



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

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

**CAMPUS VERACRUZ**

**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**CRECIMIENTO, MORFOLOGÍA FLORAL Y EXPRESIÓN SEXUAL DE  
GENOTIPOS NO COMERCIALES Y COMERCIALES DE PAPAYO (*Carica papaya*  
L)**

**ROCÍO LILIANA AGUIRRE HERNÁNDEZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRIA EN CIENCIAS**

**TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ.**

**2018**

---

La presente tesis titulada: **Crecimiento, morfología floral y expresión sexual de genotipos no comerciales y comerciales de papayo (*Carica papaya* L.)**, realizada por la alumna: Rocio Liliana Aguirre Hernández, 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**

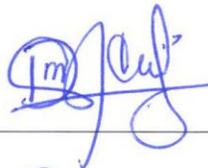
**CONSEJO PARTICULAR:**

CONSEJERA: \_\_\_\_\_



DRA. MÓNICA DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA

ASESORA: \_\_\_\_\_



DRA. DORISMILDA MARTÍNEZ CABRERA

ASESOR: \_\_\_\_\_



DR. SERGIO PÉREZ ELIZALDE

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 05 de abril 2018

## RESUMEN

### CRECIMIENTO, MORFOLOGÍA FLORAL Y EXPRESIÓN SEXUAL DE GENOTIPOS NO COMERCIALES Y COMERCIALES DE PAPAYO (*Carica papaya* L)

Rocío Liliana Aguirre Hernández

Colegio de Postgraduados, 2018

El papayo (*Carica papaya* L.) es una especie polígama con tres tipos de sexo (mm, M<sup>Hm</sup> y Mm), originaria del sur de México y Costa Rica, de gran importancia económica. Puede presentar hasta seis tipos florales (I, II, III, IV, IV+ y V) cuya expresión suele ser inestable y afecta el rendimiento de la fruta. Se realizó un estudio diacrónico y uno sincrónico, para comparar el crecimiento, morfología floral y expresión sexual de genotipos no comerciales (NOCS) y comerciales de papayo; y explorar la correlación de la incidencia de los tipos florales con variables climáticas. El estudio diacrónico se realizó en una huerta de cuatro genotipos NOCS y el genotipo comercial Maradol, y dos huertas más de solo Maradol; el estudio sincrónico fue llevado a cabo en seis huertas con diversas mezclas de genotipos comerciales (Chiapaneca, Mandunjano, Mulata, Guajira, Lenia y Azteca). Todas las huertas se ubicaron en la región Golfo Centro del estado de Veracruz, México. Se encontró, mediante análisis de varianza, que el crecimiento no fue diferente entre cuatro genotipos NOCS y el comercial Maradol, pero sí distinto entre sexos de Maradol, y que la morfología floral fue diferente entre los genotipos NOCS y Maradol. Los genotipos NOCS y Maradol no presentaron diferencias en el número promedio de flores tipo IV, que es el de mayor importancia económica, pero sí respecto a otros tipos florales (OF). La expresión de flores tipo IV y OF fue diferente en los genotipos comerciales: Mandunjano no mostró diferencias entre huertas en la producción de flores IV y OF, y dentro de la huerta Palmas de Abajo, fue la de mayor producción de flores IV. La incidencia de los tipos IV y IV+, se correlacionó positivamente con la temperatura máxima y negativamente con la temperatura mínima.

**Palabras clave:** tipos florales, género en plantas, ginodioica, dioica, polígama.

## ABSTRACT

### GROWTH, FLORAL MORPHOLOGY AND SEXUAL EXPRESSION OF NON-COMMERCIAL AND COMMERCIAL GENOTYPES OF PAPAYA (*Carica papaya* L.)

Rocío Liliana Aguirre Hernández

Colegio de Postgraduados, 2018

Papaya (*Carica papaya* L.), is a polygamous species with three sexes (mm, M<sup>H</sup>m y Mm), native of Southern Mexico and Costa Rica, and of great economic importance. It may produce up to six floral types (I, II, III, IV, IV+ y V) which expression is frequently unstable, affecting the fruit yield. Both a diachronic and a synchronic studies were conducted to compare the growth, floral morphology and sexual expression of non-commercial (NOCS) and commercial phenotypes of papaya, and to explore the correlation of the incidence of the floral types with climatic variables. The diachronic study was carried out on three plantations; one of them growing four NOCS genotypes and the commercial Maradol genotype, the other two growing only Maradol. The synchronic study was conducted on six plantations growing diverse mixtures of commercial genotypes (Chiapaneca, Mandunjano, Mulata, Guajira, Lenia and Azteca). All of the plantations were located at the Golfo-Centro region of the Veracruz state, Mexico. The analysis of variance showed that growth was not significantly different among the NOCS genotypes and Maradol, but different between sexes; floral morphology was different among the NOCS genotypes and Maradol. The mean number of type IV flowers (the most economically important type) was no different among NOCS and Maradol genotypes, but there were differences on the mean number of other floral types (OF). The mean number of flowers type IV and OF was different among the commercial genotypes of the synchronic study; Mandunjano was the genotype producing the highest mean number of flowers type IV, with no differences among plantations. The incidence of IV and IV+ flower types was positively correlated to maximal temperature and negatively correlated to minimal temperature.

**Key words:** floral types, plant gender, gynodioecious, dioecious, polygamous.

## AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme cumplir esta meta, por cada bendición en mi vida, por brindarme salud y sabiduría, por todo ello “gracias señor”.

Esta meta jamás la hubiera realizado sin los consejos, educación y apoyo de mis padres Esperanza Hernández y Oscar Aguirre Melo, a quienes amo y les agradezco por darme la oportunidad de venir a este mundo y a quienes siempre agradeceré cada logro en mi vida.

A Eduardo Aguirre Hernández quiero decirte que te quiero y estoy orgullosa de ti, gracias por tus palabras de ánimo, por tu cariño, paciencia y apoyo siempre hermano.

A mi pareja Rodrigo Flores, quiero agradecerte tu amor, tu paciencia, tiempo y tu enorme apoyo en este logro, gracias por tus palabras de ánimo. Gracias por vivir esta aventura conmigo, TE AMO.

Muchas gracias 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.

Agradezco al Dr. Catarino Ávila, por su apoyo desde la residencia profesional, gracias por cada una de sus enseñanzas, facilidades, regaños, consejos y por todo su apoyo y confianza en esta etapa. Su apoyo y consejo fueron pieza clave en el logro de esta meta. Gracias doctor por formarme en lo profesional y hacer de mí una mejor persona. Ahora desde el cielo deme su bendición y siga guiándome en el camino personal y profesional.

Agradezco a mi consejera, Dra. Mónica de la Cruz Vargas Mendoza por su enorme apoyo desde el principio, por siempre tener tiempo para mí, por su apoyo con la parte estadística, sus enseñanzas, su paciencia y por el gran ser humano que es, siempre le estaré muy agradecida. Gracias por escucharme y recordarme que con la ayuda de Dios todo es posible.

Agradezco a la Dra. Dorismilda Martínez Cabrera por su enorme apoyo, por sus prontas respuestas cuando más lo necesite, por sus consejos, enseñanzas y palabras de ánimo, gracias por formar parte de mi consejo.

Gracias al Dr. Sergio Pérez Elizalde por formar parte de mi consejo y por el apoyo brindado en este proceso.

A cada profesor le agradezco los conocimientos aportados a mi persona y gracias por explotar lo mejor de mí, haciéndome una buena estudiante y profesionista.

También quiero agradecer enormemente a los productores Ramiro Hernández, Alejandro Amaro, Gregorio Hernández, José Luis Zúñiga por la enorme oportunidad de realizar mi experimento en sus huertas. Siempre les agradeceré su apoyo, amistad y confianza.

Quiero agradecer a Rodrigo Flores Bautista y Xicotencatl Cruz del Ángel por el apoyo brindado en campo cuando más lo necesite. A Gregorio Hernández Salinas por el apoyo brindado cuando me surgían dudas.

Quiero dar gracias a cada uno de mis compañeros con los que compartí, fiestas, alegrías, tristezas, enojos. Me los llevo en el corazón y pensamiento a cada uno, formaron parte de mi vida y compartieron conmigo un momento de su vida.

Gracias a cada una de las personas que formaron parte de esta etapa, personal de dirección, subdirección de educación, departamento de compras, departamento de administración. Gracias por cada servicio brindado.

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Teoría de sistemas .....	3
2.2. Conceptualización del agroecosistema.....	4
2.2.1. Agroecosistemas con papayo.....	5
2.3. Importancia económica del papayo.....	6
2.4. Requerimientos edafoclimáticos de la papaya .....	7
2.5. Descripción e identificación botánica del papayo.....	8
2.5.1. Fenología .....	9
2.6. Sistemas de apareamiento en papayo .....	10
2.6.1. Tipos florales de papayo <i>Carica papaya</i> L. ....	11
2.6.2. Polinización .....	13
2.6.3. Poblaciones de papaya según sus sistemas de apareamiento .....	14
2.6.4. Expresión sexual de <i>Carica papaya</i> L.....	16
2.6.5. Inestabilidad en la floración de variedades comerciales de papayo .....	17
<b>III. HIPÓTESIS .....</b>	<b>19</b>
3.1. Hipótesis general .....	19
3.2. Hipótesis específicas .....	19
<b>IV. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
4.1. Objetivo general .....	19
4.2. Objetivos específicos.....	19
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>

5.1. Estudio diacrónico.....	20
5.2. Estudio sincrónico.....	22
5.3. Tamaños de muestra.....	24
5.4. Variables evaluadas.....	24
5.4.1. Altura, crecimiento y desarrollo.....	24
5.4.2. Proporciones sexuales poblacionales.....	25
5.4.3. Morfología floral.....	26
5.4.4. Expresión sexual de tipos florales y su relación con las variables climáticas.....	26
5.5. Análisis estadístico.....	27
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
6.1. Altura, crecimiento y desarrollo.....	28
6.2. Proporciones sexuales poblacionales.....	33
6.3. Morfología floral.....	34
6.4. Expresión de tipos florales.....	36
6.5. Expresión sexual de tipos florales y su relación con las variables climáticas.....	42
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>IX. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo A.</b> Huertas del estudio diacrónico (A) Colegio de Postgraduados., B) Soledad de Doblado, C) Cedralito.....	<b>62</b>
<b>Anexo B.</b> Genotipos de la huerta Palmas de Abajo, Actopan, del estudio Sincrónico.....	<b>63</b>
<b>Anexo C.</b> Huertas del estudio Sincrónico. A) El Porvenir, B) Tenacalco, C) Santa Rosa.....	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Agroecosistema con papayo (E=entrada, I=interacción, S=salidas)	13
Figura 2. Principales exportadores mundiales de papaya. Fuente: SIAP, 2016.	14
Figura 3. Tipos florales en el papayo. Fotografía del Dr. Catarino Ávila Reséndiz	19
Figura 4. Tipos florales de papayo observados en la investigación.	19
Figura 5. Ubicación de las huertas muestreadas en las localidades del estado de Veracruz. El símbolo naranja representa a las huertas del estudio diacrónico y el símbolo amarillo corresponde al estudio sincrónico.	28
Figura 6. Variables estimadas. A) y B) Altura de planta, C) Altura a la primera flor o fruto y conteo de nudos a la primera flor o fruto	33
Figura 7. Variables estimadas: A) Longitud de la flor, B) Diámetro de la corola, C) Conteo del número de pétalos y sépalos, D) Observación, identificación y conteo de los tipos florales.	34
Figura 8. Altura de los genotipos NOCS y Maradol (SOL=Soledad, CED=Cedralito, CP=Colegio de Postgraduados, Mar=Maradol, G77, G207, G216, G15=NOCS F=femenina, HF=hermafrodita) a los cuatro meses de edad evaluadas en el estudio diacrónico.	37
Figura 9. Altura final de los genotipos NOCS y Maradol (SOL=Soledad, CED=Cedralito, CP=Colegio de Postgraduados, Mar=Maradol, G77, G207, G216, G15=NOCS F=femenina, HF=hermafrodita).	37
Figura 10. Altura de las variedades con cuatro meses de edad evaluadas en el estudio sincrónico. CHIAP=Chiapaneca, CE=Colonia Ejidal, POR=El Porvenir, TEN=Tenacalco, MAND=Mandunjano, PAL=Palmas de Abajo, SR=Santa Rosa.	38

Figura 11.	Expresión del tipo floral IV en cinco variedades en la huerta Palmas de Abajo	48
Figura 12.	Expresión de OF (II, III, IV+) en cinco variedades en la huerta Palmas de Abajo	49
Figura 13.	Humedad relativa (%) y punto de rocío (°C) de la huerta Cedralito, Soledad y Colegio de Postgraduados.	52
Figura 14.	Temperatura (°C) de la huerta Cedralito, Soledad y Colegio de Postgraduados.	53

### ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina	
Cuadro 1.	Clasificación botánica del papayo	17
Cuadro 2.	Combinaciones de cruzamiento o autopolinización y sus relaciones de segregación en la progenie del papayo ( <i>Carica papaya</i> L.).	22
Cuadro 3.	Muestreos realizados en el estudio diacrónico.	29
Cuadro 4.	Genotipos NOCS y comerciales observados en la fase diacrónica	30
Cuadro 5.	Características agronómicas de las huertas estudiadas en la fase diacrónica	30
Cuadro 6.	Genotipos comerciales observados en la evaluación sincrónica.	31
Cuadro 7.	Características agronómicas de las huertas estudiadas en la fase sincrónica	31
Cuadro 8.	Proporciones teóricas descritas para el papayo.	33
Cuadro 9.	Crecimiento (cm), altura al primer fruto (APFru), altura a la primera flor (APFlor), número de nudos al primer fruto	40

(NDNAPFru) y número de nudos a la primera flor (NDNAPFlor) de plantas femeninas y hermafroditas de los genotipos NOCS y Maradol en las huertas Colegio de Postgraduados (CP), Cedralito (CED) y Soledad (SOL)

Cuadro 10.	Prueba de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) para los genotipos NOCS y la variedad Maradol.	42
Cuadro 11.	Media $\pm$ desviación estándar de la longitud de la flor y diámetro de la corola de los tipos florales expresados en genotipos NOCS y Maradol en la huerta Colegio de Postgraduados.	44
Cuadro 12.	Expresión del tipo floral IV y otras flores (OF: II, III, IV+) en genotipos NOCS y Maradol de la huerta del Colegio de Postgraduados.	45
Cuadro 13.	Correlaciones de Pearson entre la producción de tipos florales y temperaturas máxima, mínima y media	55

## I. INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya* L.) es originario del sur de México y Costa Rica (Gil y Miranda, 2008), la especie se ha extendido a muchas regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Kim *et al.*, 2002), su dispersión ha sido limitada por la sensibilidad al frío (Allan, 2007). La familia Caricaceae está formada por seis géneros y 35 especies, siendo *C. papaya* la única especie del género *Carica* y la más importante económicamente (Salvatierra-González y Jana-Ayala, 2015).

