de 0 a 30 cm de profundidad, con cuatro submuestras y finalmente se obtuvo una muestra de 2 kg de cada parte del terreno, las cuales fueron llevadas al laboratorio de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. Los resultados de las características físicas y químicas del suelo se muestran en el Cuadro 4. También, se obtuvieron datos diarios de temperatura, humedad relativa y precipitación

de la estación meteorológica CPVerAS1 del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz (Figura 2).

**Cuadro 4. Caracterización fisicoquímica del suelo.**

Determinación	Muestreo 1 <sup>b</sup>	Muestreo 2 <sup>c</sup>
pH	6.34	6.34
Conductividad eléctrica (ds m <sup>-1</sup> )	0.18	0.23
Materia orgánica (%)	0.19	0.17
Nitrógeno total (%)	0.03	0.03
Fósforo (ppm)	Nd <sup>a</sup>	Nd <sup>a</sup>
Potasio (ppm)	0.87	2.37
Calcio (ppm)	17.02	20.55
Magnesio (ppm)	6.25	7.29
Textura	Franco arcilloso	Arcillo arenoso
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1.35	1.25

<sup>a</sup>Nd no detectado, <sup>b</sup>Valores de las accesiones 1-12, <sup>c</sup>Valores de las accesiones 13-20.



**Figura 2. Variación de: a) temperatura; b) humedad relativa; c) precipitación durante el periodo de evaluación 2010-2011.**

Las plantas fueron fertirrigadas por goteo cada tercer día durante los primeros tres meses (diciembre 2010 a febrero 2011), utilizando multi NPK (13:2:44), fosfato monoamónico (12:61:0) y nitrato de calcio (12:61:0). En el periodo de marzo a diciembre del mismo año, únicamente se le suministró riego por goteo cada ocho días. La maleza se controló manualmente durante el crecimiento y desarrollo de las plantas.

#### **1.2.4. Caracterización morfológica**

Con base en los descriptores sugeridos para papaya por la *International Union for the Protection of new Varieties of Plants* (UPOV, 2008), se midieron 25 características cuantitativas y 16 cualitativas relacionadas con planta, tallo, hoja, peciolo, inflorescencia, flor y fruto (Cuadro 5). Utilizando la escala de madurez fisiológica cinco del fruto desarrollada por la FAO (2000), se evaluaron un promedio de cinco frutos por planta. Se evaluó la forma del fruto utilizando el catálogo de germoplasma de papayo (Dantas *et al.*, 2000). También se determinó el color del fruto de acuerdo al Sistema de medición de la Comisión Internacional en Iluminación (CIE), donde  $L^*$  mide la luminosidad y puede ir desde 0 (negro) a 100 (blanco), la coordenada  $a^*$  va desde el rojo-púrpura (+) al verde azulado (-) y  $b^*$  varía del amarillo (+) al azul (-) (McGuire, 1992). Adicionalmente, de manera general, se evaluó la incidencia de la mancha anular del papayo (VMAP, por sus siglas en español). Para ello se efectuaron dos muestreos donde, de manera visual, se determinó la incidencia de la enfermedad en hojas y frutos. El primero se realizó siete meses después del trasplante (mdt), en el cual se evaluaron tres hojas y/o frutos por planta de todas las accesiones. Dieciséis mdt se realizó el segundo muestreo evaluando tres frutos por planta de cuatro accesiones solamente. En ambos muestreos la severidad se evaluó utilizando la escala siguiente: 0=0%, 1=1-10%, 2=11-20%, 3=21-30%, 4=31-50% y 5= >50%, donde el % correspondió al daño.

**Cuadro 5. Características morfológicas cuantitativas y cualitativas evaluadas en 20 accesiones de papayo (*C. papaya*).**

Clasificación del órgano	Características cuantitativas	Acrónimo	Características Cualitativas	Acrónimo
Planta	Altura a la primera flor (cm)	APF	Ramificación	RP
Tallo	Número de nudos desde el suelo a la primera flor	NNPF		
	Longitud del entrenudo medio (cm)	LEM	Color	CT
Peciolo	Diámetro del tallo (mm)	DTP		
	Longitud del peciolo (cm)	LP	Antocianinas	PDAP
			Intensidad de coloración de antocianinas	ICA
Hoja	Longitud de la hoja (cm)	LH	Hojas trilobuladas	HTb
	Ancho de la hoja (cm)	AH	Consistencia serosa en la hoja	CCH
	Relación longitud/ancho de hoja	RLAH	Pubescencia en el envés de la hoja	PEH
Flor	Longitud de la corola (cm)	LC	Color de la corola	CC
Inflorescencia	Número de flores por inflorescencia	NFPInf	Color del eje de la inflorescencia	CEI
Fruto	Longitud del eje (cm)	LEI		
	Longitud del pedúnculo (cm)	LPF		
	Longitud (cm)	LF		
	Diámetro (cm)	DF		
	Relación longitud/diámetro	RLDF		
	Color externo L <sup>*a</sup>	L*	Forma	FF
	Color externo a <sup>*a</sup>	a*	Forma de la parte final del pedúnculo	FPPF
	Color externo b <sup>*a</sup>	b*	Forma del extremo distal	FED
	Grosor de la pulpa (cm)	GP	Aristas en el fruto	AF
	Grosor de la cáscara (mm)	GPF	Prominencia de aristas	PDAF
	Firmeza (N)	FP	Aroma de la pulpa	ADP
	Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)	SST	Forma de la cavidad central	FCC
	Tejido placentario (g)	TP		
	Diámetro de cavidad central (cm)	DCC		
	Cantidad de semilla	CS		

<sup>a</sup>Corresponde a los valores CIELAB (McGuire, 1992).

### 1.2.5. Análisis estadístico

En base a los datos obtenidos se efectuaron los análisis de estadística descriptiva, mediante el procedimiento UNIVARIATE del software *Statistical Analysis System* (SAS, 2002), con la finalidad de identificar variabilidad entre accesiones y los diferentes grados de discriminación entre las mismas, en relación a cada característica morfológica (Souza *et al.*, 2012). Posteriormente, se seleccionaron variables no correlacionadas y se discriminaron aquellas correlacionadas con otras variables, mediante el análisis de correlación a través del gráfico de Gabriel. Para definir las variables que explicaran en mayor grado a los dos primeros componentes, se obtuvo el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Rawlings, 1988).

También se realizó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de la matriz de correlaciones de los promedios de las características cuantitativas con el procedimiento PRINCOMP de SAS. Con los datos cualitativos se efectuó un análisis de correspondencia (variante del ACP) con base en la matriz de modas mediante PROCCORRESP de SAS. Esta técnica, igualmente que el ACP, explica la variación total, además de proporcionar valores para las categorías en filas y columnas sobre un pequeño número de dimensiones o ejes, las cuales acumulan la mayor parte de la Chi-cuadrada ( $X^2$ ). Finalmente, con el software estadístico NTSYS (Rohlf, 2009) se utilizó el método de ligamiento promedio (UPGMA) para determinar la similitud entre las accesiones de papayo. Para ello se efectuó un análisis de conglomerados a partir de los datos normalizados con media 0 (cero) y varianza 1 y las distancias euclidianas como coeficiente de similitud; con esto se obtuvo una agrupación jerárquica de las accesiones evaluadas.

## 1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.3.1. Diversidad en características morfológicas cuantitativas

Se detectó una variación morfológica amplia en las accesiones evaluadas (Cuadro 6), tanto de plantas femeninas como hermafroditas. En ambas se obtuvo un coeficiente de variación con intervalo amplio (23.1 a 82.9%) para las variables altura a la primera flor, longitud del entrenudo medio, número de nudos, número de flores y longitud del eje de la inflorescencia, longitud del pedúnculo, longitud y diámetro del fruto, color del fruto (a\*) y grosor de pulpa. Lo anterior indica que estas características presentan una variabilidad alta en las accesiones (Cuadro 6). Al respecto, Hidalgo (2003) menciona que características con coeficientes de variación menor a 20% indican poca variabilidad, no obstante el grado de variación de una característica no indica necesariamente la magnitud de su utilidad en programas de mejoramiento, ya que esto depende de los fines, propósitos y usos a la especie. Recientemente, Ramos *et al.* (2012) reportan que de un total de 15 características evaluadas en 32 progenies de papayo de plantas hermafroditas, los coeficientes de variación (CV) fueron de 4 a 23% en el 86.7% de esas características. Por el contrario, la variable producción mostró el CV más alto con 34.3%, lo que sugiere que dicha variable está influenciada altamente por el ambiente. Singh y Kumar (2010) observaron valores altos en los CV fenotípica en las características de crecimiento y rendimiento, en comparación con el CV genotípico que fue más bajo. Esto indica un grado alto de influencia ambiental en estas variables. En el presente trabajo no se evaluó este tipo de variables, precisamente por su influencia y variación alta por el ambiente.

La reducción de la altura de inserción de la primera flor, es importante económicamente porque incrementa el tiempo de la cosecha, que unido a una fructificación precoz y plantas vigorosas,

resultan características de interés dentro de los programas de mejoramiento genético (Marin *et al.*, 2006). En plantas femeninas, la altura a la aparición de la primera flor fluctuó entre 49.0 y 140.0 cm. La accesión 16F emitió la primera flor a una menor altura de 49.0 cm en contraste con la 8F que mostró un valor superior a los 140.0 cm. En plantas hermafroditas, la 17Hf emitió la primera flor a 38.0 cm respecto a la accesión 8 con el valor más alto de 146 cm (Cuadro 6). En variedades comerciales es recomendable que la primera flor se emita a menor altura posible, ya que facilita la cosecha de frutos y disminuyen los costos de la mano de obra (Alonso *et al.*, 2008c). Esto es ventajoso en las primeras cosechas, ya que la fructificación, desarrollo y maduración inicia de abajo hacia arriba (Morin, 1967). En las plantas hermafroditas, el número de nudos desde el suelo a la primera flor presentó el CV de 32.4% en contraste con las femeninas que fue de 21.3%. En las hermafroditas varió de 17 a 47 nudos; estos resultados son similares a los encontrados por Lim y Siti (2007), que reportaron valores entre 18.0 y 49.0 nudos en 52 accesiones de papayo en Malasia. En el presente trabajo, las accesiones 8F y 17Hf manifestaron la mayor longitud de entrenudo con valores de 11.0 y 10.0 cm, respectivamente; dichos valores son inferiores al valor máximo de 14 cm que reportan Asudi *et al.* (2010) en germoplasma de papayo en Kenya. Respecto al número de flores por inflorescencia, se encontró que las plantas hermafroditas manifestaron un CV de 67.4%, que fue superior a las femeninas, siendo de 44.7%. Las accesiones 19F y 5Hf presentaron la mayor longitud de eje de la inflorescencia al presentar valores de 9.0 y 20.0 cm, respectivamente; estos valores son muy altos al compararlos con el valor promedio inferior a 5.5 cm en el cultivar ‘*Wonder blight*’ de plantas femeninas, así como el obtenido en ocho variedades triploides regeneradas a partir de anteras (Karambu *et al.*, 2007). La longitud del pedúnculo del fruto osciló entre 5.2 y 47.9 cm en plantas hermafroditas, mientras que en femeninas fue de 2.9 a 13.2 cm. El valor máximo (47.9 cm) en hermafroditas lo manifestó la 15Hf y en las femeninas la 13F (13.2 cm). Estos valores contrastan con lo reportado por

Dantas *et al.* (2000) en las accesiones de la variedad ‘Solo’ de 2.3 a 6.6 cm. En la longitud y diámetro del fruto, se encontró una variación amplia tanto en plantas femeninas como en hermafroditas, lo que refleja la variación en estas características, con fines diversos desde la conserva, que es uno de los usos señalados para las accesiones 2 y 16 provenientes de Veracruz, hasta consumo en fresco, que es el destino del resto de las accesiones. La relación longitud/diámetro, proporciona información sobre la forma del fruto, característica importante en la comercialización. En general, las plantas femeninas presentaron frutos de forma elíptica, con un valor promedio de 2.0, en tanto que, las hermafroditas presentaron frutos elongados con un valor promedio de 2.5 (Cuadro 6). Al respecto, investigaciones señalan que plantas con flores hermafroditas producen frutos de forma elongada o piriforme y que estos frutos mayormente se comercializan en el mercado, en contraste con los frutos esféricos de plantas femeninas (Urasaki *et al.*, 2002; Chutteang *et al.*, 2007; Alonso *et al.*, 2008a; Alonso *et al.*, 2009).

Los valores promedios del color de la cáscara (luminosidad,  $a^*$  y  $b^*$ ) en frutos de plantas femeninas fueron de 58.8, 6.5 y 62.8 y en hermafroditas de 55.7, 9.5 y 58.6. Estos resultados fueron similares a los reportados por Santamaría *et al.* (2009), en frutos de la variedad maradol provenientes de Techoh, Ucú y Sucilá, Yucatán. Asimismo, en el presente estudio, los frutos de las plantas femeninas son similares con los valores reportados por Oliveira *et al.* (2002) de 64.2 L-Hunter y 6.2 a-Hunter, pero contrastan con el valor b-Hunter de 32.2, en el estado de madurez cinco de papayas ‘Golden’. Esto indica, de manera general que el germoplasma evaluado tiene esta característica atractiva que muestra la papaya maradol, la cual es de interés por los consumidores. La pulpa es la parte comestible; el grosor de ésta es una característica a considerar en estudios de selección. Para esta variable se encontró que las accesiones 16F y 6Hf presentaron valores más bajos (0.7 y 1.4 cm), en contraste con las 15F y 15 Hf que alcanzaron valores

superiores a los 4.0 cm. Este valor, fue superior a aquellos de 1.2 a 2.5 cm en cuatro cultivares del grupo ‘Solo’ obtenidos por Alonso *et al.* (2008b) y a los reportados por Ramos *et al.* (2012), que variaron entre 1.8 y 2.9 cm en 32 progenies de papayo. Existieron diferencias en el grosor de la cáscara en la poscosecha. Aun cuando esta variable no se considera en evaluaciones de frutos de papayo (Mora y Bogantes, 2004; Karambu *et al.*, 2007; Asudi *et al.*, 2010), ésta se debe estudiar para la tecnología de empaque (Gaona-García *et al.*, 2008). En las accesiones estudiadas el grosor de la cáscara osciló entre 0.6 y 1.9 mm, correspondiendo a las accesiones 16F y 14F, respectivamente. En frutos de plantas femeninas, la firmeza de la pulpa fluctuó entre 13.4 (16F) y 58.5 (11F) Newtons, mientras que en hermafroditas varió de 14.0 (17Hf) a 56.4 (20Hf) Newtons (Cuadro 6). La firmeza es un parámetro de calidad que indica el estado de madurez o punto de cosecha del fruto y que influye en la comercialización y vida de anaquel. Los frutos de las accesiones 11F y 20Hf mostraron pulpa de firmeza dura que los hace más resistentes al manejo durante la cosecha, transporte y almacenamiento (Fagundes y Yamanishi, 2001). El análisis de correlación de Pearson reveló diferencias significativas (Tukey  $P < 0.05$ ) entre el grosor de la cáscara y la firmeza; sin embargo, ambas variables mostraron una correlación positiva baja (0.36) (datos no mostrados), debido, probablemente a la heterogeneidad de frutos. Al respecto, Ramos *et al.* (2012) encontraron en plantas hermafroditas valores entre 53.4 y 97.91 Newtons y Santamaría *et al.* (2009) reportan valores inferiores a 7.7 Newtons en frutos de maradol en la madurez de consumo. Los frutos de las accesiones de plantas femeninas presentaron grados de dulzura de 6.3 a 18.1 °Brix. Aquellos de plantas hermafroditas varió de 6.5 a 14.8 °Brix. En este sentido, las accesiones 16F y 6Hf mostraron mayor contenido de sólidos solubles totales (SST) de 18.1 y 14.8 °Brix, respectivamente. Estos últimos valores de SST, son superiores en relación a otros reportados por Mora y Bogantes (2004); Alonso *et al.* (2008b); Alcántara *et al.* (2010) y Ramos *et al.* (2012). En relación al tejido placentario, las accesiones 5F y 6Hf presentaron menor

placenta en comparación con las 15F y 7Hf que alcanzaron la mayor masa en fresco de 49.5 a 93.3 g. Esto es importante ya que a menor placenta se facilita el consumo del fruto en fresco. El diámetro de cavidad central se correlacionó con el grosor de pulpa, encontrando un valor positivo alto de 0.77 (datos no mostrados). El número de semillas del fruto de las accesiones hermafroditas varió de 43.0 a 629.0, alcanzando el valor más alto la accesión 17Hf (Cuadro 6). Al respecto, Martins *et al.* (2005) encontraron un resultado similar en el híbrido ‘Tainung 01’ con 613 semillas por fruto, provenientes de plantas hermafoditas.

**Cuadro 6. Media, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV) e intervalo de variación de 25 características morfológicas en 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.**

Clasificación del órgano	Característica cuantitativa	Plantas femeninas (F)			Plantas hermafroditas (Hf)		
		Media±DE	CV (%)	Intervalo <sup>a</sup>	Media±DE	CV (%)	Intervalo <sup>a</sup>
Planta	Altura a la primera flor (cm)	90.5±23	25.5	49 (16)-140 (8)	74.1±32.8	44.2	38 (17)-146 (8)
Tallo	Número de nudos desde el suelo a la primera flor	32.2±6.8	21.3	18-48	29.4±9.5	32.4	17 (20)-47 (17)
	Longitud del entrenudo medio (cm)	6.5±1.5	23.1	3.5 (2 y5)-11 (8)	6.2±1.7	28.4	3.5 (20)-10 (17)
	Diámetro del tallo (mm)	109.6±23.8	21.7	54.5-181	107.8±12.2	11.4	91.2-139
Peciolo	Longitud de peciolo (cm)	84.7±14.6	17.3	50-116	87.3±10.2	11.7	75.5-115.3
Hoja	Longitud de la hoja (cm)	47.7±8.5	17.9	24.7-66.2	47.5±3.9	8.2	40-55
	Ancho de la hoja (cm)	71.6±11.2	15.6	44-96.5	71.9±5.8	8	60.1-81.6
	Relación longitud/ancho de hoja	0.7±0.1	9.7	0.4-0.9	0.7±0.04	7.1	0.6-0.8
Flor	Longitud de la corola (cm)	3.6±0.8	22.2	1.9-5.9	3.9±0.5	13.3	3.1-4.8
Inflorescencia	Número de flores	3.9±1.8	44.7	1.0 (18)-9.5 (16)	9.0±6.1	67.4	3.5 (17)-25 (5)
	Longitud del eje de la inflorescencia (cm)	2.9±1.9	65.1	0.3 (14)-9 (19)	8.2±6.3	77	1.7 (6)-20 (5)
Fruto	Longitud del pedúnculo (cm)	6.7±2.7	40.6	2.9 (16)-13.2 (13)	14.9±11.2	75.4	5.2 (6)-47.9 (15)
	Longitud del fruto (cm)	20.3±7.6	37.6	6.3 (16)-42 (15)	26.6±6.1	23	15.4 (6)-40.2 (15)
	Diámetro del fruto (cm)	10.4±3.8	36.4	4.0 (16)-20.9 (15)	11.0±3.1	28.4	5.2 (6)-17.5 (7)
	Relación longitud/ diámetro	2.0±0.4	22.9	1.5 -4.8	2.5±0.4	15.5	1.9 -3.4
	Color externo L* <sup>b</sup>	58.8±6.6	11.2	44.4-74.5	55.7±5.2	9.4	46.1-62.2
	Color externo a* <sup>b</sup>	6.5±5.4	82.9	-6.6 (14)-20.1 (2)	9.5±5.9	62.2	-5.8 (8)-19.3 (17)
	Color externo b* <sup>b</sup>	62.8±8.8	14	41.2-81.6	58.6±9.4	16.1	37.7-77
	Grosor de la pulpa (cm)	2.2±0.8	38.8	0.7 (16)-4.5 (15)	2.7±0.7	25.7	1.4 (6)-4.2 (15)
	Grosor de la piel (mm)	1.0±0.2	24.4	0.6 (16)-1.9 (14)	1.1±0.2	18.2	0.7-1.4
	Firmeza (N)	36.1±11.9	32.9	13.4 (16)-58.5 (11)	37.5±11.3	30.2	14.0 (17)-56.4 (20)
Contenido de sólidos solubles totales (°Brix)	10.1±2.6	25.4	6.3- (15)18.1 (16)	9±2.3	25.2	6.5 (20)-14.8 (6)	
Tejido placentario (g)	17.4±8.6	49.8	2.3 (5)-49.5 (15)	28.9±21.2	73.5	6.6 (6)-93.3 (7)	
Diámetro de cavidad central (cm)	6.5±2.2	33.7	1.8 (5)-12.3 (15)	6.1±2.2	36.5	3.6 (6)-11.8 (7)	
Cantidad de semilla	303±2.2	58.2	6 (1)-947 (13)	249±174	69.9	43 (20)-629 (17)	

<sup>a</sup>Entre paréntesis se indican las accesiones que tuvieron el valor mínimo o máximo, <sup>b</sup>Corresponde a los valores CIELAB (McGuire, 1992).

En base al análisis de correlaciones mediante el gráfico de Gabriel, se seleccionaron 20 de las 25 características cuantitativas morfológicas evaluadas. Las variables correlacionadas fueron grosor de la cáscara del fruto (0.54), firmeza de la pulpa (0.59) y tejido placentario (0.72). Asimismo, se discriminaron la longitud del peciolo (0.07) y ancho de la hoja (-0.03), las cuales no aportaron a la explicación de la variabilidad. En otros frutales, Castro *et al.* (2012) mediante dos métodos de selección, discriminaron cuatro de 20 características cuantitativas estudiadas, las cuales fueron grosor de la cáscara, sólidos solubles totales, ancho de la hoja y longitud de la bráctea de la flor. Los mismos autores mencionan la importancia de eliminar aquellas características correlacionadas con otras, aun cuando sean de interés en programas de mejoramiento. Esto es confirmado por Oliveira *et al.* (2012), ya que en papayo eliminaron características importantes del fruto como grosor de la cáscara, firmeza, masa del fruto, pH, sólidos solubles totales y relación sólidos solubles totales/acidez titulable, entre otras relacionadas con planta, hoja y semilla, ya que no contribuyeron de manera significativa a la variación total y poseían correlación alta entre sí.

Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron el 62.33% de la variación total observada en las accesiones de *C. papaya*; el primer componente explicó el 29.37%, el segundo 18.57% y el tercero 14.39%. De acuerdo a los coeficientes de determinación y vectores característicos, las variables con mayor contribución a la determinación del CP1 fueron: longitud del fruto, grosor de pulpa, sólidos solubles totales, diámetro del fruto, diámetro de cavidad central y longitud del pedúnculo de fruto. En el CP2 las variables de mayor contribución a la varianza explicada fueron: altura a la primera flor, color del fruto ( $a^*$  y luminosidad) y número de nudos desde el suelo a la primera flor (Cuadro 7); mientras que las variables número de flores por

inflorescencia, longitud del eje de la inflorescencia y longitud de la hoja contribuyeron para el CP3.

**Cuadro 7. Vectores característicos de 20 características cuantitativas y coeficientes de determinación para cada característica morfológica, respecto a su componente principal en 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.**

Características	Vectores característicos		Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Altura a la primera flor	0.0813	-0.4419	0.0389	0.7250
Longitud del entrenudo medio	0.0548	-0.2727	0.0176	0.2763
Diámetro de tallo de la planta	-0.1797	-0.2377	0.1897	0.2098
Longitud de la hoja	0.0592	-0.1379	0.0205	0.0707
Longitud de la corola	0.2534	-0.2110	0.3774	0.1653
Relación longitud/ancho de hoja	-0.0601	-0.2088	0.0212	0.1619
Longitud del pedúnculo de fruto	0.2755	0.1227	0.4460	0.0559
Longitud del fruto	0.3750	0.1456	0.8263	0.0787
Diámetro del fruto	0.3518	0.0569	0.7272	0.0120
Relación longitud/diámetro de fruto	0.1130	0.1363	0.0750	0.0690
Color externo del fruto L* <sup>a</sup>	-0.2227	0.2751	0.2914	0.2810
Color externo del fruto a* <sup>a</sup>	-0.1419	0.4312	0.1184	0.6905
Color externo del fruto b* <sup>a</sup>	-0.1657	0.2433	0.1613	0.2199
Grosor de la pulpa	0.3712	0.1533	0.8096	0.0873
Contenido de sólidos solubles totales	-0.3528	0.0224	0.7312	0.0018
Diámetro de cavidad central	0.3029	-0.0172	0.5390	0.0011
Cantidad de semillas	0.1359	-0.0148	0.1085	0.0008
Número de flores por inflorescencia	0.1094	0.1513	0.0704	0.0849
Longitud del eje de la inflorescencia	0.2239	0.2287	0.2945	0.1844
Número de nudos desde el suelo a la primera flor	0.0401	-0.3007	0.0094	0.3359

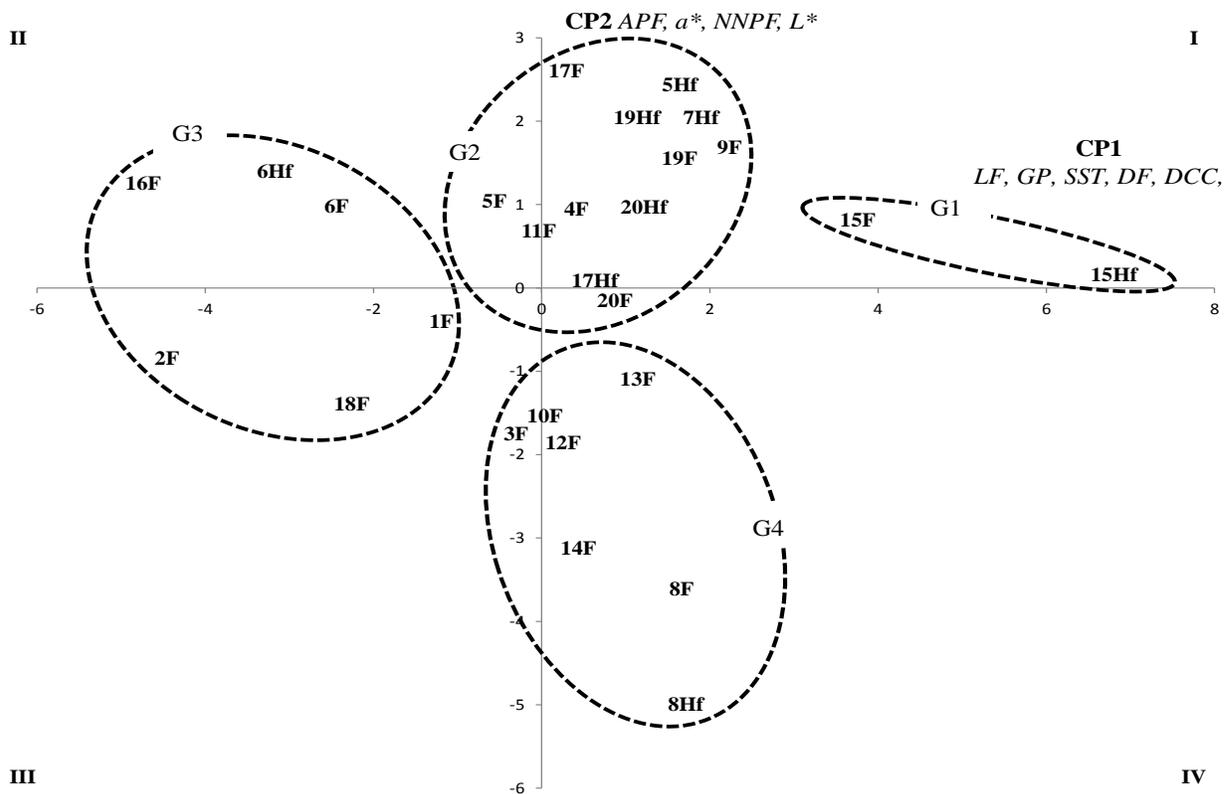
<sup>a</sup>Corresponde a los valores CIELAB (McGuire, 1992).