La familia Caricaceae en su gran mayoría contiene especies dioicas, la incidencia de este sistema en la familia es alto en contraste con otras especies de plantas con flores donde ocurre solo en un 6 % de las especies (Aguirre *et al.*, 2009). *C. papaya*, es una especie polígama con tres tipos de plantas morfológicamente y sexualmente distintas: pistilada (mm), estaminada (Mm) y hermafrodita (M<sup>H</sup>m) (Ramos *et al.*, 2011); y presenta tres tipos de poblaciones: dioica (plantas pistiladas y estaminadas), ginodioica (plantas hermafroditas y femeninas) y polígama o también conocida como trioica con la presencia de plantas pistiladas, estaminadas y hermafroditas (Moore, 2014). En Brasil, como en otros países tropicales, se prefieren las variedades con poblaciones ginodioicas por ser plantas productivas (Ramos *et al.*, 2011). Respecto a las tres formas sexuales de la especie se diferencian seis tipos florales: femenino (I), cuatro hermafroditas (II, III, IV, IV+) y uno masculino (V) (Storey, 1941; Ming y Moore, 2007; Chan, 2009).

El papayo es un frutal con amplio interés agrícola y comercial; su fruto se consume en fresco, así como también se extrae la enzima papaína del látex del fruto con sus diversos usos industriales, por ello este frutal se cultiva en zonas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Castro *et al.*, 2002). El papayo cuenta con un alto potencial económico y México ocupa el sexto lugar como productor mundial (Granados *et al.*, 2015). Después de los cítricos es uno de los principales frutales que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales, consumiéndose en fruta fresca y productos transformados, así también se aprovecha la enzima papaína en la industria (Da Silva *et al.*, 2007). Sin embargo, los rendimientos de este cultivo son afectados por problemas que enfrenta el productor como baja producción de semilla, el excesivo uso de químicos, la gran diversidad de plagas, enfermedades y actualmente se suma el problema de la inestabilidad floral en plantas hermafroditas (Feíto y Portal, 2013).

En los cultivos de papayo, la poligamia y heterosexualidad representan un grave problema en el rendimiento y calidad de los frutos, teniendo como principal limitante distinguir el sexo de planta hasta el inicio de la floración (Castro *et al.*, 2002). Estudios moleculares recientes han demostrado que la determinación del sexo de la especie es controlada genéticamente (Moore, 2014). Sin embargo, a pesar de los avances que existen en la investigación sobre los mecanismos moleculares de la determinación del sexo en papaya, existe poca comprensión sobre la expresión de las formas sexuales y sus variantes en plantas hermafroditas que directamente afectan la producción de frutos comerciales (Da Silva *et al.*, 2007; Damasceno-Júnior *et al.*, 2008). Ramos *et al.* (2011) mencionan que el factor genético y la influencia de las variables climáticas son los responsables del grado de inestabilidad de las plantas hermafroditas en su expresión sexual. La inestabilidad en la floración de las plantas hermafroditas se refiere a la expresión de flores petandras (II) que producen frutos globulares similares a los que producen las femeninas (I), flores carpeloides (III) que producen frutos deformes (cara de gato) sin valor comercial y como último caso la flor estéril (IV+); estas variaciones, llamadas anomalías florales, reducen el rendimiento del cultivo y aumentan su estacionalidad. Genéticamente, este problema se ha asociado al factor letal en alelos dominantes responsables del hermafroditismo y masculinidad, pero también se atribuye a la influencia ambiental (Da Silva *et al.*, 2007; Damasceno-Junior *et al.*, 2008; Ming *et al.*, 2008). Los diferentes programas de mejoramiento no han podido satisfacer las necesidades de los productores, principalmente por la dificultad que los genotipos presentan para adaptarse a condiciones específicas de los agroecosistemas en sus diversos ambientes (Ortiz *et al.*, 2003). Estos mismos autores mencionan que los programas de mejoramiento están trabajando dentro de varios ambientes con la finalidad de tener evidencias de la interacción genotipo-ambiente; esta relación es importante en la variabilidad fenotípica y comportamiento diferenciado de los genotipos en diversos ambientes.

La inestabilidad floral está siendo estudiada en variedades comerciales (hawaianas, híbridos y Maradol), pero su incidencia en genotipos no cultivados o no comerciales (NOCS) aún no se ha caracterizado y evaluado a profundidad, de modo que se desconoce su rendimiento y calidad. Actualmente el éxito de un fruto de papaya en el mercado depende de la demanda del consumidor, y en este sentido se prefieren frutos de menor tamaño y de forma alargada (Rodríguez *et al.*, 2014). Existen genotipos con potencial comercial como la variedad Maradol, que cuenta con atributos de color, tamaño y consistencia en sus frutos satisfactorios para el consumidor. Sin embargo, debido

a la inestabilidad floral, es común que presente problemas de esterilidad y deformación en frutos, que contribuyen a un bajo rendimiento, principalmente en temporadas con altas o bajas temperaturas (Santamaría *et al.*, 2016).

Por ello con el desarrollo de esta investigación se buscó aportar información sobre la inestabilidad floral respecto a la producción de tipos florales en genotipos comerciales y no comerciales (NOCS) de origen silvestre, y explorar la incidencia de los tipos florales y su relación con variables climáticas como temperatura, humedad relativa y punto de rocío. Por lo que se planteó como objetivo comparar el crecimiento, desarrollo, morfología floral y expresión individual y poblacional de genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L); así como determinar la influencia de variables climáticas sobre la incidencia de tipos florales en plantas hermafroditas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Teoría de sistemas

La presente investigación considera algunos aspectos de la teoría general de sistemas para estudiar el agroecosistema papaya, considerando aspectos ecológicos, ambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan y se relacionan entre sí, estos pueden ser conceptos, objetos o sujetos (Von Bertalanffy, 1976; Van Gigch, 1990). Los sistemas pueden considerarse una abstracción de la realidad, un modelo del fenómeno que se quiere estudiar, para ello, los sistemas pueden ser cerrados (sin considerar entradas, salidas, ni la interacción con el medio ambiente) o abiertos (considerando entradas, salidas, relación con el medio ambiente, pero, sin la acción de un controlador), una variante del sistema abierto es el cibernético al que se le ha agregado la acción de un controlador (Martínez-Dávila *et al.*, 2004). Un sistema es un grupo de unidades interrelacionadas entre sí, con otras de su mismo nivel y con otras de orden superior (Van Gigch, 1990). La teoría de sistemas indica que debemos abordar el problema en toda su complejidad a través de una forma de pensamiento, basada en la totalidad de sus propiedades, la idea esencial es comprender que en los sistemas no hay unidades aisladas, por el contrario, todas sus partes actúan con una misma orientación y un mismo fin; siendo necesario el funcionamiento de todos los elementos que integran el sistema (Vilaboa, 2013).

## 2.2. Conceptualización del agroecosistema

La palabra agroecosistema está compuesta por dos palabras agro (del latín *ager*, campo, tierra fuente de producción) y ecosistema (conjunto de organismos vivos y no vivos que interactúan con el medio físico) (Ruiz, 2006). Partiendo de estos conceptos, la palabra agroecosistema fue introducida en las investigaciones mexicanas por el maestro Hernández X. (1997), definiéndolo como un ecosistema modificado por el hombre para utilizar los recursos naturales en la producción agrícola. Por su parte Conway (1987), lo define como un ecosistema modificado por el hombre para utilizar los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre. En cambio, Hart (1985), indica que un agroecosistema es un sistema formado por un grupo de especies propias de un hábitat determinado interactuando con su medio ambiente, en el cual se procesan entradas de energía y materiales que producen salidas. Ruiz (1995) lo define como la unidad de estudio donde interactúan factores tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos, para obtener productos que satisfacen las necesidades del hombre por un periodo de tiempo.

A pesar de las múltiples definiciones del agroecosistema, Altieri (1999) menciona que pueden existir muchas maneras de definirlo sin embargo resulta difícil marcar límites exactos. En un agroecosistema (AGES) existe un controlador (hombre) parte fundamental, ya que es quien modifica y toma la decisión respecto a la finalidad del sistema (Altieri, 1995). Gliessman (2002) menciona que un AGES puede verse como un sitio donde se integra la producción agrícola y el concepto de este facilita un marco para analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad incluyendo sus conjuntos complejos y sus productos e interacciones entre sus componentes. Martínez-Dávila *et al.* (2004) coincide con Ruiz (1995) mencionando que es una unidad de estudio donde existen entradas, salidas y se observan en la totalidad de los factores que inciden en el equilibrio o desequilibrio del sistema, analizándolo desde su perspectiva más general: económico, político, cultural y los físico-químico-biológicos. Un agroecosistema puede comprenderse como un espacio de producción que puede ser una granja, finca, parcela, milpa, solar (Gliessman, 2002). Sin embargo, Vilaboa *et al.* (2009) y Martínez-Dávila *et al.* (2011) visualizan un Agroecosistema como una abstracción que facilita la interpretación de la realidad agrícola.

### 2.2.1. Agroecosistemas con papayo

Los agroecosistemas tropicales pueden incluir como componente principal al papayo. Estos agroecosistemas tienen la finalidad de obtener bienes y servicios para el ser humano, siendo el controlador (hombre) quien determina la función, estructura y límites del mismo (Figura 1). El cultivo de papaya es un cultivo rentable que ofrece beneficios económicos, ecológicos, sociales, tecnológicos y políticos al productor y a la sociedad. Visto como una abstracción de la realidad, es un modelo conceptual del sistema natural que es modificado por el hombre con la finalidad de estudiar, analizar e interpretar algún fenómeno. La idea básica es observar la realidad de un modo integral.

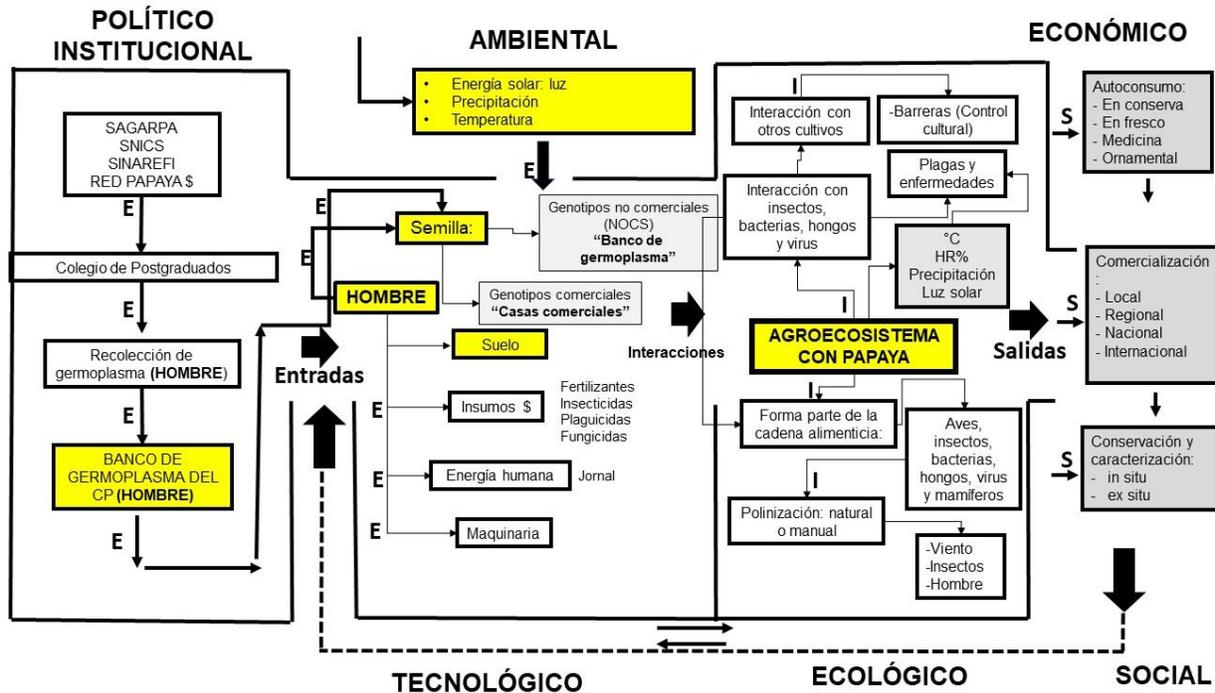


Figura 1. Agroecosistema con papayo (E=entrada, I=interacción, S=salidas)

### 2.3. Importancia económica del papayo

La economía de México está basada en el tratado de libre comercio (TCL) que regula el 90 % del comercio en cuarenta países incluyendo a Unión Europea, Japón, Israel y países de América Central y del Sur. México se encuentra dentro del sector agroalimentario, siendo exportador de tomate, pepino, aguacate, sandía y papaya; este último es uno de los frutos que ha logrado posicionar a México con el primer lugar en exportación (Feíto y Portal, 2013). La papaya es la tercera fruta tropical más consumida en el mundo y por el dinamismo en su comercialización, se considera una de las más importantes económicamente (Granados *et al.*, 2015; SIAP, 2016).