Asudi *et al.* (2010) al caracterizar plantas femeninas y hermafroditas, encontraron que los cuatro componentes principales explicaron el 51.19% de la variación total. El primero estuvo relacionado con la longitud y diámetro del fruto, tipo de hábito del árbol, longitud del peciolo, color de la flor y tamaño de la hoja; el segundo por la forma del fruto, textura de la cáscara del fruto, longitud de la flor y tipo de sexo. Oliveira *et al.* (2012) reportaron que los tres primeros CP explicaron el 67.10% de la variabilidad total observada en plantas hermafroditas, donde el CP1 incluyó las variables altura de la planta a los ocho meses de edad, masa de semilla seca y fresca,

relación sólidos solubles totales/acidez titulable y en el CP2 la longitud del fruto, relación longitud/diámetro del fruto y grosor de la cáscara del fruto. En otro estudio, Castellen *et al.* (2007) encontraron que de un total de ocho características morfológicas, sólo la longitud y ancho de la hoja, y la longitud de pedúnculo del fruto contribuyeron a la variabilidad morfológica total del papayo. Lo anterior, lo fundamentan Cavidad *et al.* (2002), al indicar que las características reproductivas y de fruto son sujeto de selección antropogénica dirigida, donde las preferencias varían por atributos de esta índole entre comunidades locales. Asociado a esto, están los factores diversos que influyen en la generación de la diversidad como es el conocimiento tradicional, la satisfacción de necesidades características de cada región, localidad y cultura. Además de estos factores, están otros como el intercambio de semilla entre productores, que en acción conjunta conservan en constante dinámica el germoplasma (Carrasco *et al.*, 2009); además de la manipulación humana a través de cientos de años (Brush, 2000).

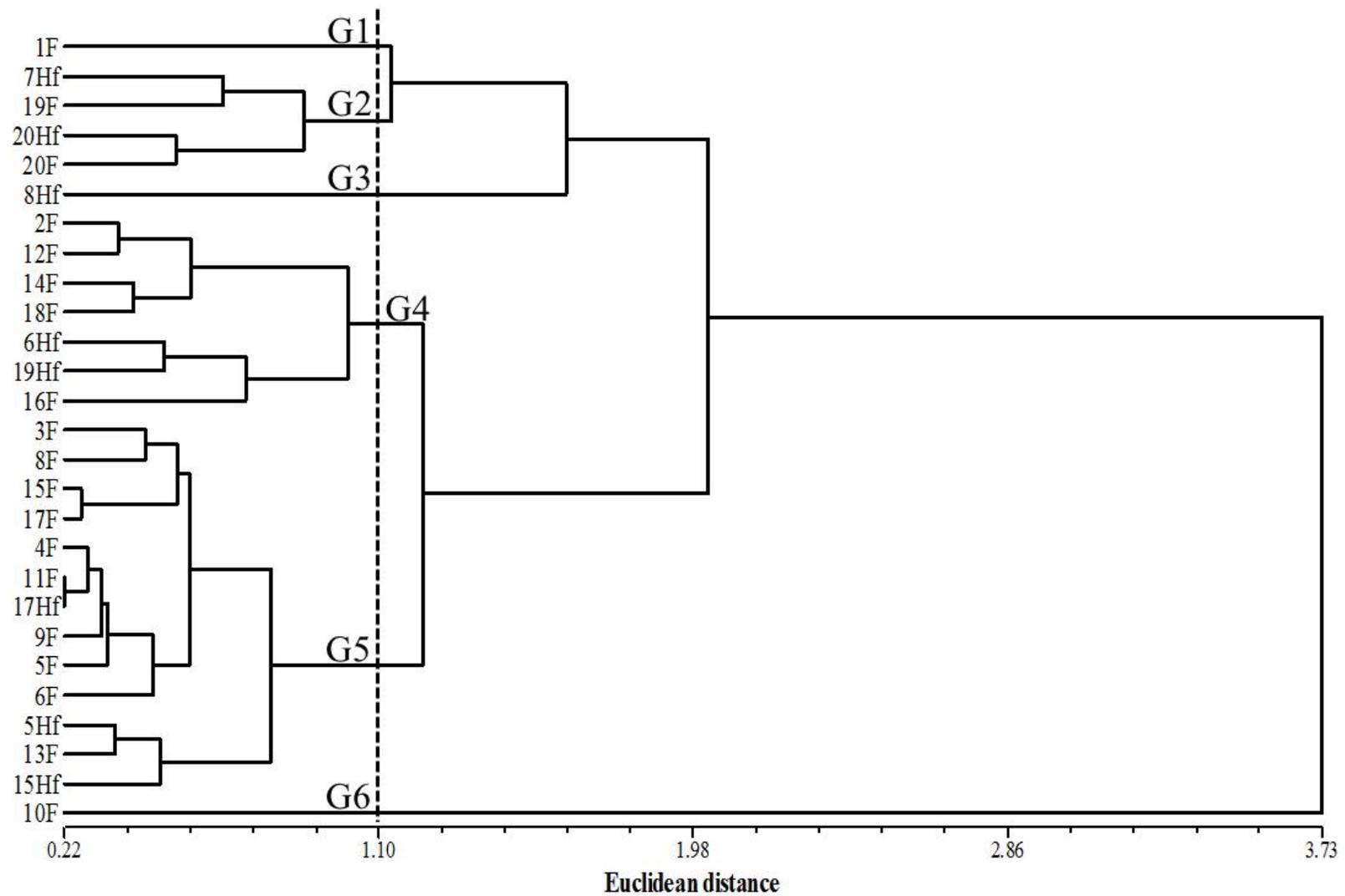
Considerando los dos primeros componentes, se observó la dispersión de la variación morfológica en los dos sexos del papayo de las diferentes accesiones evaluadas y se formaron cuatro grupos, los cuales se distribuyeron en todos los cuadrantes (Figura 3). El Grupo 1 quedó integrado por la accesión 15F y 15Hf de Veracruz y se distinguió por presentar mayor diámetro y longitud de fruto, longitud del pedúnculo de fruto, grosor de la pulpa y diámetro de cavidad central, pero menor contenido de SST y color de fruto (a\*). En el Grupo 2, se ubicaron algunas accesiones de Veracruz (20F, 20Hf, 19F, 19HF, 17F, 17HF y 7HF); de Baja California Sur (11F, 5F, 5Hf, 4F) y la de Campeche (9F). Este grupo presentó frutos de tamaño intermedio, y con valores menores en altura a la primera flor, contenido de SST y número de nudos desde el cuello de la planta (nudo vital) a la primera flor. Algunas accesiones de Veracruz (18F, 16F, 6F, 6Hf y 2F) y una de Baja California Sur (1F) conformaron el Grupo 3 que se caracterizó por presentar

frutos de tamaño pequeño, con menor longitud de pedúnculo, grosor de pulpa y diámetro de cavidad central del fruto, menor número de nudos desde el suelo a la primera flor, con mayor contenido de SST y color del fruto ( $a^*$  y luminosidad). Finalmente, el Grupo 4 lo conformaron accesiones de Baja California Sur (14F, 12F, 13F, 10F, 8F, 3F y 8Hf) que presentaron frutos de tamaño intermedio, valores menores en la longitud del pedúnculo, grosor de la pulpa y color ( $a^*$  y luminosidad) del fruto; además de tener valor mayor en la altura a la primera flor y en el número de nudos desde el suelo a la primera flor (Figura 3).



**Figura 3. Diagrama de dispersión de 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México, en relación al sexo de plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf). LF longitud del fruto, GP grosor de la pulpa, SST contenido de sólidos solubles totales, DF diámetro del fruto, DCC diámetro de cavidad central, LPF longitud del pedúnculo de fruto, APF altura a la primera flor, color del fruto ( $a^*$  y  $L$ = luminosidad) y NNPF número de nudos desde el suelo a la primera flor.**

En el análisis de conglomerados, con un coeficiente de distancia Euclidiana de 1.10 se definieron seis grupos con características diferentes (Figura 4).



**Figura 4. Dendrograma de 20 accesiones de *C. papaya* de Baja California Sur, Campeche y Veracruz, con base en 20 características cuantitativas.**

El Grupo 1 integrado por la accesión 1F de Baja California Sur, se caracterizó por presentar una longitud y diámetro de fruto de 18.7 y 10.8 cm, con un grosor de pulpa de 2.3 cm, un contenido de SST de 10.4 °Brix, y altura a la primera flor de 106.7 cm. También mostró una luminosidad alta de 60.5 en la cáscara del fruto. El Grupo 2 formado por las accesiones 20F, 20Hf, 19F y 7Hf de Veracruz, que se distinguió por tener en promedio frutos de 26.65 cm de longitud y 11.78 cm de diámetro, grosor de pulpa de 2.93 cm y menor contenido de SST de 7.83 °Brix, con una altura a la inserción a la primera flor promedio inferior de 65.75 cm y 27.0 nudos desde el suelo a la primera flor (Cuadro 8). En el Grupo 3 se ubicó la accesión 8Hf de Baja California Sur, que presentó frutos de 18.70 cm de longitud y 10.10 cm de diámetro, contenido de SST de 8.70 °Brix, grosor de pulpa de 1.80 cm, color de fruto (valor  $a^*$ = -5.8 y luminosidad= 46.7), y con valores a la inserción a la primera flor superiores a 146 cm. El Grupo 4 formado por las accesiones 19Hf, 18F, 16F, 6Hf y 2F de Veracruz; 14F y 12F de Baja California Sur, sobresalió por presentar valores menores en grosor de pulpa, diámetro del fruto, diámetro de cavidad central y longitud de pedúnculo del fruto (1.73, 7.70, 4.86 y 5.70 cm), altura a la primera flor de 82.39 cm; y alto contenido de SST (11.71°Brix) (Cuadro 8). El Grupo 5 presentó mayor cantidad de accesiones en cuanto a su origen, en contraste con el resto de los grupos. Este grupo se formó por las accesiones 13F, 11F, 8F, 5F, 5Hf, 4F y 3F de Baja California Sur; las 17Hf, 17F, 15F, 15Hf y 6F de Veracruz y la 9F de Campeche. Este grupo se destacó por tener valores promedio mayores de longitud y diámetro del fruto con 25.49 y 11.75cm, respectivamente y valores promedio en el diámetro de cavidad central de 6.89 cm y longitud del pedúnculo de fruto de 12.64 cm, contenido de SST de 9.18 °Brix y grosor de pulpa de 2.68 cm. La accesión 10F de Baja California Sur correspondió al sexto grupo y mostró frutos de 18.6 y 10.6 cm de longitud y diámetro, con un grosor de pulpa de 2.2 cm, contenido de SST de 8.7 °Brix, diámetro de cavidad central de 6.5 cm,

altura a la primera flor de 94.30 cm y mayor número de nudos desde el suelo a la primera flor de 37.20 (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Valores promedio de seis grupos obtenidos con el análisis de conglomerados, para las características morfológicas evaluadas en 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.**

Grupo	LF (cm)	GP (cm)	SST (°Brix)	DF (cm)	DCC (cm)	LPF (cm)	APF (cm)	a*	L*	NNPF
1	18.7	2.3	10.4	10.8	6.4	5.9	106.7	7.1	60.5	32.6
2	26.6	2.9	7.8	11.8	6.7	11.9	65.7	9.1	54.5	27.4
3	18.7	1.8	8.7	10.1	6.4	7.0	146.0	-5.8	46.7	32.0
4	16.3	1.7	11.7	7.7	4.9	5.7	82.4	7.8	59.0	31.5
5	25.5	2.7	9.2	11.7	6.9	12.6	87.9	7.2	57.4	31.1
6	18.6	2.2	8.7	10.6	6.5	4.8	94.3	1.4	56.0	37.2

LF, longitud del fruto; GP, grosor de la pulpa; SST, contenido de sólidos solubles totales; DF, diámetro del fruto; DCC, diámetro de cavidad central; LPF, longitud del pedúnculo del fruto; color externo del fruto (a\* y L= luminosidad) y NNPF, número de nudos desde el suelo a la primera flor.

La diversidad morfológica cuantitativa registrada en este estudio, se compara con la diversidad amplia encontrada en el germoplasma de papayo en Kenia, a pesar de no ser centro de origen para esta planta (Asudi *et al.*, 2010), coincidiendo básicamente en el tamaño y forma del fruto. También, Ocampo *et al.* (2006) reportaron variabilidad amplia en la forma de hoja, tamaño, forma y color de fruto en accesiones de papayo en Venezuela. Singh *et al.* (2010) reportaron que la variabilidad morfológica dentro y entre grupos de accesiones de papayo está asociada con la polinización cruzada y la recombinación sexual, seguida por una selección intensiva de individuos. Además, por ser un cultivo de polinización cruzada y de propagación sexual, el hábito de floración y fructificación varía, dando como resultado una variación amplia en forma, tamaño, calidad, sabor y color de fruto (Singh y Kumar, 2010).

### 1.3.2. Diversidad en características morfológicas cualitativas

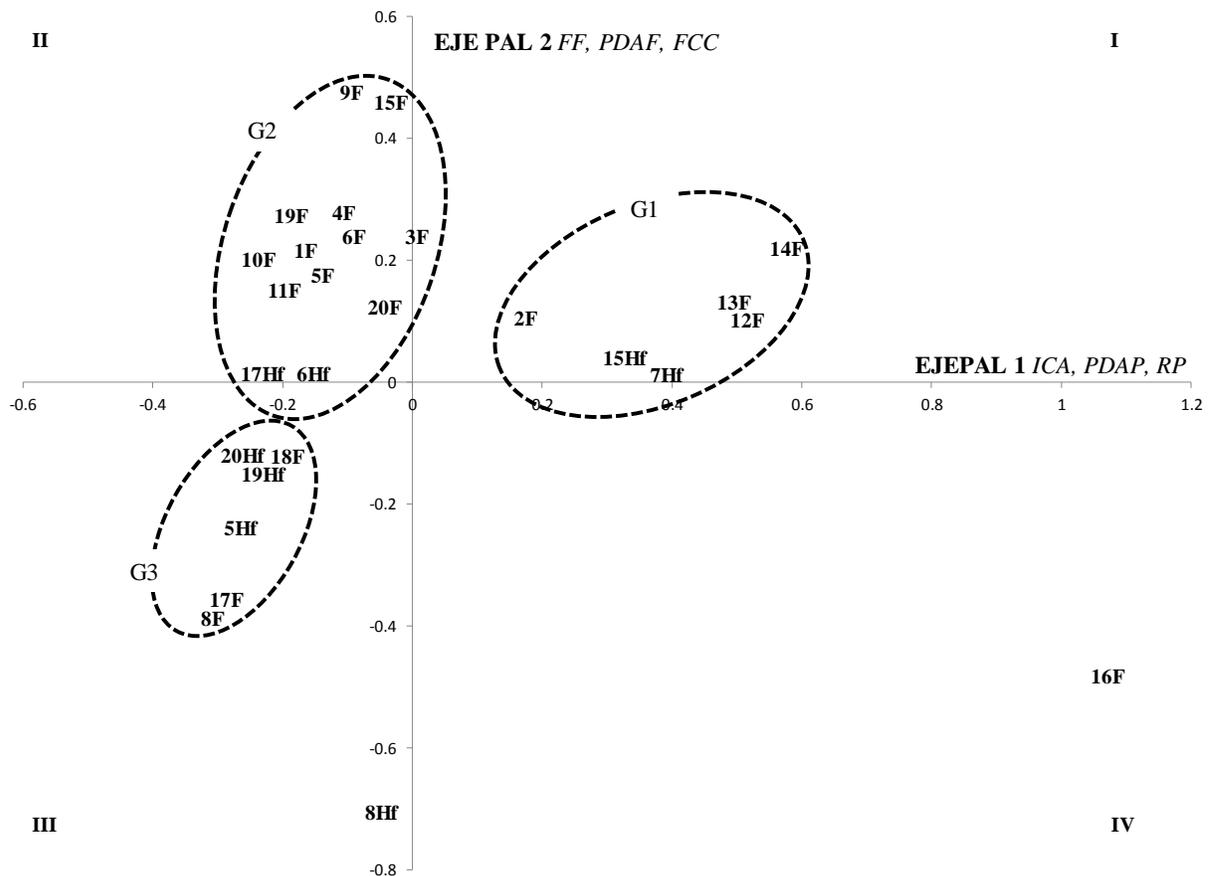
El análisis de correspondencia de las accesiones de *C. papaya*, se analizó con base a una matriz de modas con 13 variables cualitativas relacionadas con la planta, tallo, peciolo, hoja, flor, inflorescencia y fruto (UPOV, 2008). El análisis de moda reveló que las plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf) de las accesiones estudiadas no presentaron serosidad ni pubescencia en el envés de la hoja; mientras que sí mostraron hojas trilobuladas. Es decir, no existió variación en estas características pero sí en otras de interés económico como la forma, textura y olor (Pérez y Martínez-Laborde, 1994). Lo anterior, coincide con ocho accesiones del híbrido ‘Formosa’ y cinco accesiones del grupo ‘Solo’, que no mostraron variación en serosidad y pubescencia en la hoja (Dantas *et al.*, 2000). Asimismo, Castellen *et al.* (2007) mediante componentes principales, demostraron que las variables serosidad y pubescencia en la hoja no contribuyeron a la explicación de la variabilidad morfológica del papayo.