Actualmente, México ocupa el primer lugar en exportación de papaya (Figura 2), siendo Estados Unidos de América y Canadá su principal mercado. México ocupa el quinto lugar como productor mundial aportando el 6.2 % de la producción mundial (SIAP, 2016; Bermúdez-Guzmán *et al.*, 2017; SAGARPA 2017). Los estados con mayor producción de papaya Maradol son Oaxaca (32.7 %), Colima (16.5 %) Chiapas (13.6 %), Veracruz (10.9 %) y Michoacán (7.3 %) aportando un volumen total de 81.1 % a nivel nacional (SIAP, 2016).

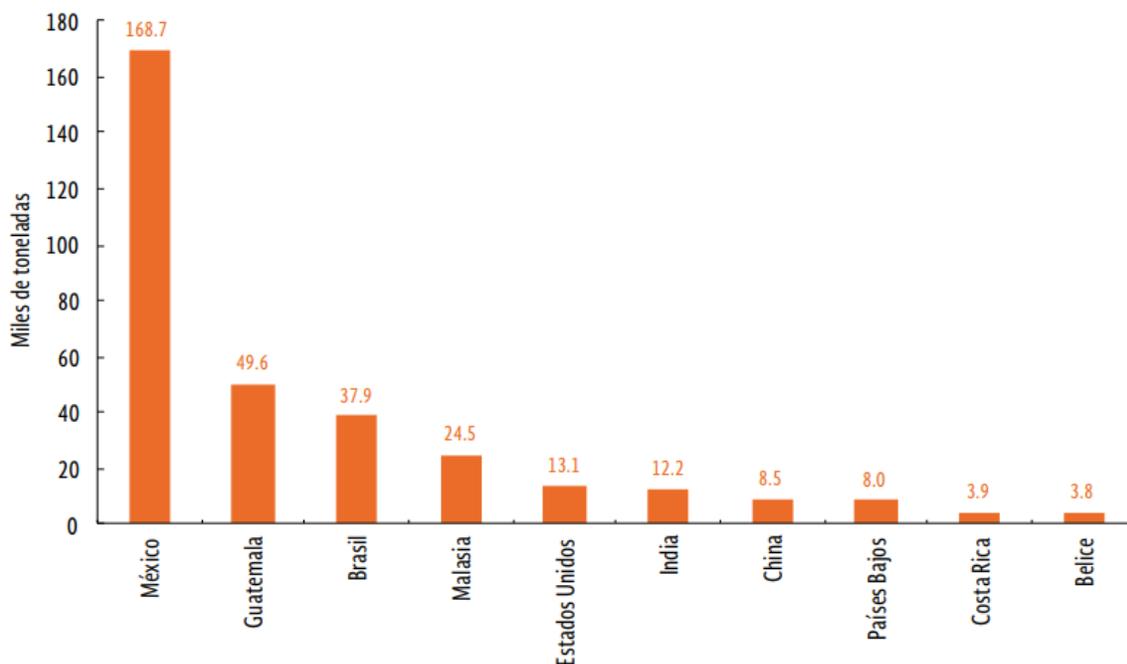


Figura 2. Principales países exportadores de papaya. Fuente: SIAP (2016).

Los municipios Adalberto Tejeda, Cotaxtla, Ignacio de la Llave, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Soledad de Doblado y Tlaxiucoyan que conforman el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 007 del estado de Veracruz, por varios ciclos agrícolas fueron los que contaban con la mayor producción en el estado (Granados *et al.*, 2015). Es importante resaltar que a pesar de que Veracruz se encuentra entre los principales productores tiene un promedio de 31.16 toneladas por ha (Feito y Portal, 2013); este bajo rendimiento se atribuye a la influencia de plagas y enfermedades que afectan al cultivo (SIAP, 2016).

En México, las principales variedades que se cultivan son Maradol, Maradol roja, Hawaiana Amarilla y Criolla (SIAP, 2016). Sin embargo, la introducción de la variedad Maradol en el país tuvo como consecuencia el desplazamiento y la baja producción de los genotipos nativos tales como los tipos Cera o Amarilla y Mamey o Amameyada (Villanueva-Jiménez *et al.*, 2015). Entre los tipos nativos cultivados se encuentra la Cera o Amarilla, Mamey y Coco, mismas que se comercializan en mercados regionales o locales y en forma silvestre se encuentra el papayo de monte o también conocida como papaya cimarrona, “pajarito” o el Chiche o papaya de venado como se le conoce en Veracruz y Puebla (Romero, 2013).

La principal variedad de papaya que se cultiva en México es Maradol (Granados *et al.*, 2015; SIAP, 2016) siendo la más apreciada en el mercado nacional y Estados Unidos de América, sin embargo, presenta problemas de bajos rendimientos, susceptibilidad a virosis y tamaño relativamente grande en sus frutos (Posada *et al.*, 2010); esta variedad puede ser productiva con un buen manejo agronómico, pero en ciertas temporadas del año (otoño-invierno y abril- junio) donde el cultivo coincide con altas o bajas temperaturas la floración se ve afectada con esterilidad y carpeloidia, lo que repercute en un bajo rendimiento (Mirafuentes y Santamaría, 2014).

#### **2.4. Requerimientos edafoclimáticos de la papaya**

Se adapta a diferentes latitudes, climas y suelos, su producción se ha extendido hasta latitudes de 32° N y S a nivel del mar (García *et al.*, 2010) teniendo una mayor producción comercial entre los 23° N y S (Chan, 2009). Esta especie requiere una altitud de 0 a 600 m.s.n.m. con una precipitación de 800 a 2000 mm anuales, no tolera sequías, por lo que es necesario tener un sistema de riego (García *et al.*, 2010). El déficit de agua limita el crecimiento y favorece la esterilidad (Dos Santos *et al.*, 2008) y la producción de fruto (Kruger y Mostert, 2007); por otro lado el exceso de agua afecta la absorción de nutrientes y disminuye la disponibilidad de oxígeno en el sistema radicular

y aumenta posibilidad de plagas y enfermedades (Campostrini y Glenn, 2007). Al respecto Jeyakumar *et al.* (2007) mencionan que el déficit de agua mayor al 82 % disminuye la conductancia estomática y asimilación de CO<sub>2</sub>, conduciendo a estrés.

La humedad relativa es otro requerimiento importante, esta no debe ser menor al 65 % para mantener una óptima conductancia estomática y un buen crecimiento del cultivo (García *et al.*, 2010). El papayo no es un cultivo exigente al tipo de suelo, pero sí, deben tener un buen drenaje, los suelos idóneos son los de textura media con un 10 a 30 % de arcilla con profundidades mayores a 80 cm y con pH entre 5.6 a 7 (Chan, 2009; Garcia *et al.*, 2010).

La temperatura es una de las limitantes, la óptima se encuentra entre 21 y 33° C con un óptimo de 25 a 30° C para fotosíntesis, siendo extremadamente sensible a heladas y si la temperatura disminuye por debajo de los 12° C durante varias horas por la noche, el crecimiento y la producción se ven afectados gravemente, esto debido a que los estambres se fusionan con los carpelos del ovario provocando carpeloidia en los frutos (Chan, 2009). Por el contrario, las temperaturas mayores a 35° C provocan esterilidad floral debido a que el ovario se atrofia por lo que el fruto no se desarrolla o crece deforme (Abreu, 2000; Chan, 2009).

## **2.5. Descripción e identificación botánica del papayo**

El papayo *Carica papaya* L. es una especie dicotiledónea, perennifolia de consistencia herbácea (Agusti, 2004), perteneciente a la familia *Caricaceae* (Cuadro 1). Yogiraj *et al.* (2014) lo describen como un árbol herbáceo grande y perenne, con un tallo no leñoso y hueco en su interior, de hasta 20 m; hojas palmeadas, lobuladas con márgenes enteros y peciolo de más de un metro de longitud, las cuales se aglomeran en forma de racimos terminales. Las hojas primarias de una planta de papayo no son lobuladas hasta la producción de las segundas hojas; la filotaxia de las hojas es en espiral de 3 a 8 por semana (Paterson *et al.*, 2008). Sus frutos pueden contener hasta 1000 semillas; esta especie cuenta con una alta plasticidad fenotípica al reproducirse en lugares perturbados y formar parte de diversos agroecosistemas (Jiménez *et al.*, 2014).

Es una especie diploide con un pequeño genoma de 372 Mbp/1C y nueve pares de cromosomas (2n=18); el genoma de esta especie se posiciona entre hierbas y árboles por la capacidad de producir hidratos de carbono, respuestas fotoperiódicas y metabolitos secundarios (Ming *et al.*, 2008). El género *Carica* se deriva de una clase de higo que tiene las hojas y frutos semejantes a la planta de papayo (Bennett y Leitch, 2005). Anteriormente la familia estaba clasificada en cuatro

géneros, *Cyclimorpha*, *Jacaratia*, *Jarilla*, y *Carica*, este último compuesto por 21 especies (Badillo, 1971). Posteriormente la familia *Caricaceae* se reclasificó en seis géneros con la incorporación de *Vasconcellea* y *Horovitzia*, y el género *Carica* se redujo a una sola especie siendo esta quien representa a la papaya cultivada (Badillo, 2000) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación botánica del papayo

Dominio	Planta con flores
Reino	Plantae
Sub Reino	Tracheobionta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Superdivisión	Spermatophyta
Phyllum	Steptophyta
Orden	Brassicales
Familia	<i>Caricaceae</i>
Género	<i>Carica</i>
Nombre botánico	<i>Carica papaya</i> L.

Tomado de Yogiraj *et al.* (2014).

### 2.5.1. Fenología

La papaya es perennifolia de alta capacidad fotosintética y crecimiento rápido (Vargas, 2013). Sus frutos los produce de forma continua en las axilas de las hojas dispuestas en espiral a lo largo del mismo tallo. Su periodo de vida puede ser de cinco a 10 años en forma silvestre (Chan, 2009), aunque Valdés (2002) menciona que el papayo puede vivir hasta 20 años en vida silvestre, especificando que solo los tres primeros años son los de mayor producción. La vida del papayo en plantaciones comerciales se ha reducido a un año por cuestiones patológicas y dificultad en la cosecha, debido a que los árboles llegan a ser demasiado altos (Jiménez *et al.*, 2014).

La temperatura óptima para el desarrollo del papayo es de 15 a 35 °C, y de 25 a 30 °C para la fotosíntesis. Las temperaturas inferiores a 15° C inhiben el desarrollo de las flores, follaje, frutos y una temperatura de -4° C resulta letal para la planta (Valdés, 2002). En relación a la

temperatura las poblaciones dioicas son más estables frente a la variación de las temperaturas, los árboles pistilados a temperaturas  $<20^{\circ}\text{C}$  no muestran variantes en su floración como los árboles hermafroditas (Chan, 2009).

La fenología del papayo abarca cuatro etapas, la juvenil que va desde el trasplante hasta el inicio de la floración, la segunda etapa es la floración que se determina desde la aparición del primordio floral hasta que la flor es polinizada (antesis), y la fructificación o amarre de los frutos se determina desde el primer flujo de floración hasta el inicio de cosecha, posterior a ello la última etapa es la maduración de los frutos para la cosecha (Vázquez-García *et al.*, 2008).

En la segunda etapa ocurren diferentes fases para que lleve a cabo la antesis: a) iniciación floral, b) aparición de botones florales, c) diferenciación de los estambres, d) diferenciación del ovario, e) desarrollo completo del ovario, f) maduración de los órganos florales, g) antesis y h) autopolinización; las temperaturas bajas interrumpen el desarrollo de los estambres y las altas temperaturas inhiben el desarrollo de estambres y carpelos (Milene de Figueiredo, 2011).

Frecuentemente se encuentra al papayo en traspatios de muchos países en desarrollo, pero, cada vez más se cultiva en plantaciones comerciales para el mercado nacional y exportación, siendo la mayor ventaja del cultivo su maduración temprana y alto rendimiento. La mayoría de las papayas en los trópicos pueden ser cosechadas a los 8 o 9 meses después de la siembra y los rendimientos pueden variar de 60 a 100 t ha<sup>-1</sup> por año, lo que la recuperación de la inversión es rápida (Chan, 2009).

## **2.6. Sistemas de apareamiento en papayo**

El papayo es una especie polígama con tres tipos sexuales: plantas con sexo masculino, femenino y hermafroditas, siendo las dos últimas las que producen frutos. Las plantas masculinas producen pequeñas flores tubulares amarillas agrupadas en racimos que se mantienen en panículas cimosas con pedúnculos largos y se desarrollan en las axilas. Las plantas femeninas producen flores de color amarillo-blanco con un ovario grande y súpero, con pedúnculo corto distribuyéndose en las axilas de las hojas. Las plantas hermafroditas producen flores perfectas (flores bisexuales), igual que las femeninas desarrollan un pedúnculo floral corto y se desarrollan en las axilas (Cráne, 2005).

### 2.6.1. Tipos florales de papayo *Carica papaya* L.

La papaya presenta tres tipos de sexos (mm, Mm y M<sup>Hm</sup>) y seis tipos florales (I, II, III, IV, IV+ y V). La descripción morfológica se realiza de acuerdo a los autores Storey (1941); Valdés (2002); Chan, (2009); Carvalho y Renner (2013) y Jiménez *et al.* (2014) (Figura 3 y 4).

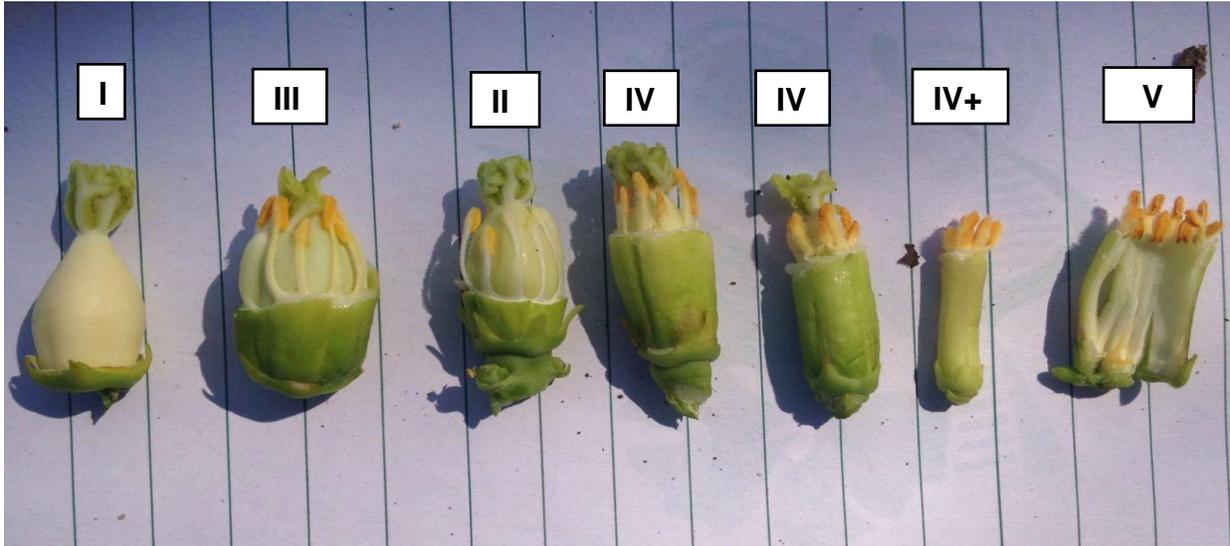


Figura 3. Tipos florales en el papayo. Fuente: Ávila Reséndiz, 2016.

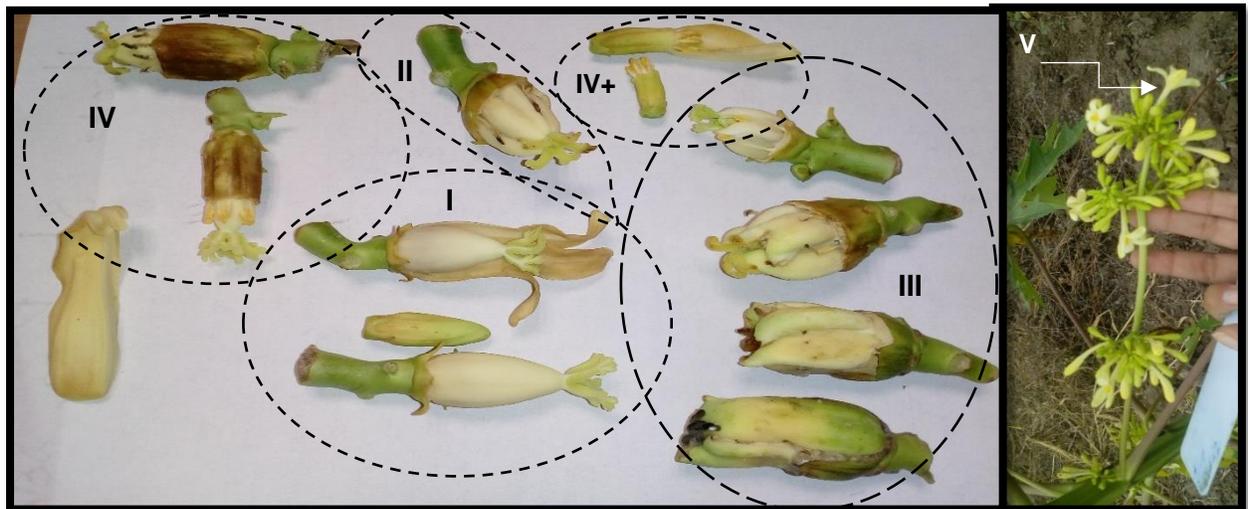


Figura 4. Tipos florales de papayo observados en la investigación. Fuente: Aguirre-Hernández, 2017.

### **Flor tipo I: Pistilada o femenina**

La flor femenina posee un pistilo y se caracteriza por no presentar anteras ni polen, es de mayor tamaño que la flor masculina y la hermafrodita llegando a medir hasta 7 cm de longitud, presenta coloraciones que van del blanco a crema-amarillento y su forma es cónica. Su desarrollo es en el tallo, específicamente en las axilas de las hojas y su crecimiento puede ser en racimos de cinco flores o solitaria. La flor cuenta con cinco pétalos libres y su ovario es dentado, globoso formado por cinco sépalos, cinco carpelos y cinco estigmas (Figura 3 y 4). Los frutos producidos por este tipo de flor regularmente tienden a ser globosos. Las flores femeninas son estables en su floración, no sufren reversión sexual o deformaciones debido a fluctuaciones ambientales.

### **Flor tipo II: Hermafrodita petandra**

Este tipo de flor tiene una similitud al tipo I, se diferencia por presentar cinco estambres cuya longitud es más corta que la del estigma. Los estambres poseen una antera que se encuentra adherida a la base de la corola y que alterna con los pétalos, los cuales no se encuentran separados en toda su longitud, puesto que se unen ligeramente en su base formando un cuello irregular. El ovario tiene cinco surcos profundos longitudinales que permanecen hasta la madurez, produciendo un fruto de forma globular u ovoide (Figura 3 y 4).

### **Flor tipo III: Hermafrodita irregular o carpeloide**

La organización de esta flor es confusa, puede presentar de seis a nueve estambres, su forma se considera intermedia entre el tipo II y el tipo IV, tiene un ovario irregular, posee cinco pétalos que se encuentran unidos hasta un tercio de su longitud, desarrolla cinco sépalos y carpelos (Figura 3 y 4). Sin embargo, De los Santos *et al.* (2000) describe que el número de carpelos pueden variar entre cinco y diez, con diversos grados de fusión. Estas flores se desarrollan en cimas acompañadas por otros tipos florales. Este tipo de flores producen frutos carpelódicos o también llamados “cara de gato” sin valor comercial.

### **Flor tipo IV: Hermafrodita elongata**

Este tipo de flor es mejor conocida como la flor hermafrodita perfecta, posee diez estambres y un pistilo bien desarrollado que garantiza la mejor producción tanto de frutos como de semillas. Su ovario es cilíndrico y alargado. Los estambres están agrupados en pares: cinco de ellos son subsésiles y opuestos a los lóbulos mientras que los otros cinco restantes tienen un filamento corto que se encuentra al margen de los pétalos. Desarrolla cinco carpelos, pétalos y sépalos. Los pétalos

de esta flor están unidos en más de dos tercios de su longitud, formando una corola gamopétala regular (Figura 3 y 4). Los frutos son de forma elongata (alargados), sin embargo, De los Santos *et al.* (2000) mencionan que este tipo de flor puede presentar más de cinco carpelos, produciendo frutos de forma piriforme.

#### **Flor tipo IV+: Hermafrodita estéril o cornetilla**

Este tipo de flor hermafrodita es muy parecida a la flor masculina, en la que se observan solamente los estambres con polen y un pistilo rudimentario muy pequeño que pocas veces produce frutos. De los Santos *et al.* (2000), mencionan que es muy parecida a la flor elongata sin desarrollar ovario, pero que funcionalmente es una flor masculina que únicamente produce polen. La única diferencia entre este tipo floral y la masculina (V) es su desarrollo floral, este se desarrolla en cimbras en las axilas por lo contrario la masculina se desarrolla en panículas colgantes (Figura 3 y 4).

#### **Flor tipo V: masculina**

Este tipo de flor posee 10 estambres en dos series de cinco, el tubo de la corola es largo y delgado, la corola es gamopétala, posee un pequeño pistilo rudimentario sin estigma, su desarrollo floral es en inflorescencias (panícula cimosa) y algunas veces produce frutos (Figura 3 y 4). Las flores crecen en racimos a lo largo de la panícula colgante que puede medir de 25 a 100 cm de longitud (Cráne, 2005).

### **2.6.2. Polinización**

La polinización puede ser en su gran mayoría por el viento (anemófila) o (entomófila) donde los insectos juegan un papel importante (Storey, 1987). La polinización puede ser por tres formas: autopolinización, polen de la misma planta, pero diferente flor y polen de diferente planta; las flores bisexuales son auto-polinizadas, pero las plantas femeninas debe ser polinización cruzada, ya sea por plantas bisexuales o masculinas (Yogiraj *et al.*, 2014). Las flores de papaya son visitadas por polillas, escarabajos, mariposas, abejas, moscas y colibríes, entre otros, probablemente atraídos por la dulce fragancia y néctar que producen las flores masculinas y hermafroditas (Ronse y Smets, 1999), sin embargo, los insectos responsables del mayor intercambio de polen son las polillas voladoras (Hawkmoths) de la familia Sphingidae del orden Lepidoptera (Brown *et al.*, 2012). En la india la papaya es polinizada principalmente por Hymenopteros (*Apis sp*, *Trigona sp.*, *Camponotus compresssus*), Thysanoptera (*Thrips*), Lepidopteros (*Papilio polytes*, *Cephonodes hylas*, *Borbo sp*) y Sunbird (*Nectarina sp*) (Dey *et al.*, 2016). En el papayo se pueden realizar ocho

diferentes cruzas o autopolinizaciones diferentes en la papaya y tener una segregación diferente (Hofmeyr, 1938; Giacometti y Torres, 1967; Storey, 1987; Ming *et al.*, 2007) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Combinaciones de cruzamiento o autopolinización y sus relaciones de segregación en la progenie del papayo (*Carica papaya* L.).

POLINIZACIÓN	RELACIONES DE SEGREGACIÓN				PROPORCIÓN DE GENOTIPOS
	mm	M <sup>h</sup> m	Mm	CIGOTES INVIABLES (Mm; M <sup>h</sup> m; M <sup>h</sup> m x M <sup>h</sup> m)	
mm X Mm	1 (50%)		50%		1:1
mm X M <sup>h</sup> m	1 (50%)	1 (50%)			1:1
Autofecundado Mm	1(33%)		1 (33%)	1 (1%)	1:1
Mm X Mm	1 (33%)		2 (66%)	1 (1%)	2:1
Autofecundado M <sup>h</sup> m	1 (33%)	2 (66%)		1 (1%)	2:1
M <sup>h</sup> m X M <sup>h</sup> m	1 (33%)	2 (66%)		1 (1%)	2:1
M <sup>h</sup> m X Mm	1 (33%)	1 (33%)	1 (33%)	1 (1%)	1:1:1
Mm X M <sup>h</sup> m	1 (33%)	1 (33%)	1 (33%)	1 (1%)	1:1:1

Tomado de Storey (1987)

### 2.6.3. Poblaciones de papaya según sus sistemas de apareamiento

Una población se define como un conjunto de individuos de la misma especie, que habitan un lugar determinado y pueden presentar una característica susceptible a ser estudiada (Moore, 2014). De la Llanta (2003), la define como un conjunto de organismos de la misma especie que viven en un área determinada. En las plantas los tipos de poblaciones se han determinado de acuerdo a la diversidad de sistemas sexuales de las plantas en los que se incluyen los monomórficos (hermafroditas y monoecia), dimórficos (dioecia), polígamos monoicos (andromonoecia, ginomonoecia, y trimonoecia) y los polígamos dioicos (androica, ginodioica y trioica o polígama) (Ainsworth, 2000). El papayo presenta tres tipos de poblaciones: dioica (plantas pistiladas y estaminadas), ginodioica (plantas hermafroditas y femeninas) y polígama o también conocida como trioica con la presencia de plantas pistilada, estaminada y hermafroditas (Moore, 2014).

#### Población polígama

La poligamia ocurre cuando los dos sexos pueden estar en diferentes plantas, en la misma planta o puede estar representado por flores hermafroditas (Madriz y Ramírez, 1996). Una población polígama en papaya es por la presencia de tres formas sexuales (femenina, masculina y

hermafrodita en diferentes plantas), siendo el caso más frecuente en los tipos de papayo criollos cultivados como: Cera, Coco y Mamey (De los Santos *et al.*, 2000; Valdés, 2002). Con fines comerciales en este tipo de población se eliminan a las plantas no productivas y para asegurar la población de plantas productoras se siembran de tres a cuatro plantas por punto de plantación, lo que genera mayores gastos económicos (De los Santos *et al.*, 2000).