Los cuatro primeros ejes principales del análisis de correspondencia explicaron el 86.53% de la variación total, con valores singulares de  $\lambda_1= 37.48\%$ ,  $\lambda_2= 26.86\%$ ,  $\lambda_3= 15.50\%$  y  $\lambda_4= 6.69\%$  para el primero, segundo, tercero y cuarto eje, respectivamente (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Valores singulares, inercias principales, Chi-cuadrada y porcentajes individual de los ejes principales obtenidos con el análisis de correspondencia en 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.**

Eje principal	Valor singular	Inercia principal	Chi- cuadrada	Porcentaje individual
$\lambda_1$	0.3363	0.1131	117.62	37.48
$\lambda_2$	0.2847	0.0810	84.30	26.86
$\lambda_3$	0.2162	0.0467	48.63	15.50
$\lambda_4$	0.1420	0.0201	20.98	6.69

La dispersión de las 20 accesiones de *C. papaya* sobre el plano determinado por los dos ejes principales, muestra una clara separación de las accesiones del papayo en tres grupos distribuidos en los cuadrantes I, II y III (Figura 5).



**Figura 5. Distribución espacial de 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México. ICA intensidad de coloración de antocianinas, PDAP antocianinas en el peciolo, RP ramificación de la planta, FF forma de fruto, PDAF prominencia de aristas en el fruto, FCC forma de la cavidad central.**

En el Grupo 1 se ubicaron las accesiones 14F, 13F y 12F de Baja California Sur; las 15Hf, 7Hf y 2F de Veracruz, con forma de fruto oblonga-elipsoide, peciolo con antocianinas ligeras, plantas sin ramificación y con una cavidad en forma de estrella. El Grupo 2 concentró las accesiones 20F, 19F, 15F, 6F, 17Hf y 6Hf de Veracruz; 9F de Campeche; 11F, 10F, 5F, 4F, 3F y 1F de Baja California Sur, las cuales se caracterizaron por presentar frutos con cavidad en forma de estrella,

plantas sin ramificación, frutos de forma elíptica, ausencia de antocianinas en peciolo y con aristas fuertemente pronunciadas (Figura 5). Este grupo, en su mayoría concentró accesiones femeninas con fruto en forma elíptica que tiene valor comercial, aparte de la elongada (Alonso *et al.*, 2008b). Las accesiones 20Hf, 19Hf, 18F y 17F de Veracruz; 8F y 5Hf de Baja California Sur integraron el tercer grupo. Dichas accesiones presentaron cavidad en forma de estrella, ausencia de antocianinas en peciolo, plantas sin ramificación, y se diferenciaron de las del segundo grupo por presentar frutos de forma elongada con aristas ligeramente pronunciadas. Finalmente, las accesiones 16F de Veracruz y 8Hf de Baja California Sur se ubicaron fuera de los tres grupos debido a la ramificación de su tallo (Figura 5). Morín (1967), menciona que regularmente, la ramificación ha sido consecuencia de una anomalía o por un agente biótico o abiótico (insectos, enfermedades, fríos, etc.) que eliminan el brote terminal de la planta. La ramificación presentada en estas accesiones, se asume, que no fue causada por estos fenómenos, debido que la 8Hf emitió la ramificación desde la base del cuello de la planta y 16F por arriba de esta parte. La accesión 16F presentó peciolo con antocianinas moderadas, fruto oval y cavidad central redonda, en contraste con la 8Hf que presentó fruto de forma oval-aperada y cavidad angular. La forma de fruto presentada por esta accesión es confirmada por Sánchez-Betancourt y Nuñez (2008), quienes mencionan que plantas femeninas producen frutos en forma globular y las hermafroditas en forma elongada.

La agrupación de las accesiones de papayo con el método UPGMA con base a un coeficiente de distancia euclidiana de 2.44, permitió formar cinco grupos los cuales se muestran en la Figura 6.

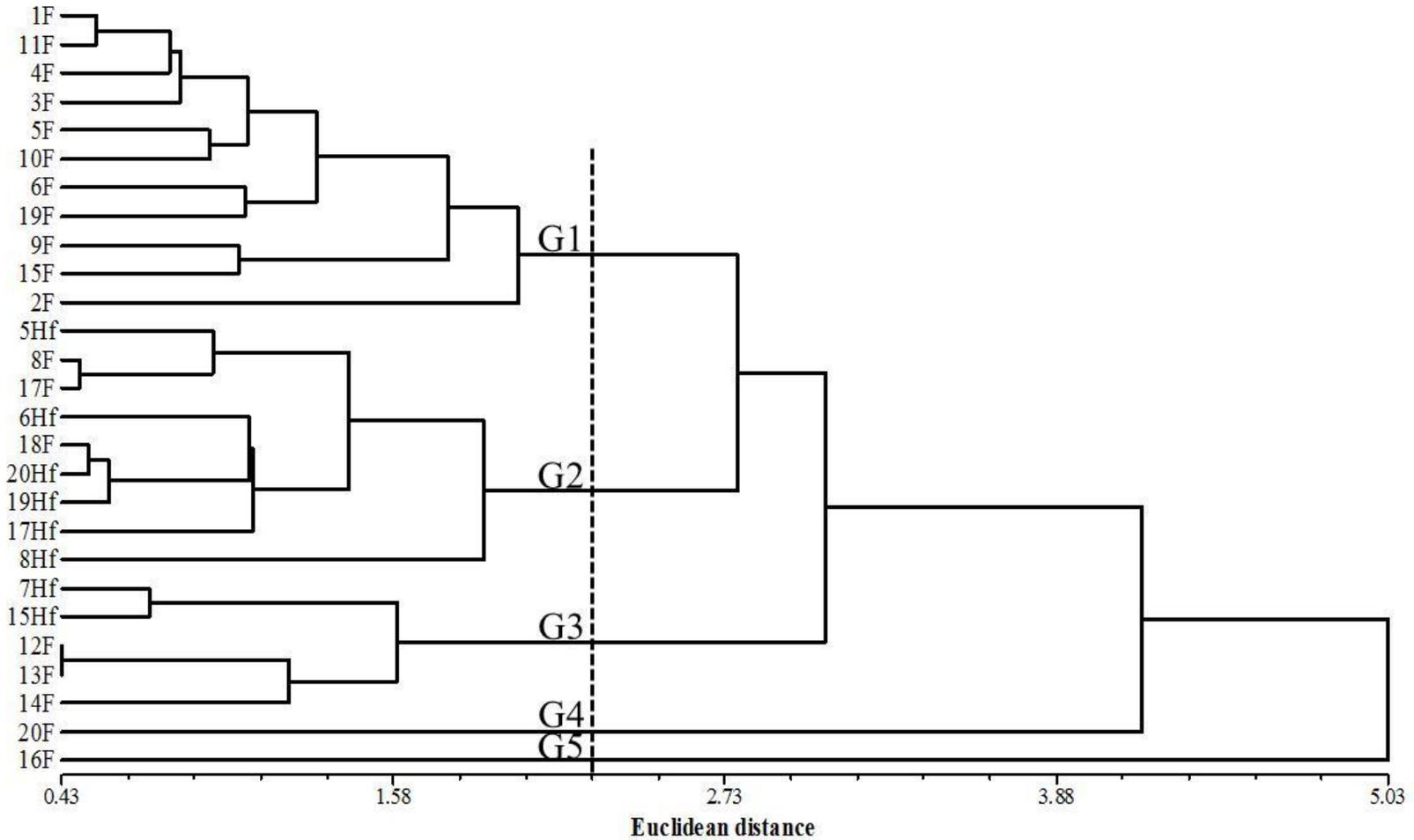


Figura 6. Agrupamiento de 20 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México, con base en 13 características cualitativas.

El Grupo 1 integró las accesiones 19F, 15F, 6F y 2F de Veracruz; 11F, 10F, 5F, 4F, 3F y 1F de Baja California Sur y la 9F de Campeche. El Grupo 2 estuvo formado por las accesiones 8Hf, 5Hf y 8F de Baja California Sur; las 20Hf, 19Hf, 17Hf, 6Hf; 18F y 17F de Veracruz. Estos dos grupos mostraron ausencia de antocianinas en peciolo, tallo verde con pigmentación marrón, eje de la inflorescencia verde, presencia de aristas en fruto, pulpa con un aroma fuerte, cavidad tipo estrella y corola blanca; ambos grupos se distinguieron por tener diferentes forma de fruto (elíptica y elongada, respectivamente). En el Grupo 3, se concentraron las 15Hf y 7Hf de Veracruz y las 14F, 13F y 12F de Baja California Sur que presentaron tallo verde con pigmentación marrón, peciolo sin antocianinas, eje de la inflorescencia verde, fruto en forma elongada, pulpa con un aroma fuerte, cavidad tipo estrella y corola blanca (Figura 6). Los Grupos 4 y 5 se caracterizaron por formar una sola accesión (20F y 16F, respectivamente) procedentes de Veracruz. Ambos grupos mostraron tallo verde con pigmentación púrpura, aristas ligeramente pronunciadas, y eje de la inflorescencia verde. El primero se distinguió por presentar pulpa con aroma fuerte, fruto de forma elíptica, cavidad estrellada y ausencia de antocianinas en peciolo. El segundo, por tener peciolo con antocianinas moderadas, pulpa con un aroma suave, cavidad tipo circular, fruto de forma oval, tallo ramificado y corola amarilla moderada (Figura 6; Cuadro 10).

**Cuadro 10. Moda de seis grupos del análisis de conglomerados de las accesiones de *C. papaya* en relación al sexo de plantas femeninas (F) y hermafroditas (Hf).**

Grupo	PDAP	ICA	CT	RP	CAI	FF	FPFP	FED	PAF	PDAF	ADP	FCC	CC
1	1	0	2	1	1	4	2	3	9	3	3	3	1
2	1	0	2	1	1	9	3	3	9	1	3	3	1
3	1	0	2	1	1	9	3	3	9	1	3	3	1
4	1	0	4	1	1	4	2	3	1	1	3	3	1
5	9	2	4	9	1	5	2	2	1	1	1	1	3

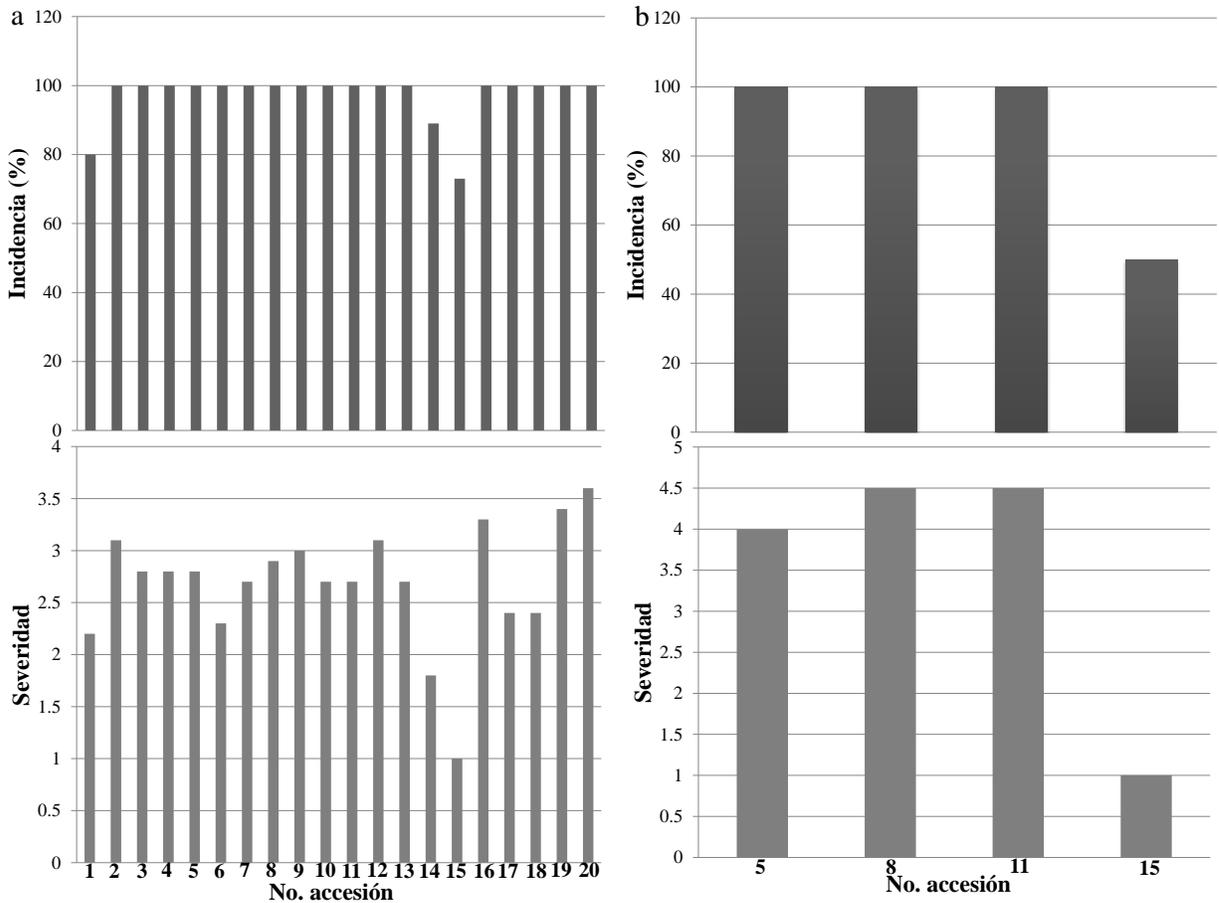
PDAP antocianinas en el peciolo, ICA intensidad de coloración de antocianinas, CT color del tallo, RP ramificación de la planta, CAI color del eje de la inflorescencia, FF forma de fruto, FPFP forma de la parte final del pedúnculo, FED forma del extremo distal, PAF aristas en el

fruto, PDAF prominencia de aristas en el fruto, ADP aroma de la pulpa, FCC forma de la cavidad central, CC color de la corola.