### **Población ginodioica**

El ginodioicismo ha evolucionado de manera independiente en al menos 71 familias y más de 500 especies, las que representan aproximadamente 0.6 % del total de las angiospermas y es definido por la existencia de plantas femeninas y hermafroditas (Cuevas-García y Abarca-García, 2006). Este tipo de población en *Carica papaya*, se conforma por plantas femeninas y hermafroditas siendo una población de gran relevancia por contener únicamente plantas productoras, aunque, los productores de papaya tienden a seleccionar mayormente a las hermafroditas por producir frutos con mayor valor comercial, sin embargo, una de las desventajas de las hermafroditas sobre las femeninas es su inestabilidad floral por la presencia de cuatro tipos florales. Este tipo de población es común en cultivares como Maradol (originaria de Cuba) y las del tipo Solo como, “Kapoho Solo”, Waimánalo, Sunrise Solo y Sunset (originarias de Hawái) (Valdés, 2002). En una población ginodioica se pueden tener individuos hermafroditas fértiles estables, individuos estériles con la función masculina e individuos hermafroditas con cierto grado de variación, los cuales a simple vista no se pueden diferenciar de los demás hermafroditas (Murayama *et al.*, 2004). El sistema de apareamiento para lograr este tipo de población es polinizando plantas hermafroditas, es decir encerrando las flores para evitar que se contaminen con polen de otros individuos (De los Santos *et al.*, 2000).

### **Población dioica**

La dioecia disminuye la diversidad genética y aumentan las probabilidades de extinción, por ellos existen en su mayoría familias dioicas las que se encuentran en extinción ya que una población dioica está compuesta por individuos masculinos y femeninos lo que re presenta la máxima separación espacial de las estructuras reproductivas (Abarca-García *et al.*, 2010). La unisexualidad es causada por la supresión de un sexo, sus bases genéticas en la determinación y expresión sexual pueden ser controladas por cromosomas sexuales, sin embargo, el control genético no es lo suficientemente fuerte en vencer los efectos y modificaciones de la expresión sexual por el

ambiente (Madriz y Ramírez, 1996). En especies de papaya estrictamente silvestres las poblaciones son dioicas, un ejemplo de este tipo de población es el cultivar Cariflora liberado en Florida por su tolerancia al Virus de la mancha anular del papayo pero cuyos frutos son pequeños; en estas poblaciones el objetivo debe ser extender a la forma femenina que en este caso es la única productiva (De los Santos *et al.*, 2000).

#### **2.6.4. Expresión sexual de *Carica papaya* L.**

En la familia *Caricaceae* la mayoría de las especies son estrictamente dioicas a excepción de *Carica papaya* L., *Vasconcellea monoica* y *V. pubescens* (Romero, 2013). El papayo *Carica papaya* L, está conformado por cromosomas somáticos ( $2n = 18$ ), se caracteriza por presentar diversos tipos florales y tres sexuales primarios polígamos que son pistilada (mm), estaminada (Mm) y hermafroditas ( $M^Hm$ ) (Da Silva *et al.*, 2007). El género *Carica* presenta formas sexuales ambivalentes por una reversión sexual que suele presentarse en respuesta a cambios climáticos y a fotoperiodos durante el año. Dentro de sus tres formas básicas los árboles pistilados son estables, mientras que las formas estaminadas y hermafroditas pueden ser fenotípicamente inestables y/o experimentar reversión sexual estacional (Da Silva *et al.*, 2007). La papaya fue clasificada como trioica por Storey (1969), por presentar tres formas sexuales, siendo en la década de 1950 cuando en base a estudios de las relaciones segregantes los machos y las hermafroditas se clasificaron como heterocigotos y las pistiladas homocigotos dominantes y las combinaciones (MM,  $MM^H$ ,  $M^HM^H$ ) presentan letalidad (Hofmeyr, 1967).

El conocimiento de los sistemas de determinación sexual en plantas está estrechamente ligado a la comprensión de cómo ha evolucionado la separación de los sexos. En algunas especies vegetales se ha detectado la presencia de cromosomas sexuales heteromórficos (Ainsworth, 2000) así como la presencia de genes que controlan el sexo (Pierce y Wehner, 1990). Sin embargo, el control genético de la expresión sexual no parece ser suficientemente fuerte en todas las especies, para vencer los efectos y modificaciones de la expresión sexual por el ambiente (Lloyd, 1975), por ello, la labilidad de los sistemas de determinación sexual en plantas puede deberse a la incapacidad que tienen los organismos de controlar de forma precisa el sexo en ambientes complejos o porque este le confiere una ventaja adaptativa (Korpelainen, 1998).

### 2.6.5. Inestabilidad en la floración de variedades comerciales de papayo

La inestabilidad de la floración de papayo ha sido un caso de estudio, Da Silva *et al.* (2007) reportan que en los genotipos BC<sub>1</sub> y Golden la carpeloidia y petandria fue mayor en invierno y en verano aumenta la esterilidad floral. Al respecto Ramos *et al.* (2011) mencionan que la interacción genotipo por temporada, presenta un comportamiento diferenciado en los genotipos cuando se exponen a los cambios estacionales, concluyendo que invierno y primavera son las estaciones que presentan menor carpeloidia, petandria y esterilidad floral, por lo que son las estaciones adecuadas para la identificación y selección de genotipos. Por su parte Martelleto *et al.* (2011), evaluaron la incidencia de esterilidad y carpeloidia en la papaya hermafrodita var. Baixinho de Santa Amalia, concluyendo que de septiembre a noviembre se presenta mayor producción de flores carpeloides y estériles, la mayor incidencia coincide con la época de temperaturas altas. Damasceno-Junior *et al.* (2008) evaluaron el comportamiento de la floración de diez híbridos de papaya obtenidos en cultivares Solo y Formosa, en sus resultados encontraron un comportamiento diferente de la floración de los híbridos entre las dos temporadas (enero a marzo/julio a septiembre). La presencia de petandria y carpeloidia fue baja en marzo 4.65 % y mayor en septiembre (18.08 %); mientras que el número de flores estériles fue mayor en marzo (16.04 %) en contraste a septiembre (6.69 %), dicho comportamiento se atribuye por la temperatura más alta en marzo. La presencia de flores elongatas fue menor en marzo (30.72 %) que en septiembre (85.62 %) por lo que se observó una fuerte influencia ambiental en este rasgo, estos autores concluyen que la esterilidad se presenta en los meses más cálidos y la carpeloidia en los meses más fríos, los híbridos SS783 x JS12 obtuvieron mayor número de flores elongatas en ambas temporadas, lo que indica que cuentan con un alto potencial de rendimiento. De Almeida *et al.* (2003) concuerdan con Damasceno Junior y colaboradores en que la esterilidad es mayor en verano por la sequía, Mirafuentes *et al.* (2012) mencionan que la Variedad Maradol está siendo afectada por las altas temperaturas de abril a junio donde se tiene aborto de flores y carpeloidia, por ello se están trabajando en genotipos estables en relación a la temperatura. Bogantes-Arias y Mora-Newcomer (2017), evaluaron la incidencia de carpeloidia bajo el efecto de la temperatura, concluyeron que la amplitud térmica del día fue determinante en la inducción de la carpeloidia.

Las plantas hermafroditas del papayo son altamente sensibles a heladas, las temperaturas por debajo de los 12 y 14° C pueden causar el 100 % de carpeloidia, mientras que las temperaturas mayores a 35° C generan la producción de flores estériles (IV+) (Chan, 2009). Las plantas

hermafroditas de papayo son muy inestables, por ello la tolerancia a altas o bajas temperaturas se ha convertido en una variable de los estudios de selección o adaptación de líneas e híbridos (Da Silva *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2010; Mirafuentes y Santamaría 2014).

Las altas temperaturas también reducen la viabilidad del polen afectando la fertilización (Radin *et al.*, 2011). Al respecto el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado investigaciones en la búsqueda de variedades tolerantes a altas temperaturas. Mirafuentes y Santamaria (2014) reportan al híbrido MSxJ proveniente de la cruce J (progenitor femenino) una papaya criolla que no presentó carpeloidia y mostro tolerancia a sequías y MST (progenitor hermafrodita) que surgió de una selección de Maradol, MSxJ fue autofecundado por cinco ciclos para homogenizar caracteres morfológicos, su principal característica es que no presenta carpeloidia, tolera temperaturas mayores a 35° C, tiene frutos de tamaño intermedio y las características de color, firmeza y contenido de sólidos solubles son similares a Maradol (Mirafuentes y Santamaria, 2014). Otras variedades reportadas como tolerantes son BS y BS-2 resultantes de un proceso de mejoramiento genético que inició con la cruce de la variedad Zapote y una selección de Sunrise de Tabasco, de los resultados de la cruce se seleccionaron dos líneas que no presentaron carpeloidia y se autofecundaron durante siete ciclos para la homogenización de caracteres, las variedades BS y BS-2 presentan tolerancia al calor al producir frutos elongatas sin deformaciones en altas temperaturas, su mercado se limita a nivel local al tener un porte alto y no cumplir con las características para exportación, sin embargo, en Tabasco y Yucatán han presentado mayores rendimientos que la variedad Maradol (Mirafuentes *et al.*, 2012).

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis general**

El crecimiento, la expresión sexual individual y poblacional son distintos entre genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L).

#### **3.2. Hipótesis específicas**

- El crecimiento de las plantas es distinto entre sexos, entre genotipos NOCS y comerciales.
- La morfología floral, proporción de sexos y la proporción de tipos florales es distinta entre genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L.).
- La incidencia de tipos florales en plantas hermafroditas de genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L) es afectada por la temperatura, punto de rocío y humedad relativa.

### **IV. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo general**

Comparar el crecimiento, expresión sexual individual y poblacional de genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L).

#### **4.2. Objetivos específicos**

- Comparar el crecimiento de plantas femeninas y hermafroditas entre genotipos NOCS y comerciales de papayo.
- Comparar la morfología floral, proporción de sexos y proporción de tipos florales en plantas hermafroditas de genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L.).
- Determinar la influencia de la temperatura, punto de rocío, humedad relativa en la incidencia de tipos florales en plantas hermafroditas de genotipos NOCS y comerciales.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo comprendió dos estudios. El primero fue un estudio diacrónico de la altura, crecimiento, morfología y la expresión sexual individual y poblacional de cuatro genotipos NOCS y de una variedad comercial, el cual se realizó de Noviembre 2016 a marzo 2017 (Cuadro 3). El segundo estudio fue una evaluación sincrónica de la altura y expresión sexual de variedades comerciales, en plantaciones comerciales, realizada en abril de 2017.

### 5.1. Estudio diacrónico

Se llevó a cabo en tres huertas establecidas en distintos sitios. Una se estableció en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México; situado a los  $19^{\circ} 11' 38.62''$  LN y  $96^{\circ} 20' 31.26''$  LO checar; a 24 msnm. Otra se estableció con un productor cooperante, en el Municipio de Soledad de Doblado situado a los  $19^{\circ} 01' 59.6''$  LN y  $96^{\circ} 25' 51.1''$  LO, a 103 msnm. Una plantación más se estableció con un productor cooperante en la localidad Cedralito situada en el Municipio de Manlio Fabio Altamirano, a  $19^{\circ} 03' 59.8''$  LN y  $96^{\circ} 17' 18.9''$  LO; a 19 msnm (Figura 5).

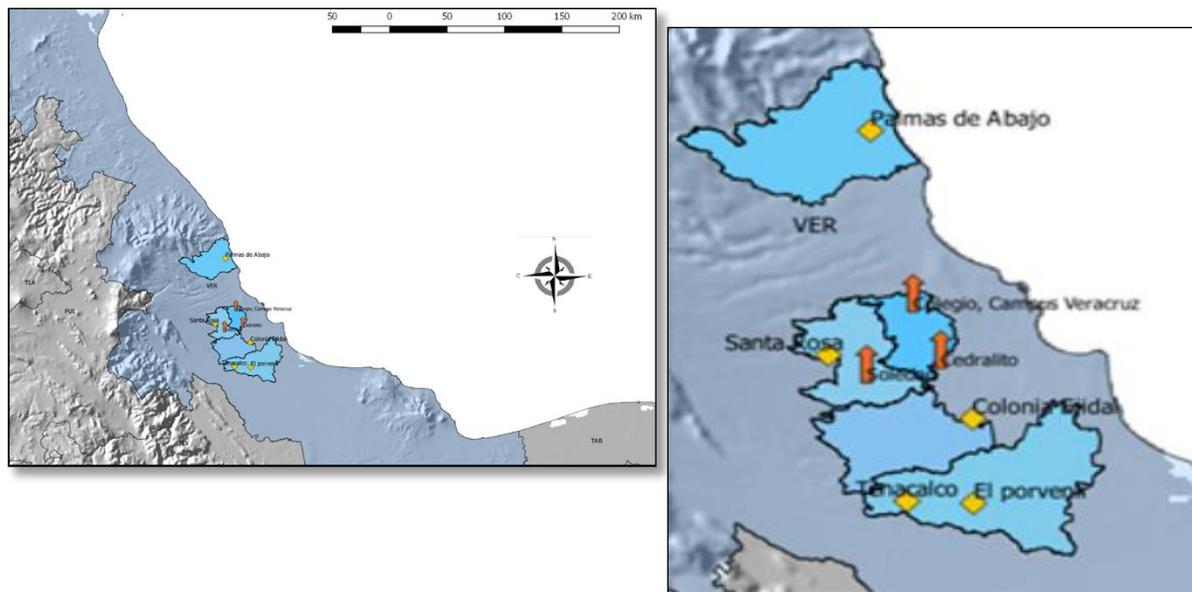


Figura 5. Ubicación de las huertas muestreadas en las localidades del estado de Veracruz. El símbolo naranja representa a las huertas del estudio diacrónico y el símbolo amarillo corresponde al estudio sincrónico.