En el presente estudio se encontró variabilidad en las características cualitativas, la cual es comparada con las accesiones de papayo en Kenia, donde se observó variación morfológica (tallos simple a ramificado, peciolo verde pálido a verde normal, flor blanca a crema y frutos de forma globular a forma aplanada), tanto en plantas femeninas como hermafroditas (Asudi *et al.*, 2010). En frutos de papayo, la cavidad más común es la tipo estrella en contraste con aquellas de tipo circular, angular, irregular y redonda reportadas por Mora y Bogantes (2004); Alonso *et al.* (2008b) y Alonso *et al.* (2009). Por lo que, la forma de la cavidad ovárica es dependiente de las hojas carpelares que forman la parte reproductiva femenina de la flor (Alonso *et al.*, 2008a).

En base al tipo de fruto por el sexo de la planta, se ha reportado que las plantas femeninas producen frutos de forma elíptica (Alonso *et al.*, 2008a; Alonso *et al.*, 2009) ó globular (Sánchez-Betancourt y Nuñez, 2008) y las hermafroditas la forma elongada (Alonso *et al.*, 2008a) ó la aplanada (Asudi *et al.*, 2010).

En la primera evaluación, se observó que 19 accesiones de papayo mostraron incidencia al VMAP por arriba del 80%, a excepción de la accesión 15 (tipo cera) proveniente de Veracruz con un 73%; mientras que en la segunda fue de un 50%. Se observó que la accesión 15 fue tolerante al VMAP, ya que en las dos evaluaciones la severidad fue de 1 (1 a 10% de anillos anulares) en contraste con el resto de las accesiones (Figura 7).



**Figura 7. Incidencia y severidad del virus de la mancha anular del papayo en diferentes accesiones de *C. papaya* de tres estados de México. a) Primera evaluación; b) Segunda evaluación.**

#### 1.4. CONCLUSIONES

Existió variabilidad morfológica amplia en las plantas femeninas y hermafroditas en las 20 accesiones de *C. papaya* de Baja California Sur, Veracruz y Campeche. Esto probablemente se debió a un proceso de selección natural y antropogénico largo y complejo que responde a diferentes preferencias y presión de selección local por los productores de papaya.

Las características cuantitativas de mayor contribución a la variabilidad registrada fueron el diámetro, longitud, diámetro de cavidad central, grosor de pulpa, contenido de sólidos solubles

totales, longitud del pedúnculo y color ( $a^*$  y luminosidad) en el fruto, y altura a la primera flor, número de nudos en la planta. Las características cualitativas de mayor relevancia fueron: pigmentación del peciolo con antocianinas, ramificación de planta y en fruto las aristas, forma y cavidad central. Estas características son importantes en la caracterización de germoplasma de papayo. La diversidad morfológica existente debe preservarse en colecciones de germoplasma respectiva, ya que las accesiones mostraron un potencial genético con múltiples posibilidades de utilización en programas de mejoramiento genético del papayo. La accesión 15 mostró tolerancia al VMAP, lo cual se sugiere corroborar la tolerancia mediante la prueba ELISA-DAS (*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay*; Agdia Inc.), ya que pudo ser una coincidencia en el momento de los muestreos.

## 1.5. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara J J Á, E Hernández C, S Ayvar S, A Damiáb N, T Brito G (2010) Características fenotípicas y agronómicas de seis genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) de Tuxpan, Guerrero, México. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1:35-46.
- Alonso E M, R Ramos R, Y Torne Q (2007) Caracterización y evaluación de los recursos genéticos de papaya (*Carica papaya* L.). *CitriFru* 24:38-42.
- Alonso M, Y Tornet, M Aranguren, R Ramos, K Rodríguez, M C R Pastor (2008a) Caracterización de los frutos de cuatro cultivares de papaya del grupo Solo, introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense* 32:169-175.
- Alonso M E, Y Tornet Q, R Ramos R, E Farrés A, M Aranguren G, D Rodríguez M (2008b) Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México* 34:333-339.
- Alonso M, Y Tornet, R Ramos, E Farrés, J Castro, M C Rodríguez (2008c) Evaluación de tres cultivares de papaya del grupo Solo basada en caracteres de crecimiento y productividad. *Cultivos Tropicales* 29:59-64.
- Alonso M, Y Tornet, R Ramos, E Farrés, D Rodríguez (2009) Evaluación de dos híbridos de papaya introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense* 33:267-274.
- Aradhya M K, R M Manshardt, F Zee, C W Morden (1999) A phylogenetic analysis of the genus *Carica* L. (Caricaceae) based on restriction fragment length variation in a cpDNA intergeneric spacer region. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46:579-586.

- Asudi G O, F K Ombwara, F K Rimberia, A B Nyende, E M Ateka, L S Wamochi, D Shitanda, A Onyango (2010) Morphological diversity of Kenyan papaya germoplasm. *African Journal of Biotechnology* 9:8754-8762.
- Badillo V M (2000) *Carica L.* vs. *Vasconcella* St. Hil. (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. *Ernstia* 10:74-79.
- Brush S B (2000) The issues of *in situ* conservation of crop genetic resources. *In*: S B Brush (ed) *Genes in the Field: On-farm Conservation of Crop Diversity*. USA. pp:3-26.
- Carrasco B, P Avila, J Perez-Diaz, P Muñoz, R García, B Lavandero, A Zurita-Silva, J Retamales, P S Caligari (2009) Genetic structure of highland papayas (*Vasconcella pubescens* (Lenné et C. Koch) Badillo) cultivated along a geographic gradient in Chile as revealed by Inter Simple Sequence Repeats (ISSR). *Genetic Resources and Crop Evolution* 56 (3):331-337. doi:10.1007/s10722-008-9367-1.
- Carrillo R J C, J L Chávez S (2010) Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:1-6.
- Castellen S M, C A da Silva L, E J Oliveira, L S Monteiro F, J L Loyola D (2007) Caracterização de acessos do banco activo de germoplasma de mamão por meio de análise multivariada. *Magistra, Cruz das Almas-BA* 19:299-303.
- Castro J A, C G Neves, O N de Jesus, E J Oliveira (2012) Definition of morpho-agronomic descriptors for the characterization of yellow passion fruit. *Scientia Horticulturae* 145 (0):17-22. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.022>.
- Cavidad R A C, B E Villegas V, C I Medina C, M Lobo A, C Reyes S (2002) Caracterización morfológica de caricaceas de altura. [http://books.google.com.mx/books?id=G8CnojHybXoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=G8CnojHybXoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Accessed 10 Septiembre 2012.
- Chávez J L (2003) Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica. *In*: T L Franco, R Hidalgo (eds) *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*, vol 8. IPGRI, Colombia, pp 72-77.
- Chutteang C, Y Suntaree, W Sirikul (2007) Leaf photosynthetic potential of female and hermaphrodite papaya (*Carica papaya* cv. Khaeng Nuan). *Acta Horticulturae* 740:197-202.
- Dantas L J L, R M de Souza P, J Firmino de L, F R Ferreira (2000) Catálogo de germoplasma de mãmao (*Carica papaya* L.). Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 40 p.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2000) Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). Disponible en: [Http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm](Http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm). (Enero 2013).

- Fagundes R G, O K Yamanishi (2001) Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo 'Solo' comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília-DF. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal 23 (3): 541-545.
- Gaona-García A, I Alia-Tejacal, V López-Martínez, M Andrade-Rodríguez, M T Colinas-León, O Villegas-Torres (2008) Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el suroeste del estado de Morelos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14:41-47.
- Hidalgo R (2003) Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. *In*: T L Franco, R Hidalgo (eds) *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*, vol 8. IPGRI, Colombia. pp: 2-26.
- Jobin-Décor M P, G C Graham, R J Henry, R A Drew (1997) RAPD and isozyme analysis of genetic relationships between *Carica papaya* and wild relatives. *Genetic Resources and Crop Evolution*: 44:471-477.
- Karambu R F, S Adaniya, Y Ishimine, T Etoh (2007) Morphology of papaya plants derived via anther culture. *Scientia Horticulturae* 111:213-219.
- Kumcha U, S Chaikiattiyos, V Prasatsri (2008) Varietal improvement of papaya (*Carica papaya* L.) for fresh consumption. *Acta Horticulturae* 787:147-150.
- Lim L S, J Siti H (2007) Earliness in flowering and Dwarfism in relation to internode length and tree height in papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Horticulturae* 740:103-108.
- Marin D S L, M Gonzaga P, A T do Amaral J, L A Peres M, C D Ide (2006) Heterosis in papaya hybrids from partial diallel of 'Solo' and 'Formosa' parents. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6:24-29.
- Martins N G, R Ferreira Da S, E Fontes A, M Gonzaga P, H Duarte V, A Pio V (2005) Influência do tipo de fruto, peso específico das sementes e período de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamão do grupo formosa. *Revista Brasileira de Sementes* 27:12-17.
- McGuire RG (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255.
- Medina A, C Ramis, D Rodríguez, A Vegas (2010) Variabilidad genética del germoplasma de algunas especies de los géneros *Carica* y *Vasconcellea* (Caricaceae) con el uso de marcadores RAPD. *Revista Facultad de Agronomía (UCV)* 36:116-124.
- Mendoza-Garces A C, P M Magdalita, M S Mendioro, F S Dela Cruz, V N Villegas (2010) Morphological, cytological, biochemical and molecular characterization of *Carica papaya* L., *Vasconcellea quercifolia* (St. Hil.) Hieron and their intergeneric hybrid. *Philippine Journal of Crop Science* 35:1-11.
- Mora E, A Bogantes (2004) Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 15:39-44.
- Morin C (1967) Cultivo de frutales tropicales. *In*: C Morin (ed) *El papayo*. Lima, Perú. pp: 231-288.

- Ocampo P J (2007) Papaya genetic diversity assessed with microsatellite markers in germplasm from the Caribbean region. *Acta Horticulturae* 740:93-102.
- Ocampo J, G Coppens d'Eeckenbrugge, S Bruyère, L de L Bellaire, P Ollitrault (2006) Organization of morphological and genetic diversity of Caribbean and Venezuelan papaya germoplasm. *Fruits* 61 (1):25-37.
- Oliveira M A B, R Vianni, G Souza, T M Rezende A (2002) Caracterização do estágio de maduração do papaia 'Golden' enfunção da cor. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal* 24 (2):559-561.
- Oliveira E, V Amorim, E Matos, J Costa, M da Silva C, J Pádua, J Dantas (2010) Polymorphism of microsatellite markers in Papaya (*Carica papaya* L.). *Plant Molecular Biology Reporter* 28 (3):519-530. doi:10.1007/s11105-010-0180-6.
- Oliveira E J, N L Pereira D, J Loyola D (2012) Selection of morpho-agronomic descriptors for characterization of papaya cultivars. *Euphytica* 185 (2):253-265. doi:10.1007/s10681-011-0565-0
- Pandey A, A Tomer, D C Bhandari, S K Pareek (2008) Towards collection of wild relatives of crop plants in India. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55 (2):187-202. doi:10.1007/s10722-007-9227-4.
- Pérez G F, J B Martínez-Laborde (1994) *Introducción a la Fisiología Vegetal*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 217 p.
- Ramos H C C, M G Pereira, L S A Gonçalves, A P C G Berilli, F O Pinto, E H Ribeiro (2012) Multivariate analysis to determine the genetic distance among backcross papaya (*Carica papaya*) progenies. *Genetics and Molecular Research* 11:1280-1295.
- Rawlings J O ( 1988) *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. California, USA. 553 p.
- Ríos L L (2006) Caracterización morfológica de la yuca (*Manihot esculenta* C.) In: J L Chávez-Servia, R Sevilla-Panizo (eds) *Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali*. Pucallpa, Perú. pp:77-84.
- Rohlf F J (2009) *NTSYSpc: numerical taxonomy system, version 2.21*. Exeter Software, New York.
- SAGARPA-SOMEFI (2006) *Plan de acción nacional para la conservación de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en México*. Chapingo, México. 52 p.
- Sánchez-Betancourt E, V M Núñez Z (2008) Evaluación de marcadores moleculares tipo SCAR para determinar sexo en plantas de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9:31-36.
- Santamaría B F, R Díaz P, E Sauri D, F Espadas G, J M Santamaría F, A Larqué S (2009) Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agricultura Técnica en México* 35:347-353.

- SAS (2002) SAS user's guide: Statistics. Version 9.0. SAS Institute: Cary, USA.
- Schroeder C A (1958) The origin, spread, and improvement of the avocado, sapodilla and papaya. *The Indian of Horticulture* 15 (Special Symposium Nunmber):1-16.
- Singh A K, A Bajpai, A Singh (2010) Classification of morpho-agronomic variability in papaya for developing elite cultivar. *Acta Horticulturae* 851:137-144.
- Singh K, A Kumar (2010) Genetic variability and correlation studies in papaya under Bihar conditions. *Acta Horticulturae* 851:145-150.
- Sousa B L, E Mesquita S, R L Ferreira G, Á C de Almeida L, I C Veras S (2012) Caracterizacáo e divergencia genética de accesos de *Passiflora edulis* e *P. cincinnata* com base em características físicas e químicas de frutos. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal-SP* 34:832-839.
- UPOV- International Union for the Protection of New Varieties of Plants (2008) Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Papaya (*Carica papaya* L.). TG/1/3. Geneva, 2008.
- Urasaki N, M Tokumoto, K Tarora, Y Ban, T Kayano, H Tanaka, H Oku, I Chinen, R Terauchi (2002) A male and hermaphrodite specific RAPD marker for papaya (*Carica papaya* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 104:281-285.
- Vignale B, L Bisio (2005) Selección de frutales nativos de Uruguay. *Agrociencia* 9:35-39.

## CAPÍTULO II.

### CALIDAD DE FRUTO Y MORFOLOGÍA DE SEMILLA DE 19 ACCESIONES DE PAPAYA (*Carica papaya* L.)<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El objetivo fue determinar la calidad del fruto y cuantificar la morfología de la semilla de 19 accesiones de *Carica papaya* L. En cada accesión se evaluaron 25 frutos sin defectos y libres de enfermedades. Se midió en el fruto la longitud (L, cm), diámetro (D, cm), relación longitud/diámetro (RLD), grosor de pulpa (GP, cm), tejido placentario (TP, g), masa del mucílago (MM, g), diámetro de cavidad central (DCC, cm), color de cáscara (Luminosidad, Cromo y °Hue), color de pulpa (CP, tabla Munsell), grosor de cáscara (GC, mm), firmeza de pulpa (FP, N), sólidos solubles totales (SST, °Brix). En las semillas se cuantificó la longitud (LS, mm), ancho (A, mm), relación longitud/ancho (RLA), masa (M, g) y número de semillas. Los frutos de la 14V en las características L, D y GP con 37.9 cm, 19.2 cm y 4.4 cm respectivamente, fueron superiores ( $P \leq 0.05$ ) al resto de las accesiones; en la RLD la 16V presentó el valor más alto ( $P \leq 0.05$ ). En las accesiones 2V y 15V se encontró frutos con CP amarilla (10Y9/10), SST con valores mayores a 14.0 °Brix y una luminosidad superior a 65.0. Los frutos de las 1BC y 4BC en la característica FP alcanzaron los valores mayores respecto al resto de accesiones. La 12BC tuvo frutos con mayor cantidad de MM. La 13BC desarrolló 91.7 de °Hue y 44.7 de Cromo y mayor GC (1.5 mm). En semillas: la LS varió de 5.4 a 9.2 mm, A entre 3.6 y 6.8 mm, RLA de 1.2 a 1.5, M entre 0.05 y 0.3 g y número de semillas de 47 a 678. Las accesiones mostraron frutos con diversas características de calidad aceptables y no aceptables para el consumidor; si algunas características aceptables pudieran reunirse en un cultivar nuevo, éste podría competir con las variedades comerciales.

Palabras clave: *Carica papaya* L., color, sólidos solubles totales, tamaño de fruto, tamaño de semilla.

---

<sup>1</sup> Artículo Enviado a la Revista Fitotecnia Mexicana

**FRUIT QUALITY AND MORPHOLOGY OF SEED FROM 19 ACCESSIONS OF  
PAPAYA (*Carica papaya* L.)**

**ABSTRACT**

The objective was to determine the fruit quality and to quantify the morphology of seed from 19 accessions of *Carica papaya* L. Twenty five fruit without deformations and free of diseases were evaluated from each accession. On fruits, length (L, cm), diameter (D, cm), ratio length/diameter (RLD), thickness of flesh (TF, cm), placental tissue (PT, g), mucilage mass (MM, g), diameter of central cavity (DCC, cm), color of skin (lightness, Chroma and °Hue), color of flesh (CF, Munsell Table), thickness of skin (TS, mm), firmness of flesh (FF, N), and total soluble solids (TSS, °Brix) were measured. On seeds, length (LS, mm), width (W, mm), ratio length/width (RLW), mass (M, g), and number, were also quantified. Fruits from the 14V showed values of 37.9 cm, 19.2 cm y 4.4 cm on L, D, and GP, respectively, which were higher ( $P \leq 0.05$ ) than the rest of the accessions; the 16V had the highest value ( $P \leq 0.05$ ) of RLD. The accessions 2V and 15V presented fruits with yellow CP (10Y9/10), SST higher than 14.0 °Brix, and lightness higher than 65.0. Fruits of 1BC and 4BC had higher values of FF than the rest of accessions. The 12BC had fruits with more MM. The 13BC showed values of 91.7 and 44.7 of °Hue and Chroma respectively, and higher GC (1.5 mm). On seeds, the LS varied from 5.4 to 9.2 mm, the W from 3.6 to 6.8 mm, the RLA from 1.2 to 1.5, M from 0.05 to 0.3 g, and the number of seed from 47 to 678. All accessions showed fruits with different features of quality that can be acceptable or unacceptable for the consumers; then, if the acceptable features can be transferred to a new cultivar, it could be competitive with some commercial varieties.

Key words: *Carica papaya* L., color, total soluble solids, fruit size, seed size.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya* L.), es una planta originaria del norte de Centro América y sur de México (Badillo, 2000), que presenta una variación fenotípica amplia en tamaño, forma, color, contenido de sólidos solubles del fruto y altura de la planta, entre otros (Singh y Kumar, 2010). Esta planta se ha extendido a lo largo de todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Independientemente de la variedad, su importancia económica radica en que la fruta ha tenido una demanda creciente en los mercados de EE. UU. y Canadá, siendo México su principal proveedor con una producción de 616 215 t en el 2010 (FAOSTAT, 2012). En México, en el intervalo de tiempo de 1980 a 1990 la superficie sembrada con papayo ha sido variable; debido a factores diversos, dentro de los que destacan la presencia del virus de la mancha anular (VMA). Por ejemplo, en 1984 se registraron 22 434 ha y para 1990 se reportaron 9 832 ha (FAOSTAT, 2012). Esta reducción estuvo asociada con la aparición del VMA en 1975; entre 1987 y 1994 se confirmó la presencia e incidencia en los principales estados productores en Veracruz, Chiapas y Yucatán (Villegas y Mora, 2011), la cual ha avanzado de manera progresiva en las áreas donde se presenta. El VMA, afecta tanto la producción como la calidad del fruto, principalmente por las manchas pequeñas y de aspecto aceitoso en la superficie del fruto, las cuales le confieren el nombre a la enfermedad. Además, los frutos pueden deformarse, perder el aroma y presentar contenido bajo de sólidos solubles totales (Páez, 2003). Los criterios de calidad para frutos de papayo se clasifican en físicos y químicos. Los primeros incluyen: peso, longitud, diámetro, forma, color de cáscara y pulpa, firmeza. Entre los químicos están los sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable, entre otros (Fagundes y Yamanishi, 2001). La papaya es un fruto climatérico que se cosecha en madurez fisiológica con un 25% de color amarillo-naranja en la superficie del fruto y con pulpa firme; con la finalidad de extender su periodo de

comercialización (Sañudo *et al.*, 2008). La norma mexicana NMX-FF-041-1996 establece que el punto de madurez para papayas tipo cera amarilla y mamey es uno de los parámetros físicos de calidad; esto con base en el cambio de color verde a amarillo en la cera amarilla y de verde a anaranjado para la mamey. Asimismo, la FAO (2000) propuso seis estados de madurez fisiológica, independientemente de la variedad de papayo. Además, otros parámetros físicos se han evaluado en variedades comerciales. Al respecto, Alcántara *et al.* (2010) confirmaron gran variación en el tamaño de fruto en los genotipos de papayo ‘Maradol’, ‘Red Lady’, Zapote y criollo proveniente de Tabasco. También, Castro *et al.* (2011) indican que el valor L-CIE (luminosidad) está asociado con la evolución de la maduración del fruto. Así durante el tercer y sexto día de almacenamiento a temperatura ambiente, los frutos cubiertos con películas presentaron un incremento significativo de 50.45 a 54.25 de luminosidad. Sañudo *et al.* (2008) observaron una relación entre el cambio en la tonalidad ( $^{\circ}$ Hue) con la firmeza del fruto; al día cero los frutos mostraban un  $^{\circ}$ Hue de 96.6, el cual disminuyó significativamente durante el almacenamiento; comportamiento similar se observó en la firmeza. Los estudios sobre parámetros químicos se basan básicamente en variedades comerciales; mientras que en genotipos nativos son escasos. Al respecto, Acosta *et al.* (2001) reportaron que los frutos del tipo cera, almacenados entre los siete y 10 días, registraron un contenido de SST de 8.7 y 9.6  $^{\circ}$ Brix; mientras que en variedades comerciales, Calegario y Puschmann (1997) determinaron que los frutos alcanzan su desarrollo de madurez completa a los 168 días después de la antesis, con un contenido de SST de 15%. Santamaría *et al.* (2009), en un estudio de interacción de parámetros reportaron dos estados de madurez de consumo del fruto con los valores de  $^{\circ}$ Hue entre 70 y 80, contenido de SST de 10 a 11.5  $^{\circ}$ Brix y firmeza de pulpa entre 4.7 y 6.9 N en la variedad maradol. Las características físicas de las semillas del fruto de papayo, si bien no determinan la calidad de éste, es importante a considerarse en programas de mejoramiento genético. Una de éstas es la

masa de la semilla, existe una relación directamente proporcional entre ésta y el porcentaje de germinación de la semilla de frutos de papayo del grupo ‘Formosa’ (Martins *et al.*, 2005). Otra característica a considerar es la morfología de la semilla; al respecto Gil y Miranda (2005) y Dias *et al.* (2011) indican que existe variabilidad morfológica baja en esta característica en variedades como la ‘Maradol’ y el híbrido ‘Tainung-1’.

Considerando que los estudios sobre calidad del fruto y morfología de semilla en genotipos nativos de papayo son escasos, es trascendental realizar investigación y determinar su importancia en las características de éstos, sobre todo en programas de mejoramiento genético futuros. Esto con el fin de desarrollar genotipos de papayo nuevos con frutos de calidad comercial aceptables, tanto para consumo nacional como para el internacional, ya que en este frutal se vislumbran expectativas de mercado y rentabilidad altas para el productor mexicano (Vázquez *et al.*, 2008). Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las características de calidad de fruto y cuantificar las características físicas de la semilla de frutos de 19 accesiones de papayo (*C. papaya*) provenientes de tres estados de México.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. Germoplasma evaluado**

Durante el periodo de agosto 2011 a enero 2012, se estudiaron frutos de 19 accesiones de papayo nativos provenientes de Baja California Sur (BC), Veracruz (V) y Campeche (C); las cuales se ubicaron en la colección del germoplasma en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, situado a los 19°11’38.62’’ LN y 96°20’31.26’’ LO; a 24 m snm. De las 19 accesiones; 17 correspondieron a poblaciones domesticadas, entre éstas la tipo cera (14V); y dos a poblaciones silvestres (2V y 15V). De cada accesión se utilizaron cinco plantas femeninas distribuidas bajo un

diseño experimental completamente al azar y de cada planta manualmente se cosecharon cinco frutos sin defectos y libres de enfermedades, en los estadios de madurez 2 o 3 (Con aproximadamente 20-25% y 40%, respectivamente de color amarillo en la cáscara) (FAO, 2000). Estos frutos se transportaron al Laboratorio de Sanidad Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, donde se almacenaron a temperatura ambiente hasta alcanzar el estadio 5 (un 90-100% de color amarillo en la cáscara), y se inició la evaluación de las características de calidad del fruto y morfología de semilla que se describen a continuación.

### **2.2.2. Características de calidad del fruto**

En el fruto se evaluó la longitud (L, cm) y diámetro (D, cm), de acuerdo a Dantas *et al.* (2000); además, se midió el diámetro de la cavidad central (DCC, cm) y grosor de la pulpa (GP, cm). Se calculó en fruto la relación longitud/diámetro (RLD), de acuerdo a Dias *et al.* (2011). En la cuantificación de la masa del tejido placentario (TP, g), éste se separó manualmente del fruto y se pesó con una balanza digital OHAUS® con una sensibilidad de 0.1 g. En la determinación de la masa del mucílago (MM, g), éste se extrajo de una muestra de 100 semillas de cada accesión y se pesó, y el valor se calculó mediante la fórmula siguiente:

Masa del mucílago (g) = (Masa del mucílago de 100 semillas/mismo número de semillas) x número de semillas por fruto

Con el colorímetro triestímulo Kangguang® (modelo WSD-3A) se tomaron los valores triestímulo X, Y y Z en la parte ecuatorial de cada fruto. Posteriormente, con base en la metodología de Wyszecki y Stiles (1982) se realizó la conversión de los valores triestímulo al Sistema cromático HunterLab (Luminosidad, a\* y b\*). Finalmente, con la metodología de McGuire (1992) se calculó en el fruto la pureza del color (Croma) y el °Hue. El color de la pulpa

(CP) se evaluó visualmente bajo condiciones de laboratorio (luz artificial) utilizando la tabla de colores de Munsell (Munsell, 2000). Además, se obtuvo el valor mínimo y máximo de esta característica, para ello se consideró el Hue. Aunque de acuerdo con Munsell (2000) se reportan los resultados en el orden siguiente: Hue Luminosidad/Croma. El grosor de la cáscara (GC, mm) se midió, con un vernier (Mitutoyo<sup>®</sup>) con una sensibilidad de 0.01 mm. La firmeza de pulpa (FP), expresada en Newtons (N) se determinó con un penetrométero digital (Bareiss<sup>®</sup>). Mediante un refractómetro PAL-1 (ATAGO<sup>®</sup>), previamente calibrado con agua destilada se valoró el contenido de sólidos solubles totales (SST, °Brix).

### **2.2.3. Características físicas de la semilla**

Primero, de los frutos de cada accesión se obtuvo una muestra al azar de 100 semillas para evaluar la longitud (LS), ancho (S) y la relación longitud/ancho (RLA). Mediante el software tpsDig 2.16 de Rohlf (2010) se calculó la LS y el A. Para la RLA se empleó la misma metodología que para la RLD. La masa de semilla fresca (M, g) se calculó dividiendo la masa total de semilla (g), sin tejido placentario, entre el número total de semillas por fruto. Para calcular el número de semillas, primeramente de manera manual la semilla se separó del fruto y se pesaron. Por último, se tomaron y pesaron otras 100 semillas (peso fresco) por fruto en cada accesión. Para obtener esta característica se empleó la fórmula siguiente:

Número de semillas = (Masa de 100 semillas x mismo número de semillas)/ masa total de las semillas por fruto

### **2.2.4. Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos de cada variable de las accesiones se realizó un análisis de varianza y prueba de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ), mediante el paquete *Statistical Analysis System* (SAS, 2002).