Cuadro 3. Muestreos realizados en el estudio diacrónico.

HUERTA	MUESTREOS/MES																
	NOVIEMBRE				DICIEMBRE					ENERO			FEBRERO		MARZO		
<b>CP</b>	-	-	-	-	01	08	15	22	29	08	17	27	07	17	27	11	21
<b>Cedralito</b>	04	11	18	24	03	17	-	-	-	19	-	-	24	-	-	25	-
<b>Soledad</b>	05	12	19	25	02	16	-	-	-	20	-	-	25	-	-	24	-

Los genotipos NOCS (G77, G207, G216 y G15; Cuadro 4) se obtuvieron de colectas de campo en los estados de Guerrero, Campeche, y Veracruz como parte del proyecto “Colecta, caracterización y conservación de los recursos fitogenéticos de *Carica papaya* L”, financiado por SNICS-SINAREFI, que consideró una base de 278 accesiones tomadas a lo largo del territorio Mexicano. La metodología de dicho proyecto se describe en Ávila-Reséndiz *et al.* (2009) y Ávila-Reséndiz *et al.* (2011).

El banco de germoplasma del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz resguarda un total de 226 accesiones. Los genotipos NOCS empleados en esta investigación se polinizaron en agosto 2014 y el germoplasma producto de dichas polinizaciones se usó en esta investigación. La variedad Maradol evaluada en la huerta del Colegio de Postgraduados, Cedralito y Soledad de Doblado fue comprada en la casa comercial Chula Brand ubicada en el Municipio Soledad de Doblado. La casa comercial Chula Brand se encarga de realizar selecciones y autofecundaciones a partir de Maradol, en busca de un cultivar con mejores características que Maradol, nuevas variedades e híbridos. La información de los genotipos NOCS respecto a su polinización, origen y características agronómicas de las huertas estudiadas en el estudio diacrónico se describen en los Cuadros 4 y 5, respectivamente.

Cuadro 4. Genotipos NOCS y comerciales observados en la fase diacrónica.

Huerta	Genotipo	n	Lugar de obtención	Lugar de colecta	Polinización controlada
<b>Colegio de Postgraduados</b>	G77	22	Banco de germoplasma Colegio de Postgraduados.	Guerrero	Mm x Mm
	G207	8	Banco de germoplasma Colegio de Postgraduados.	Campeche	M <sup>H</sup> m
	G216	18	Banco de germoplasma Colegio de Postgraduados.	Campeche	M <sup>H</sup> m
	G15	3	Banco de germoplasma Colegio de Postgraduados.	Veracruz	M <sup>H</sup> m
	Maradol	11	Comprado a la Chula Brand	Veracruz	-
<b>Soledad</b>	Maradol	76	Comprado a la Chula Brand	Veracruz	-
<b>Cedralito</b>	Maradol	76	Comprado a la Chula Brand	Veracruz	-

Cuadro 5. Características agronómicas de las huertas estudiadas en la fase diacrónica

Huerta	Fecha de siembra	Densidad de siembra	Riego	Manejo
<b>Colegio de Postgraduados</b>	05 Octubre 2016	220 plantas/500 m <sup>2</sup>	Por goteo	Tradicional
<b>Soledad</b>	20 Septiembre. 2016	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Por goteo	Tradicional
<b>Cedralito</b>	29 Septiembre. 2016	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Por goteo	Tradicional

## 5.2. Estudio sincrónico

El estudio sincrónico se realizó en cinco localidades: Colonia Ejidal (18°54'29.43"LN, 96°13'39.03"LO), El Porvenir (18°42'53.83"LN, 96°13'32.93"LO), Tenacalco (18°43'11.93"LN, 96°21'12.53"LO), Santa Rosa (19°03'14.41"LN, 96°30'17.48"LO) y Palmas de Abajo (19°34'2.19"LN, 96°25'24.72"LO) de los municipios de Cotaxtla, Tlaxiaco, Soledad de Doblado y Actopan respectivamente (Figura 5).

Los genotipos comerciales empleados en este segundo estudio fueron obtenidos por el productor cooperante en diferentes casas comerciales (Cuadro 6). Las casas comerciales se dedican a desarrollar cultivares con mejores características para la comercialización a través de selecciones a partir de la variedad Maradol, a excepción de Azteca que es un híbrido desarrollado por el INIFAP de Huimanguillo Tabasco. Las características agronómicas de las huertas estudiadas en esta fase se describen en los Cuadros 6 y 7, respectivamente.

Cuadro 6. Genotipos comerciales observados en la evaluación sincrónica.

Huerta	Municipio	Genotipo	Casa comercial	Productor	n
El Porvenir	Tlalixcoyan	Chiapaneca	AGROMOD	Víctor Maza	40
Tenacalco	Tlalixcoyan	Chiapaneca	AGROMOD	Víctor Maza	40
Colonia Ejidal	Cotaxtla	Chiapaneca	AGROMOD	Víctor Maza	40
Santa Rosa	Soledad de Doblado	Mandunjano	Tecnología frutícola tropical	Ramiro Hernández	40
Las Palmas de Abajo	Actopan	Mulata	Carisem	José Luis Zúñiga	40
		Guajira	Papayas Anaya		40
		Lenia	Papayas Anaya		40
		Azteca	INIFAP		40
		Mandunjano	Tecnología frutícola tropical		40

Cuadro 7. Características agronómicas de las huertas estudiadas en la fase sincrónica

Huerta	Fecha de siembra	Densidad de siembra	Riego	Manejo
<b>El Porvenir</b>	Febrero	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Riego por goteo	Tradicional
<b>Tenacalco</b>	Febrero	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Riego por goteo	Tradicional
<b>Colonia Ejidal</b>	Febrero	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Riego por goteo	Tradicional
<b>Santa Rosa</b>	Febrero	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Riego por goteo	Tradicional
<b>Las Palmas de Abajo</b>	Febrero	1000 plantas/5000 m <sup>2</sup>	Riego por goteo	Tradicional

### 5.3. Tamaños de muestra

La selección de individuos a muestrear fue completamente al azar. El tamaño de muestra se determinó mediante la fórmula indicada para muestreos aleatorios (Aguilar-Barojas, 2005).

$$n = \frac{N Z^2 a/2 S^2}{d^2 (N-1) + Z^2 a/2 S^2}$$

donde: **n**= tamaño de muestra **N**= tamaño de población **Z<sup>2</sup>a/2**= variable estandarizada de distribución normal **S<sup>2</sup>**=varianza de la muestra **d**=precisión del muestreo **a**= nivel de significancia

$$n = \frac{(1000) (1.96)^2 (133.5)}{(2.5)^2 (1000-1) + (1.96)^2 (133.5)} = 76 \text{ plantas}$$

$$n = \frac{(80) (1.96)^2 (133.5)}{(2.5)^2 (80-1) + (1.96)^2 (133.5)} = 40 \text{ plantas}$$

Esos tamaños de muestra se aplicaron a las huertas Soledad y Cedralito (n=76) en el estudio diacrónico, y a todas las huertas del estudio sincrónico (n=40). En la huerta del Colegio de Postgraduados se muestrearon todos los individuos disponibles de cada variedad.

### 5.4. Variables evaluadas

Dado el objetivo de comparar el crecimiento y la expresión sexual individual y poblacional de genotipos NOCS y comerciales de papayo (*Carica papaya* L), las variables evaluadas fueron las siguientes.

#### 5.4.1. Altura, crecimiento y desarrollo

De cada planta seleccionada en la muestra de las huertas de los estudios diacrónico y sincrónico se registró la altura de planta medida en cm desde la base del suelo hasta su ápice (Figura 6). El crecimiento fue evaluado en las huertas del estudio diacrónico con base en la medición semanal de esta variable. Otras variables registradas semanalmente en el estudio diacrónico fueron la altura a la primera flor (cm), altura al primer fruto (cm), número de nudos a la primera flor y número de nudos al primer fruto (Figura 6). Los acrónimos para dichas variables son: altura a la primera flor (APFlor), altura al primer fruto (APFruto), número de nudos a la primera flor (NDNAPFlor) y número de nudos al primer fruto (NDNAPFruto).



Figura 6. Variables estimadas. A) y B) Altura de planta, C) Altura a la primera flor o fruto y conteo de nudos a la primera flor o fruto.

#### 5.4.2. Proporciones sexuales poblacionales

El sexo de la planta se determinó observando el sexo de las flores, con base en ello se calcularon las proporciones sexuales poblacionales de cada genotipo contrastadas con proporciones teóricas. Las proporciones teóricas fueron establecidas de acuerdo a Hofmeyr (1938), Giacometti y Torres (1967), Storey (1987) y Ming *et al.* (2007). En el estudio sincrónico no fue posible evaluar esta variable debido a que se observaron solo plantas hermafroditas.

Cuadro 8. Proporciones teóricas descritas para el papayo.

POLINIZACIÓN	PROPORCIONES (%)		
	mm	M <sup>H</sup> m	Mm
mm X Mm	50		50
mm X M <sup>H</sup> m	50	50	
Autofecundado Mm	50		50
Mm X Mm	33		66
Autofecundado M <sup>H</sup> m	33	66	
M <sup>H</sup> m X M <sup>H</sup> m	33	66	
M <sup>H</sup> m X Mm	33	33	33
Mm X M <sup>H</sup> m	33	33	33

Tomado de Storey (1987).

### 5.4.3. Morfología floral

Para describir la morfología floral se evaluaron las siguientes características: la longitud de la flor (cm) medida desde la base de los pétalos hasta su extremo opuesto, el diámetro de la corola (cm) se midió entre los extremos de los pétalos y el número de pétalos, sépalos y estambres (Figura 7). En la morfología floral se tomaron en cuenta los seis tipos florales (I, II, III, IV, IV+ y V) y solo se evaluó en la huerta Colegio de Postgraduados. Los acrónimos de dichas variables son: diámetro de corola (DC) y longitud de la flor (LF).

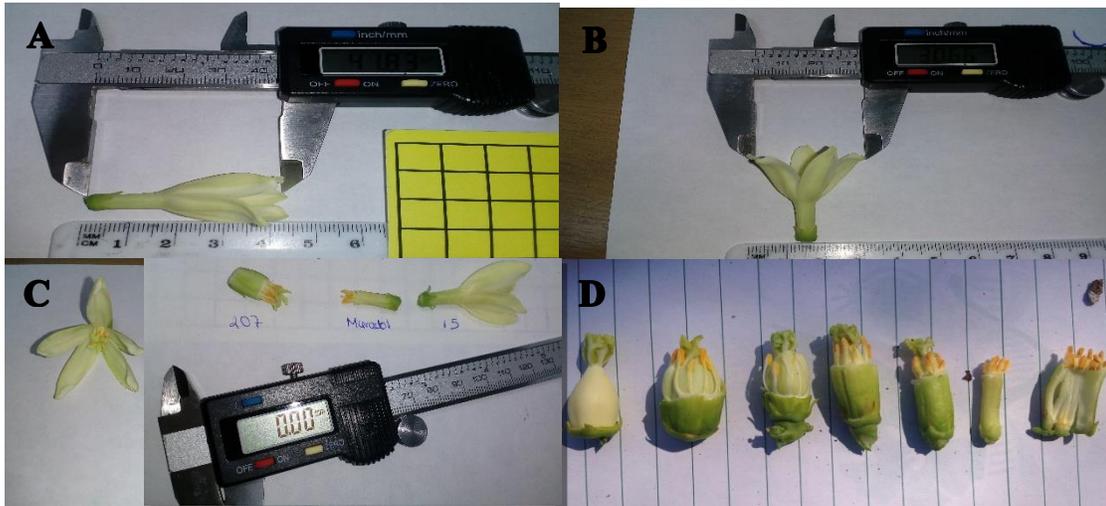


Figura 7. Variables estimadas: A) Longitud de la flor, B) Diámetro de la corola, C) Conteo del número de pétalos y sépalos, D) Observación, identificación y conteo de los tipos florales.

### 5.4.4. Expresión sexual de tipos florales y su relación con las variables climáticas

La expresión de los tipos florales se abordó tanto en el estudio diacrónico como en el sincrónico. El tipo floral se determinó de forma visual y con base en ello se realizó el conteo de cada tipo. Los tipos florales considerados fueron: II, III, IV y IV+. En el estudio diacrónico se le dio seguimiento a las variables climáticas de: temperatura (°C), humedad relativa (%) y punto de rocío (°C) para establecer su relación con incidencia semanal de los tipos florales, se utilizaron los registros de una semana antes al muestreo. Las variables climáticas fueron registradas cada media hora y con un datalogger marca Extech 10.

### **5.5. Análisis estadístico**

En las variables de altura, crecimiento y desarrollo se realizaron análisis de varianza y pruebas de TUKEY para comparar entre genotipos y entre sexos. El crecimiento fue reportado como la diferencia en altura de la última medición (21, 24, 25 marzo 2017) menos la primera (01 de diciembre y 04-05 noviembre 2016). Los análisis se realizaron en el programa estadístico SAS 9.4 con los procedimientos PROC GLM y PROC MEANS.

Las proporciones sexuales poblacionales de cada genotipo se contrastaron con las proporciones teóricas esperadas a partir de los cruzamientos de la población parental original. Esto se realizó con pruebas de bondad de ajuste ( $\chi^2$ ), utilizando el procedimiento PROC FREQ (SAS 9.4).

En las variables morfológicas florales se utilizó estadística descriptiva utilizando el programa estadístico SAS 9.4 con los procedimientos PROC GLM y PROC MEANS.