También, se obtuvieron los Coeficientes de correlación de Pearson para las variables °Hue y SST con el procedimiento PROC CORR de SAS (2002), con la finalidad de determinar asociación entre variables.

## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1. Características de calidad del fruto

Los frutos en las características de calidad evaluadas presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las accesiones de papayo (Cuadro 11).

Se formaron tres grupos de accesiones en base al tamaño del fruto (Cuadro 11). En el primer grupo se localizaron las accesiones 15V, 2V, 6V y 17V por mostrar frutos pequeños; en el segundo se encontraron todas las accesiones de Baja California Sur, 8C, 16V, 19V y 18V por mostrar frutos intermedios. La 14V se ubicó en el tercer grupo por presentar frutos de tamaño grande. La accesión 14V, presentó frutos con 37.9 cm de L, 19.2 cm de D y 4.4 cm de GP, la cual fue superior ( $P < 0.05$ ) al resto de las accesiones; pero fue estadísticamente igual ( $P > 0.05$ ) a la 8C con 9.8 cm de diámetro de cavidad central. Los frutos de esta accesión en las características L y D con 37.9 y 19.2 cm respectivamente, fueron superiores a los reportados por Kumcha *et al.* (2008) y Ramos *et al.* (2012), quienes encontraron valores inferiores a los 34.5 cm de L y 11.75 cm de D en genotipos comerciales de papayo. Además, los frutos de la 14V en TP con 30.4 g fue superior ( $P < 0.05$ ) a las 5BC y 9BC que presentaron valores inferiores a los 10.2 g (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Medias de siete características de calidad en frutos de 19 accesiones de *C. papaya*.**

Accesión <sup>†</sup>	L (cm)	D (cm)	GP (cm)	TP (g)	DCC (cm)	RLD	MM (g)
15V	7.8j	4.8f	0.7f	13.5ab	3.6g	1.6f	2.4f
2V	9.5ij	5.5f	0.9f	12.5ab	3.7g	1.7ef	2.0f
6V	12.8hij	7.0ef	1.4ef	14.7ab	4.7efg	1.8def	1.5f
17V	14.8ghi	6.6ef	1.3f	21.9ab	4.2fg	2.2bc	2.6f
9BC	18.5fgh	10.6cd	2.2cd	9.2b	6.4cdef	1.7ef	0.7f
1BC	18.6efgh	10.8cd	2.4cd	14.1ab	6.4cdef	1.7ef	2.1f
13BC	18.6efgh	9.3cde	2.2cd	24.2ab	5.9cdefg	2.0cdef	6.1cdef
10BC	19.6defgh	11.3cd	2.3cd	14.2ab	6.8cdef	1.7ef	4.1def
3BC	20.5cdefg	10.9cd	2.1cde	17.3ab	7.0cde	1.9cdef	4.8def
11BC	21.0bcdefg	11.5cd	2.1de	16.1ab	7.5bc	1.8def	8.2bcde
12BC	23.3bcdef	11.4cd	2.3cd	25.2ab	7.3bcde	2.0cdef	15.6a
19V	23.7bcdef	11.3cd	2.5bcd	16.6ab	6.7cdef	2.1bcde	1.8f
7BC	24.5bcdef	12.3c	2.4bcd	19.1ab	7.8bc	2.0cdef	11.5ab
4BC	25.4bcde	12.2c	2.8bcd	17.0ab	7.4bcd	2.1bcde	8.7bcd
18V	26.0bcd	12.3c	3.1b	20.3ab	7.4bcd	2.2bcd	3.2ef
5BC	26.5bc	11.0cd	2.8bc	10.2b	5.7cdefg	2.4b	10.2abc
16V	27.4b	9.0de	2.4cd	17.4ab	4.8defg	3.1a	3.0ef
8C	27.7b	15.7b	3.1b	20.7ab	9.8ab	1.8ef	3.3ef
14V	37.9a	19.2a	4.4a	30.4a	10.8a	1.9cdef	11.6ab

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, P 0.05). L= longitud del fruto, D= diámetro del fruto, GP= grosor de pulpa, TP= tejido placentario, DCC= diámetro de cavidad central, RLD= relación longitud/diámetro del fruto, MM= masa del mucílago. <sup>†</sup>Letras que acompañan a cada accesión indican la procedencia: V= Veracruz, C= Campeche, BC= Baja California Sur.

Los valores con menor TP son favorables, porque facilitan el consumo del fruto en fresco. Respecto al DCC, Dias *et al.* (2011), señalan que esta característica está relacionada con la calidad del fruto, ya que aquellas con menor diámetro presentarán mayor cantidad de pulpa. Los valores del GP de la 14V, fueron superiores a los encontrados por Alonso *et al.* (2008a) y Souza *et al.* (2009) quienes reportaron valores de 1.2 a 2.5 cm y de 2.2 a 2.4 cm, respectivamente en frutos de genotipos comerciales. La RLD, proporciona información sobre la forma del fruto. Esta es una característica de calidad importante en la comercialización; ya que se prefieren frutos de forma elíptica que la forma globular, ambas provenientes de plantas femeninas (Alonso *et al.*, 2008b). Las accesiones 5BC y 16V mostraron frutos con un valor superior a los 2.4, es decir,

presentaron frutos de forma alargada, en tanto que los frutos con valores de 2.0 a 2.4 presentaron forma elíptica y aquellas menores a 2.0 forma globular (Cuadro 11). Una característica que menos prefieren los consumidores y las industrias es MM, ya que a mayor cantidad de ésta, se incrementa la masa del fruto. Los frutos de la accesión 12BC en MM mostraron el valor más alto (15.6 g) respecto a las 1BC, 2V, 6V, 9BC, 15V, 17V y 19V, que presentaron valores inferiores a los 2.6 g (Cuadro 11).

El valor de luminosidad de 59.4 para los frutos de las accesiones 5BC y 10BC, fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) al valor de 70.5 de la 15V que tuvo frutos con mayor luminosidad (Cuadro 12). Al respecto, Castro *et al.* (2011) reportaron en frutos de una variedad comercial valores de luminosidad entre 54.2 y 57.3 en el sexto día de almacenamiento; estos valores se aproximan a los frutos de las accesiones 5BC y 10BC. Los frutos de la 5BC con un Cromo de 73.8 fueron superiores ( $P \leq 0.05$ ), en comparación la 13BC que mostró el valor más bajo de 44.7. En general, los frutos se situaron dentro del intervalo de 80.0 a 90.0 °Hue, que corresponde al color amarillo (Alia-Tejacal *et al.*, 2012). Las accesiones provenientes de Baja California Sur mostraron frutos de color amarillo; mientras que, las 2V, 6V, 16V y 18V con 78.2, 79.4, 78.1 y 77.5 °Hue manifestaron el color anaranjado-amarillo (Cuadro 12); estos valores son similares a los reportados por Santamaría *et al.* (2009) para papaya maradol. No se encontró una relación estrecha entre el °Hue y los SST (-0.23) (datos no mostrados), esto probablemente se debió a la heterogeneidad de genotipos utilizados. Al respecto, De Moraes *et al.* (2007) señalan que la evolución del color amarillo de la cáscara de la papaya, no se correlacionó con el contenido de sólidos solubles y azúcares totales, ya que variaron muy poco después de la cosecha. Se identificaron tres grupos de accesiones con diferente CP (Cuadro 12). En el primer grupo se concentraron los frutos de las accesiones 1BC-3BC, 6V-15V y 17V con CP de 2.5Y7/10 a

10Y9/12 (amarillo fuerte), mientras que la 13BC mostró algunos frutos de 2.5GY9/10 (verde-amarilla); el segundo grupo lo constituyeron los frutos de las 4BC y 5BC con CP de 7.5YR7/12 (amarilla-anaranjada). El tercero lo integraron las 16V, 18V y 19V con frutos de CP roja a amarilla-anaranjada (Munsell, 2000). Diversos estudios han evaluado el color de pulpa de manera subjetiva mediante la percepción visual (Alonso *et al.*, 2008a; Alonso *et al.*, 2008b; Alcántara *et al.*, 2010). No obstante, con las observaciones sustentadas con la tabla de Munsell las subjetividades se limitan, a los valores del Hue, aun cuando la interpretación es diferente por cada observador. Asimismo, Alcántara *et al.* (2010) encontraron CP amarilla en los frutos de genotipos criollos de papayo provenientes de Tabasco, 'Red Lady' y 'R5M2'. Este resultado subjetivo, no se puede comparar con precisión con los obtenidos en el presente estudio, por la utilización de diferentes formas de evaluación. Al igual que en otros frutales, el CP de papaya es uno de los factores principales de aceptación por el consumidor, quien en general prefiere el color rojo (Gaona-García *et al.*, 2008). Una característica poco considerada en estudios de frutos de papayo, es el GC (Fagundes y Yamanishi, 2001; Souza *et al.*, 2009). Los frutos de la 13BC presentaron mayor GC (1.5 mm) con respecto a los de 0.93, 0.91, 0.93, 0.88, 0.73 mm para las accesiones 1BC, 2V, 6V, 11BC, 15V (Cuadro 12). Los frutos de las accesiones mostraron diferentes valores en el GC entre ellas, lo que probablemente indica diferencias en los diferentes estados de madurez del fruto. Estas diferencias del GC deben estudiarse para la tecnología de empaque (Gaona-García *et al.*, 2008). Los frutos de las accesiones 1BC y 4BC alcanzaron promedios superiores a los 50.0 N de FP, en contraste con la 15V que presentó el valor más bajo con 16.6 N (Cuadro 12). Al respecto, Alcántara *et al.* (2010) indican que los frutos de mayor firmeza son más resistentes al manejo durante la cosecha, empaque y transporte, permitiendo una vida de anaquel más prolongada. El valor promedio de 7.9 °Brix en la accesión 14V aunque más bajo se aproximó con la reportada por Acosta *et al.* (2001) que fue de 8.7 °Brix para el tipo cera. Sin embargo, las

accesiones 2V y 15V tuvieron frutos con valores superiores a 14.0 °Brix, en comparación con las 3BC, 8C, 12BC, 13BC, 14V , 18V y 19V con valores inferiores de 8.5, 8.2, 8.5, 8.5, 7.9, 7.7 y 8.1 °Brix, respectivamente (Cuadro 12). ). Los valores de los SST en los frutos de las 2V y 15V son superiores a los reportados por Fagundes y Yamanishi (2001); Sañudo *et al.* (2008); Santamaría *et al.* (2009) y Ramos *et al.* (2012) al encontrar valores máximos de 12.5, 12.4, 12.6 y 14.0 °Brix, respectivamente en genotipos comerciales de papayo. Esto sugiere que las accesiones 2V y 15V en los frutos en estado de madurez de consumo presentan mayor contenido de azúcares, en contraste con las variedades comerciales ('Maradol' y el grupo 'Solo'), aunque esta diferencia, de acuerdo con Fagundes y Yamanishi (2001) puede deberse a las condiciones edafoclimáticas, época y lugar de cosecha, labores culturales, manejo durante la cosecha y poscosecha y tipo de cultivar. La variación amplia detectada en las características de calidad del fruto, se debe principalmente al proceso de selección del fruto que el ser humano ha venido manipulando en características de interés económico como el sabor, tamaño, forma, color, textura, olor y ausencia de semillas (Pérez y Martínez-Laborde, 1994).

**Cuadro 12. Color de cáscara (Luminosidad, Croma y °Hue), color de pulpa (CP), grosor de cáscara (GC), firmeza de pulpa (FP) y sólidos solubles totales (SST) en frutos de accesiones de *C. papaya*.**

Accesión	Luminosidad	Croma	°Hue	CP (Intervalo)	GC (mm)	FP (N)	SST (°Brix)
13BC	47.5g	44.7d	91.7a	2.5GY9/10-10Y9/12	1.51a	40.2abcd	8.5c
7BC	49.3fg	54.5bcd	89.3abc	5Y8/10-10Y9/12	1.10ab	29.6bcde	9.9bc
11BC	51.9efg	62.6abcd	90.0ab	2.5Y8/10-10Y9/12	0.88b	38.1abcde	9.2bc
18V	53.1defg	59.2abcd	77.5d	10R6/14-5YR7/12	1.27ab	39.9abcd	7.7c
19V	53.7defg	47.5cd	80.0cd	10R6/16-5YR7/12	1.14ab	36.9abcde	8.1c
12BC	54.4cdefg	60.1abcd	86.4abcd	2.5Y8/12-10Y9/12	0.96ab	39.4abcd	8.5c
3BC	55.3cdefg	71.9ab	86.6abcd	2.5Y8/8-10Y9/12	0.96ab	38.4abcde	8.5c
9BC	56.0bcdefg	58.4abcd	89.7ab	7.5Y8/8-10Y9/12	1.10ab	37.2abcde	8.7bc
16V	57.2bcdefg	59.9abcd	78.1d	10R6/14-7.5YR7/10	0.97ab	26.5cde	10.2bc
4BC	59.2bcdef	69.9ab	85.5abcd	7.5YR7/12-10Y9/12	1.29ab	50.1a	10.2bc
5BC	59.4bcde	73.8a	81.3bcd	7.5YR7/12-10Y9/10	1.09ab	44.9abc	9.4bc
10BC	59.4bcde	64.7abc	84.1abcd	2.5Y8/10-10Y9/10	1.01ab	48.3ab	9.6bc
1BC	60.5abcde	69.2ab	84.4abcd	2.5Y8/10-10Y9/12	0.93b	50.4a	10.4bc
6V	61.7abcde	61.0abcd	79.4d	2.5Y8/12-10Y9/8	0.93b	23.4de	10.0bc
14V	61.9abcde	64.5abc	82.6abcd	2.5Y8/10-10Y9/12	1.05ab	40.3abcd	7.9c
8C	62.9abcd	57.9abcd	80.2cd	2.5Y8/10-10Y9/12	1.24ab	40.0abcd	8.2c
17V	64.3abc	63.4abc	81.8bcd	2.5Y8/10-10Y9/10	0.95ab	25.4cde	12.9ab
2V	65.4ab	64.2abc	78.2d	2.5Y8/10-10Y9/10	0.91b	29.7bcde	14.8a
15V	70.5a	66.4ab	80.9bcd	2.5Y7/10-10Y9/10	0.73b	16.6e	16.2a

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, P 0.05). <sup>†</sup>Letras que acompañan a cada accesión indican la procedencia: V= Veracruz, C= Campeche, BC= Baja California Sur.