La expresión de los tipos florales se analizó enfocándose en la incidencia de flores tipo IV y OF (II, III, IV+) esto debido a que las flores tipo IV son las de mayor valor comercial. En genotipos NOCS y comerciales se realizó mediante análisis de varianza y pruebas de TUKEY (PROC GLM, SAS 9.4), dentro de la huerta del Colegio de Postgraduados y las huertas Soledad y Cedralito se compararon con pruebas de t utilizando el procedimiento PROC TTEST (SAS 9.4); en el resto de las huertas se utilizó análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de TUKEY (PROC GLM, SAS 9.4). Para determinar la relación de los registros climáticos promediados por semana con la incidencia semanal de los tipos florales se utilizaron los registros de una semana antes al muestreo y se realizaron correlaciones de Pearson (PROC CORR, SAS 9.4).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Altura, crecimiento y desarrollo

En el estudio diacrónico se encontraron diferencias significativas ( $P < .0001$ ) en la altura a los cuatro meses de edad entre los genotipos NOCS y Maradol de la huerta Colegio de Postgraduados, Cedralito y Soledad (Figura 8). Las plantas de Cedralito, las femeninas de Soledad y el G77 presentaron una mayor altura a esta edad, por el contrario, Maradol en ambos sexos presentó la menor altura en la huerta Colegio de Postgraduados, esto se atribuye a que los genotipos de dicha huerta se plantaron más tarde, por ello la evaluación inició un mes más tarde y coincidió con las temperaturas más bajas.

Por otro lado, en altura final también se encontraron diferencias significativas ( $P < .0001$ ) entre los genotipos NOCS y Maradol de la huerta Colegio de Postgraduados y las huertas Cedralito y Soledad. Dentro de la huerta del Colegio de Postgraduados no se encontraron diferencias en altura entre los genotipos NOCS y Maradol (Figura 9). En la huerta Cedralito las plantas hermafroditas fueron más altas que las femeninas. En la huerta Soledad de Doblado las plantas hermafroditas fueron ligeramente más altas que las femeninas (Figura 9). La variedad Maradol en las tres huertas mostró un comportamiento diferente en altura.

En el estudio sincrónico, se encontraron diferencias significativas en altura de la planta ( $P < .0001$ ) entre los genotipos comerciales a los cuatro meses de edad (Figura 10). La variedad chiapaneca presentó las plantas de mayor altura en las huertas Colonia Ejidal y Tenacalco, siendo esta última quien presentó las plantas de mayor altura con respecto al resto de las variedades. Los tipos Mandunjano, Lenia y Guajira de Palmas de Abajo presentaron las plantas de menor altura, es importante mencionar que estos genotipos con menor altura pertenecen a la misma localidad.

Las plantas de la huerta Cedralito sobrepasaron los 200 cm, en contraste a la huerta Soledad. La altura de la planta nos permite explicar diferencias entre genotipos y estas pueden ser de tipo genéticas, estrés o por afectaciones ambientales (Rodríguez-Delgado *et al.*, 2015). La productividad de la planta está directamente relacionada con la altura, ya que plantas muy altas dificultan la cosecha (Días *et al.*, 2012). Las plantas de papayo con una altura  $< 200$  cm de altura son consideradas de porte medio (Alonso *et al.*, 2008). Al respecto Alonso *et al.* (2009) mencionan que Maradol presenta una altura menor a los 200 cm en contraste a los híbridos Tainung-01 y Scarlett Princess.

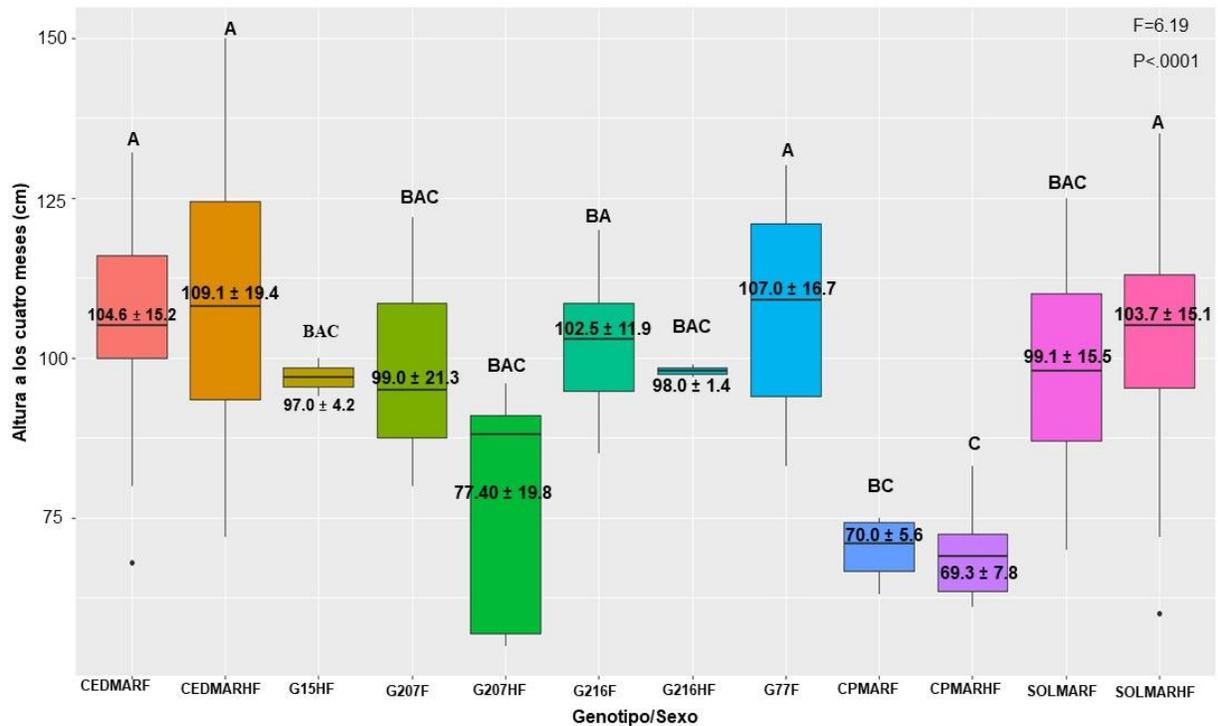


Figura 8. Altura de los genotipos NOCS y Maradol (SOL=Soledad, CED=Cedralito, CP=Colegio de Postgraduados, Mar=Maradol, G77, G207, G216, G15=NOCS F=femenina, HF=hermafrodita) a los cuatro meses de edad evaluadas en el estudio diacrónico.

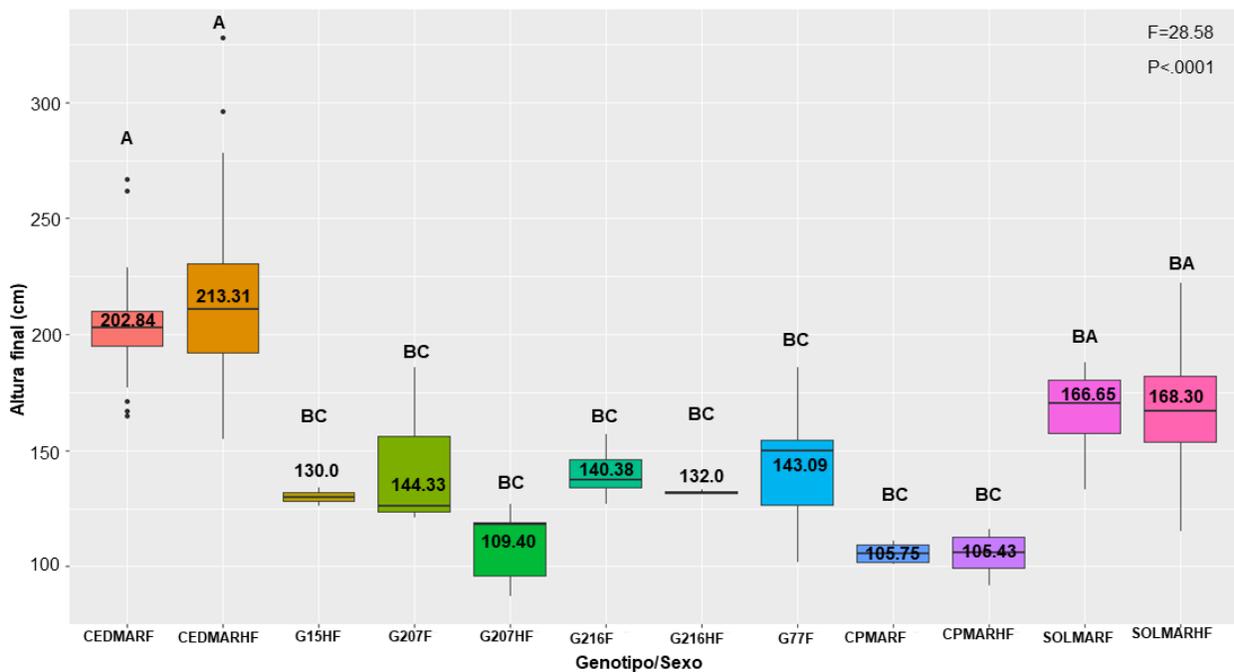


Figura 9. Altura final de los genotipos NOCS y Maradol (SOL=Soledad, CED=Cedralito, CP=Colegio de Postgraduados, Mar=Maradol, G77, G207, G216, G15=NOCS F=femenina, HF=hermafrodita).

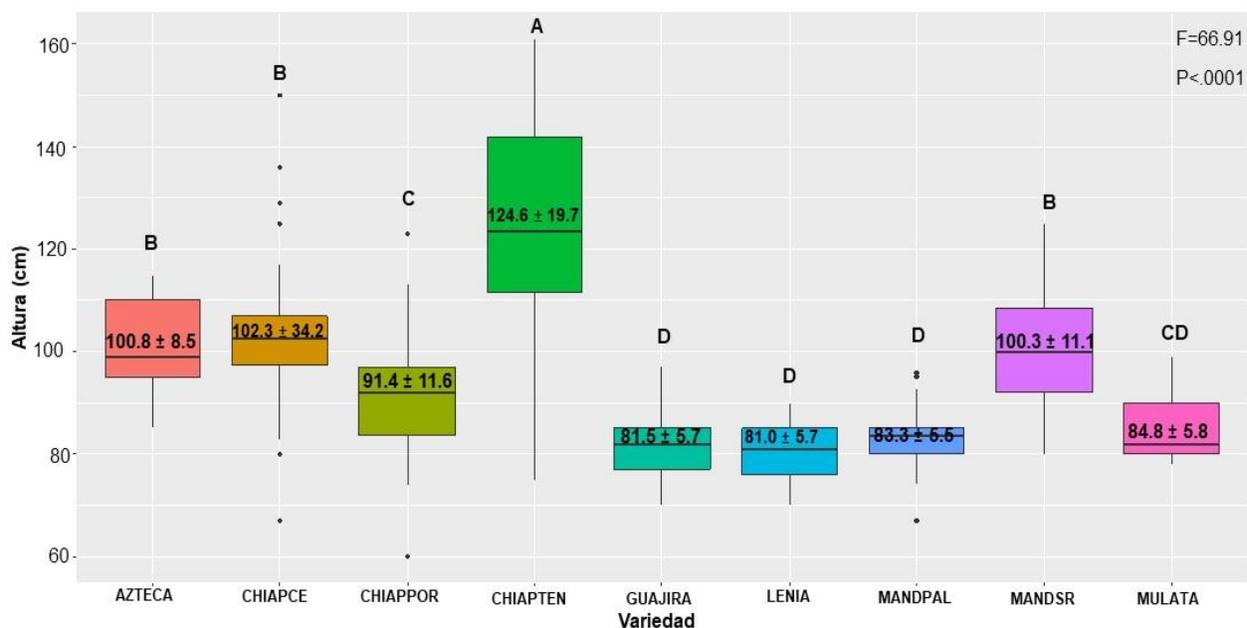


Figura 10. Altura de las variedades con cuatro meses de edad evaluadas en el estudio sincrónico. CHIAP=Chiapaneca, CE=Colonia Ejidal, POR=El Porvenir, TEN=Tenacalco, MAND=Mandunjano, PAL=Palmas de Abajo, SR=Santa Rosa.

Por su parte Rodríguez *et al.* (2010) reportan que la variedad Sunset y Sunrise son de porte alto (>2.5 m) y los híbridos BH-65 y BSA tienen un porte bajo ( $\leq 1.5$  m), sin embargo, aunque Sunset fue de porte alto, es más productiva (kg/planta) que los híbridos, en este sentido la altura no se relacionó con la productividad de la planta. La variedad Maradol es de menor porte (175 cm) en contraste a las variedades Red Lady y Sunset Solo con 188.61 y 181.30 cm respectivamente (Rivas-Valencia *et al.*, 2003).

En el estudio sincrónico, entre los genotipos observados en la huerta Palmas de Abajo, la variedad Azteca presentó las plantas de mayor altura. Al respecto Mirafuentes y Azpeitia (2008) reportan que Azteca crece a una altura de 2.17 m, dicha altura se encuentra por encima de los 2 m considerados como porte medio que menciona Alonso *et al.* (2008). Mandunjano presentó las plantas de menor porte (83.3 cm) en Palmas de Abajo en contraste a la huerta Santa Rosa (100.3 cm) por lo que este genotipo mostró un crecimiento diferente, lo cual pudiera atribuirse a los diferentes microclimas. Al respecto, Mirafuentes y Azpeitia (2008) mencionan que la altura de la planta está en relación al clima, nutrición y densidad de plantación por la competencia entre

plantas. Sin embargo, Galindo *et al.* (2007) mencionan que la altura no siempre está relacionada con la nutrición, el autor y colaboradores evaluaron si los bio-fertilizantes incrementaban el crecimiento de plantas de papayo y en sus resultados mencionan que no encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ), por lo que indican que los bio-fertilizantes (fertilizantes fermentados) o fertilizantes foliares (fertilizantes no fermentados) no influyen en el crecimiento. Por su parte Vázquez-García *et al.* (2008) mencionan que un factor que sí influye en el crecimiento es la temperatura, el papayo tiene un óptimo crecimiento de 15 a 35° C, las temperaturas bajas retrasan el crecimiento y las altas lo aceleran.