### 2.3.2. Características físicas de la semilla

Los frutos de la accesión 16V tuvieron semillas de LS y A con 9.2 y 6.8 mm, respectivamente, la cual fue estadísticamente diferente ( $P < 0.05$ ) a las 2V y 15V con valores inferiores de 5.4 mm de LS y 3.6 mm de A (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Características físicas de la semilla en frutos de 19 accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.**

Accesión <sup>†</sup>	LS (mm)	A (mm)	RLA	M (g)	Número de semillas
2V	5.4h	3.6l	1.6a	0.05bc	274bcdef
15V	5.4h	3.7l	1.5ab	0.05bc	237bcdef
9BC	6.4g	4.6k	1.4c	0.09bc	47f
10BC	7.0f	5.3ij	1.3fghi	0.09bc	373bcde
1BC	7.2ef	5.4hij	1.3defg	0.10bc	134def
17V	7.2ef	5.2j	1.4cd	0.09bc	284bcdef
4BC	7.3ef	5.8fg	1.3hi	0.12abc	458ab
5BC	7.3e	5.9efg	1.2i	0.13abc	380bcde
6V	7.3e	5.5hi	1.3defg	0.10bc	307bcdef
3BC	7.4e	5.6gh	1.3fghi	0.15abc	371bcde
13BC	7.5de	5.9fg	1.3ghi	0.13abc	245bcdef
8C	7.7cd	6.2cd	1.2i	0.12abc	409abcd
19V	7.8cd	5.5hi	1.4bc	0.10bc	151cdef
12BC	7.8cd	6.2cd	1.2i	0.11abc	678a
11BC	7.9c	5.9def	1.3efg	0.10bc	429abc
14V	7.9c	6.1de	1.3ghi	0.25ab	285bcdef
7BC	8.4b	6.0def	1.4cde	0.12abc	427abc
18V	8.5b	6.4bc	1.3efgh	0.31a	110ef
16V	9.2a	6.8a	1.4cdef	0.15abc	253bcdef

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales entre sí (Tukey,  $P < 0.05$ ). LS= longitud de semilla, A= ancho de semilla, RLA= relación longitud/ancho de semilla, M= masa de semilla. <sup>†</sup>Letras que acompañan a cada accesión indican la procedencia: V= Veracruz, C= Campeche, BC= Baja California Sur.

Gil y Miranda (2005), reportaron semillas de tamaño entre 4.0 y 6.0 mm en frutos del híbrido ‘Tainung-1’ y en la variedad ‘Maradol’. La mayoría de los frutos de las accesiones presentaron semillas con valores superiores a los 5.5 mm de LS y 3.8 mm de A (excepto las 2V y 15V), por lo que tendrán mayor densidad y serán más vigorosas que las de menor densidad, resultando plantas mejor desarrolladas (Carvalho y Nakagawa, 2000). No obstante,

las accesiones 2V y 15V produjeron frutos con semillas alargadas; mientras que las 4 BC, 5BC, 8C y 12BC tuvieron semillas con diámetro mayor (redonda) (Cuadro 13). Estos resultados son diferentes a los observados por Gil y Miranda (2005), quienes encontraron la forma ovoide en frutos del híbrido 'Tainung-1' y variedad 'Maradol'. Los frutos de las accesiones 1BC, 2V, 6V, 9BC, 10BC, 11BC, 15V, 17V y 19V en la M fueron iguales estadísticamente ( $P>0.05$ ) entre ellas, pero difirieron estadísticamente de la 18V que presentó cantidad mayor de M (0.31 g). Al respecto, Martins *et al.* (2005) indicaron que la M está relacionada directamente proporcional con el porcentaje de germinación de la semilla en frutos de papayo del grupo 'Formosa'. El número de semillas va a depender del genotipo del papayo, por lo que es necesario buscar aquellos que cumplan con los requerimientos tanto para el procesamiento industrial y consumo en fresco. Aunque en general se prefiere aquellos cultivares con frutos de menor número de semillas; en este sentido, la accesión 9BC presentó el menor número de semillas de 47. Sin embargo, los productores de semilla de papaya prefieren aquellos cultivares con mayor rendimiento de semilla, por su costo económico alto; por lo que, la accesión 12BC que fue superior estadísticamente ( $P<0.05$ ) con 678 semillas, en comparación con el resto de las accesiones, puede utilizarse para este propósito.

#### **2.4. CONCLUSIONES**

La calidad del fruto y las características físicas de la semilla de papaya mostraron variación entre accesiones, independientemente de la procedencia, ya que desarrollaron frutos con características aceptables y no aceptables para el consumidor. Esta diversidad existente de las accesiones de papayo en las características de calidad del fruto aceptables, se pueden utilizar en programas de mejoramiento genético y en un futuro obtener un cultivar nuevo que podría competir con las variedades comerciales.

## 2.5. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M R, D Nieto-Ángel, J L Domínguez-Álvarez, F Delgadillo-Sánchez (2001) Calidad y tolerancia en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz., en la postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura 7:119-130.
- Alcántara J J Á, E Hernández C, S Ayvar S, A Damián N, T Brito G (2010) Características fenotípicas y agronómicas de seis genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) de Tuxpan, Guerrero, México. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 1:35-46.
- Alia-Tejacal I, Y I Astudillo-Maldonado, C A Nuñez-Colín, L A Valdez-Aguilar, S Bautista-Baños, E García-Vázquez, R Ariza-Flores, F Rivera-Cabrera (2012) Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del Sur de México. Revista Fitotecnia Mexicana 35 (Núm. Especial):21-26.
- Alonso M, Y Tornet, M Aranguren, R Ramos, K Rodríguez, M C R Pastor (2008a) Caracterización de los frutos de cuatro cultivares de papaya del grupo Solo, introducidos en Cuba. Agronomía Costarricense 32:169-175.
- Alonso M E, Y Tornet Q, R Ramos R, E Farrés A, M Aranguren G, D Rodríguez M (2008b) Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. Agricultura Técnica en México 34:333-339.
- Badillo V M (2000). *Carica* L. vs *Vasconcella* St. Hil. (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. Ernstia 10:74-79.
- Calegario F F, R Puschmann (1997) Relationship between peel color and fruit quality of papaya (*Carica papaya* L.) harvested at different maturity stages. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 110:228-231.
- Carvalho N M, J Nakagawa (2000) J Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção. Campinas: Fundação Cargil. Brasil. 588 p.
- Castro A A, J D R Pimentel, D S Souza, T V de Oliveira, M da C Oliveira (2011) Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2:49-60.
- Corrales G J, J L Hernández S (2005) Cambio en la calidad postcosecha de variedades de tuna con y sin semilla. Revista Fitotecnia Mexicana 28:9-16.
- Dantas L J L, R M de Souza P, J Firmino de L, F R Ferreira (2000) Catálogo de germoplasma de mãao (*Carica papaya* L.). Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 40 p.
- De Moraes D P L, G Galdino Da S, J Barbosa M, F E Nogueira M, D Jesus D, R Sales J (2007) Pós-colheita de mãao híbrido UENF/Caliman 01 cultivado no Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal: 29:666-670.
- Dias P N L, E J de Oliveira, J L Loyola D (2011) Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetros genéticos. Pesquisa Agropecuária Brasileira: 46:1471-1479.

- Fagundes R G, O K Yamanishi (2001) Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo solo comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília-DF. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal 23:541-545.
- FAOSTAT Food Agriculture Organization of the United Nations (2012) Estadísticas de producción y consumo mundial de frutas y hortalizas. Disponible en: <Http://faostat.Fao.Org/site/567/desktopdefault.aspx?Pageid=567#anchor> (Noviembre 2012).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2000) Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). Disponible en: [Http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm](Http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm).( Enero 2013).
- Gaona-García A, I Alia-Tejacal, V López-Martínez, M Andrade-Rodríguez, M T Colinas-León, O Villegas-Torres (2008) Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el suroeste del estado de Morelos. Revista Chapingo Serie Horticultura 14:41-47.
- Gil A I, D Miranda (2005) Morfología de la flor y de semilla de papaya (*Carica papaya* L.): variedad Maradol e híbrido Tainung-1. Agronomía Colombiana 23:217-222.
- Kumcha U, S Chaikiattiyos, V Prasatsri (2008) Varietal improvement of papaya (*Carica papaya* L.) for fresh consumption. Acta Horticulturae 787:147-150.
- Martins N G, R Ferreira Da S, E Fontes A, M Gonzaga P, H Duarte V, A Pio V (2005) Influência do tipo de fruto, peso específico das sementes e período de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de mamão do grupo formosa. Revista Brasileira de Sementes 27:12-17.
- McGuire R G (1992) Reporting of objective color measurements. HortScience 27:1254-1255.
- Munsell Color Co (2000) Munsell Color Charts for Plant Tissues. Munsell Color Company. New Windsor, New, York.
- Páez R A (2003) Deshoje, raleo de frutos y raleo de plantas enfermas: estrategias de manejo sanitario en papaya. In: Proc. Seminarios participativos agronomía y manejo sanitario de la producción y poscosecha en papaya. A R Páez R (ed.). Research Conference. Valledupar. 1-2 Mayo. CORPOICA-PRONATTA, Colombia. pp:51-54.
- Pérez G F, J B Martínez-Laborde (1994) Introducción a la Fisiología Vegetal. Mundi-Prensa. Madrid, España. 217 p.
- Ramos H C C, M G Pereira, L S A Gonçalves, A P C G Berilli, F O Pinto, E H Ribeiro (2012) Multivariate analysis to determine the genetic distance among backcross papaya (*Carica papaya*) progenies. Genetics and Molecular Research 11:1280-1295.
- Rohlf J F (2010) Ecology and evolution. Software tpsdig version 2.16. Suny at Stony Brook.
- Santamaría B F, R Díaz P, E Sauri D, F Espadas G, J M Santamaría F, A Larqué S (2009) Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. Agricultura Técnica en México 35:347-353.

- Sañudo B J A, J Siller C, T Osuna E, D Muy R, G López Á, J Labavitch (2008) Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:141-147.
- SAS (2002) *Sas user's guide: Statistics. Version 9.0.* Sas Institute: Cary, USA.
- Singh K, A Kumar (2010) Genetic variability and correlation studies in papaya under Bihar conditions. *Acta Horticulturae* 851:145-150.
- Souza T V, E F Coelho, V P da Silva P, C A da Silva L (2009) Avaliação física e química de frutos de mamoeiro 'Tainung no. 1', fertirrigado com diferentes combinações de fontes nitrogenadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4:179-184.
- Vázquez G E, E E Román A, R Ariza F (2008) Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el sur de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (Núm. Especial 3):45-48.
- Villegas M A, A Mora A (2011) Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal Volumen especial, E:179-186.*
- Wyszecki G, W S Stiles (1982) *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae.* 2nd. John Wiley and Sons. New York. 935 p.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

### 1. CONCLUSIONES

En el presente estudio, en las accesiones de *C. papaya* era de esperar hallar variabilidad morfológica baja, debido a que el género *Carica* es monoespecífico, integrado únicamente por *C. papaya*. Sin embargo, se encontró variabilidad morfológica amplia en las plantas femeninas y hermafroditas en las 20 accesiones de papayo provenientes de Baja California Sur, Veracruz y Campeche. Esto probablemente se debió a un proceso de selección natural y antropogénico largo y complejo que responde a diferentes preferencias y presión de selección local por los productores de papaya. Asimismo, de 41 características morfológicas cuantitativas y cualitativas evaluadas, se detectaron ocho características cuantitativas y seis cualitativas que contribuyeron a la variabilidad morfológica total del germoplasma de papayo nativo y que anteriormente se desconocían. Así, dichas características son importantes en futuros estudios de caracterización morfológica en papayo nativo. La variabilidad morfológica existente en las accesiones de papayo nativos, resulta importante en los programas de mejoramiento genético del papayo. Esto con el fin de obtener genotipos superiores con productividad alta y tolerancia al virus de la mancha anular, y frutos de calidad excelente tanto para el consumidor y las industrias. Además de la diversidad morfológica, es trascendental conocer la calidad del fruto y morfología de la semilla de frutos de papayo nativo; ya que la mayoría de las investigaciones se basan básicamente en variedades comerciales de papayo. Por lo que, los valores de calidad entre los frutos de éstas y los del papayo nativo son totalmente diferentes. Dicha variación, se debe principalmente a las condiciones ambientales y tipo de cultivar de papayo. Por ello, es importante definir la calidad del fruto en materiales de papayo nativo, mediante métodos directos, que seguramente servirán de apoyo a los índices de madurez subjetivos de los productores de papaya tipo cera, entre otras. Además, servirán de referencia para otras investigaciones futuras dirigidas en el mismo sentido.

## 2. RECOMENDACIONES

Se sugiere conservar la diversidad morfológica del papayo en diferentes colecciones de germoplasma como *in vitro*, *in situ*, *ex situ*, de semillas, etc., en diferentes instituciones comprometidas con la conservación de los recursos fitogenéticos nativos de México. Esto con el objetivo para que los fitomejoradores tengan acceso al material genético del papayo y en un futuro se incluyan en un programa de mejoramiento genético en papayo con énfasis en tolerancia a enfermedades, y calidad de fruto aceptable por consumidores.

Se recomienda realizar evaluaciones de incidencia del virus de la mancha anular del papayo (VMAP) mediante la prueba ELISA-DAS (*Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay*; Agdia Inc.), principalmente en la accesión 15 (papayo cera amarilla) ya que resultó tolerante al VMAP. Esto con la finalidad de obtener resultados precisos y replicables.

Es importante caracterizar la diversidad genética de las accesiones de papayo a través de marcadores moleculares como: Secuencias Simples Repetidas (SSR), entre otros, ya que son un complemento de las caracterizaciones tradicionales o viceversa. Además, tienen la ventaja de proporcionan información sobre el genoma de cada individuo y no son influenciados por el ambiente.

## ANEXOS

Anexo A. Figuras de las accesiones de papayo bajo estudio en la colección de germoplasma del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz 2011- 2012.



Diversidad morfológica en frutos de accesiones de *C. papaya* de tres estados de México.



Color de pulpa amarilla (A) y roja (B) en frutos de las accesiones 9 de Campeche y 19 de Veracruz, respectivamente.



Planta femenina con presencia de antocianinas fuertes en peciolo de la accesión 16 de Veracruz.



Accesión 15 (Cera amarilla) de Veracruz en plena producción de frutos.