En relación al crecimiento, en la huerta del Colegio de Postgraduados no se encontraron diferencias de crecimiento significativas entre Maradol y los genotipos NOCS, donde los valores más bajos los obtuvieron las plantas hermafroditas de los G15 y G207, y los valores más altos las plantas femeninas de los G207, G216 y G77 (Cuadro 9). En la huerta Cedralito sí se encontraron diferencias de crecimiento entre sexos, donde las plantas hermafroditas crecieron más que las femeninas. Por su parte, en la huerta Soledad no se encontraron diferencias de crecimiento entre hermafroditas y femeninas (Cuadro 9).

En la huerta Colegio de Postgraduados las plantas femeninas y hermafroditas de la variedad Maradol desarrollaron la flor a una menor altura, por el contrario, las plantas femeninas del G77 presentaron la flor más tarde (Cuadro 9). En el número de nudos a la primera flor (NDNAPFlor) las plantas femeninas y hermafroditas de la variedad Maradol y las hermafroditas del G216 desarrollaron el menor número de nudos a la primera flor. Las plantas femeninas de Cedralito desarrollaron el fruto a una mayor altura en contraste a las hermafroditas de la misma huerta y a las femeninas y hermafroditas de la huerta Soledad (Cuadro 9). En el número de nudos al primer fruto (NDNAPFru) las plantas femeninas y hermafroditas de Soledad y hermafroditas de Cedralito presentaron el menor número de nudos (Cuadro 9). El bajo crecimiento de los genotipos NOCS y la variedad Maradol en la huerta del Colegio de Postgraduados podría atribuirse a un estrés hídrico que se presentó por problemas con el suministro de agua. Al respecto Marler y Clemente (2006) mencionan que el déficit hídrico es uno de los principales factores ambientales que afecta el crecimiento. Sin embargo, Vázquez- García *et al.* (2008) reportan que el crecimiento de plantas de papayo de la variedad Maradol roja, Maradol amarilla, Zapote y Tabasco en Tamaulipas fue bajo y lento en los meses de noviembre a marzo (25 a 30 cm) por las temperaturas bajas, por el contrario

el crecimiento se aceleró con las temperaturas altas de abril a agosto (100 a 200 cm). Los resultados de altura a la primera flor encontrados en la variedad Maradol de la huerta del Colegio de Postgraduados son superiores a los 45.4 cm que reporta Alonso *et al.* (2008) para Maradol, pero, menores a los que obtuvo en los híbridos HGx MR y HGx MA con 57.6 y 63.1 cm respectivamente.

Cuadro 9. Crecimiento (cm), altura al primer fruto (APFru), altura a la primera flor (APFlor), número de nudos al primer fruto (NDNAPFru) y número de nudos a la primera flor (NDNAPFlor)

Genotipo	Huerta	Sexo	Crecimiento (cm)	NDNAPFlor	APFlor
			Media ± Desvest	Media ± Desvest	Media ± Desvest
G15	CP	HF	33.0 ± 1.41 a	13.5 ± 2.1 b a c	69.5±12.0 b a
G207	CP	F	45.3 ± 16.92 a	16 ± 1.7 b a	81±16.1 b a
G207	CP	HF	32.0 ± 4.36 a	13 ± 2.5 b a c	62±14.7 b a
G216	CP	F	38.1 ± 5.64 a	15 ± 1.9 b a c	86±10.6 b a
G216	CP	HF	34.0 ± 2.83 a	12 ± 0.0 b c	66±10.6 b a
G77	CP	F	36.1 ± 12.20 a	17 ± 2.4 a	89±14.6 a
Maradol	CP	F	35.8 ± 2.06 a	11 ± 1.5 c	56±15.6 b
Maradol	CP	HF	36.1 ± 8.49 a	12 ± 0.0 b c	57±6.1 b
				NDNAPFru	APFru
Maradol	CED	F	98.20 ± 19.84 b	16 ± 2.1 a	65 ± 9.6 a
		HF	104.24 ± 29.15 b	15 ± 2.6 b	59 ± 11.5 b
Maradol	SOL	F	67.68 ± 9.98 c	15 ± 1.9 b	55 ± 7.4 b
		HF	64.74 ± 18.16 c	14 ± 2.3 b	55 ± 10.1 b

de plantas femeninas y hermafroditas de los genotipos NOCS y Maradol en las huertas Colegio de Postgraduados (CP), Cedralito (CED) y Soledad (SOL).

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P<0.05).

En la altura al primer fruto, las plantas hermafroditas y femeninas de Soledad y hermafroditas de Cedralito sobresalieron por desarrollar el fruto a menor altura que la que reporta Jiménez *et al.* (2010), quienes mencionan que Maradol desarrolló el primer fruto a una altura de 63.7 cm en contraste a las variedades R5M2, R4M3, Zapote, Criolla y Red Lady que desarrollaron el fruto más tarde. Maradol comparada con los híbridos HGx MR, HGx MA, Tainung-01 y Scarlett Princess es la única que desarrolla su fruto a una altura <47 cm, siendo el híbrido Scarlett Princess que más se asemeja a esta variedad. Características como la altura a la primera flor, al primer fruto y número de nudos al primer fruto y a la primera flor son características relacionadas con el

crecimiento y desarrollo de la planta, dichas características sirven como base para la selección de cultivares. Al respecto Alonso *et al.* (2008) mencionan que la altura al primer fruto es una característica de suma importancia económica, porque permite una mayor longevidad de la cosecha.

## **6.2. Proporciones sexuales poblacionales**

De acuerdo al sexo, el G207 y Maradol presentaron una población ginodioica, el G15 presentó una población androica, G216 Trioica y el G77 dioica. En las proporciones sexuales, Maradol en las tres huertas observadas y el G207 se ajustaron a las proporciones 2:1 (66 % M<sup>H</sup>m y 33 % mm) reportada para Maradol y plantas hermafroditas auto-fecundadas (IBPGR 1986). El G77 también se ajustó a la proporción 1:1 (50 % y 50 %) para poblaciones dioicas (mm x Mm). Por el contrario, el G216 proveniente de una planta hermafrodita auto-polinizada no se ajustó a la proporción 2:1, el valor de Chi cuadrado calculado ( $\chi^2$  9.0) fue mayor al tabulado con 2 grados libertad ( $\chi^2$  5,99). Al G15 no fue posible realizarle la prueba, debido al pequeño tamaño de muestra (Cuadro 10). El desajuste del G216 podría explicarse en la polinización, aunque se tuvo el cuidado, existe la posibilidad de la contaminación del polen por alguna planta masculina, esto es probable ya que en la huerta había plantas de este sexo. Al respecto Barrios (2015) evaluó la segregación de cuatro cruza (M<sup>H</sup>m x M<sup>H</sup>m; Mm x M<sup>H</sup>m; M<sup>H</sup>m x mm; Mm x mm) de la variedad Criolla, en sus resultados obtuvo que solo la cruza M<sup>H</sup>m x M<sup>H</sup>m se ajustó a las descendencia mendeliana, mencionando que la segregación sexual si está influenciada por el tipo de cruza y que a pesar de que la cruza M<sup>H</sup>m x mm no se ajustó a las proporciones si tiene como descendencia únicamente plantas femeninas y hermafroditas. El sexo de la papaya es conocido hasta la etapa de plantación, por tal razón, el ajuste de las proporciones es de suma importancia para los productores, algunos siembran tres plantas por cepa para realizar el sexado y seleccionar únicamente plantas hermafroditas, otros productores siembran una planta esperando se cumplan las proporciones 2:1 (Magdalita y Mercado, 2003). Al respecto Costa y Pacova (2003) mencionan que la determinación del sexo en etapas vegetativas sería una ventaja para los productores y el cultivo sería aún más rentable al reducir costos de producción. Las pruebas citológicas, colorimetría de contenido de fenol, cromatografía en papel, marcadores de isoenzimas han sido un fracaso en la determinación del sexo en etapa de plántula, siendo la más efectiva hasta el momento los marcadores moleculares a través del análisis de ADN utilizando la tecnología PCR (Magdalita y Mercado, 2003).

Cuadro 10. Prueba de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) para los genotipos NOCS y la variedad Maradol.

Huerta	Genotipo	Población	Sexo	Observado (O)	Esperado (E)	$X^2$	$X^2_{tabla}$
Colegio de P.	G77	Dioica	mm	11	11	0.0	3.84
			Mm	11	11		
Colegio de P.	G216	Trioica	mm	2	12	9.0	5.99
			M <sup>H</sup> m	8	6		
			Mm	8	0		
Colegio de P.	G207	Ginodioica	mm	3	3	0.0	3.84
			M <sup>H</sup> m	5	5		
Colegio de P.	Maradol	Ginodioica	mm	4	4	0.0	3.84
			M <sup>H</sup> m	7	7		
Cedralito	Maradol	Ginodioica	mm	25	26	0.1	3.84
			M <sup>H</sup> m	51	50		
Soledad	Maradol	Ginodioica	mm	22	26	0.9	3.84
			M <sup>H</sup> m	54	50		

### 6.3. Morfología floral

En la huerta Colegio de Postgraduados, entre los genotipos NOCS y comerciales se observaron los seis tipos de flores: I, II, III, IV, IV + y V. Los tipos florales y el número de flores no fueron igual entre los genotipos, esto varío de acuerdo a la población y el número de individuos. La mayor longitud de flor (LF) del tipo IV se encontró en los G207 y G15, en contraste al G216 y Maradol (Cuadro 11). Las flores tipo IV de Maradol fueron las más pequeñas, este resultado coincide con lo que reporta Alonso *et al.* (2008) quienes también encontraron que las flores tipo IV de Maradol fueron las más pequeñas (4.22 cm) en contraste a los híbridos HGxMR y HGxMA (4.76 y 4.78 respectivamente). Las longitudes en las flores IV encontradas en este estudio y las reportados por Alonso *et al.* (2008) son menores a los reportados en Tailandia por Khlaykhum *et al.* (2016) quienes reportan longitudes de 5.7, 5.5, 5.0 cm en los genotipos Krung Daeng, koko 3 y koko 1 respectivamente, pero, son mayores a los encontrados en Golden y Sunrise con 4.0 y 3.1 cm respectivamente. Por otro lado Alonso *et al.* (2009) reporta longitudes de 4.2, 4.7 y 3.6 cm para los genotipos Maradol, Scarlett princess y Tauning-01 respectivamente.

La LF mayor del tipo floral III la presentaron los G216 y Maradol; las flores tipo I de mayor LF fueron las del G207 y las de menor LF las de la variedad Maradol; en las flores masculinas (tipo V), las de mayor LF fueron las del G216 en contraste con las del G77 que presentó las más pequeñas (Cuadro 11).

El mayor diámetro de corola del tipo floral IV se presentó en los G15, G216 y Maradol. El mayor DC del tipo floral I ocurrió en los G207 y G77 (Cuadro 11). El diámetro de corola significa el paso al desarrollo de las estructuras que conforman el gineceo, el pistilo se prepara para recibir el grano de polen y formar el nuevo fruto y esta aumenta 0.05 a 0.22 mm por día (Meza *et al.*, 2011).

Los seis tipos florales presentaron cinco pétalos y sépalos. Los tipos florales IV, IV+ y V presentaron 10 estambres en dos series, el tipo III tenía nueve estambres, y el tipo II cinco. Es relevante que el G207 tuviera una población ginodioica y las flores tipo IV y I más grandes (Cuadro 11). Las flores tipo III y II se expresaron poco entre los genotipos, el tipo II solo se observó en el G207. El número de flores IV observadas fue bajo en todos los genotipos, siendo Maradol quien presento el mayor número de flores IV con respecto a los genotipos NOCS. El número de flores IV+ observadas fue mayor con respecto a las flores II, III y IV. Maradol y el G207 tuvieron un mayor número de flores IV+. El G77 presento el mayor número de flores tipo I y V. El número de flores II, III, IV y IV+ no se pueden comparar con las flores V observadas, ya que estas son abundantes al desarrollarse en una panícula-cimosa colgante con más de 500 flores. Los estudios de caracterización morfológica permiten conocer a la especie, dichos estudios en el papayo son escasos y los pocos que existen están centrados en Hawaii, Brasil y Venezuela, (Martínez *et al.*, 2004).

Cuadro 11. Media  $\pm$  desviación estándar de la longitud de la flor y diámetro de la corola de los tipos florales expresados en genotipos NOCS y Maradol en la huerta Colegio de Postgraduados.

GENOTIPO	POBLACIÓN	SEXO	TIPO FLORAL	n	Longitud la flor (cm)	Diámetro de corola (cm)
G207	GINODIOICA	F	I	36	3.29 $\pm$ 0.19	2.83 $\pm$ 0.24
			IV+	92	3.31 $\pm$ 0.22	2.74 $\pm$ 0.29
			IV	8	3.89 $\pm$ 0.63	2.78 $\pm$ 0.40
			III	1	3.3 $\pm$ 0.0	-
			II	3	3.50 $\pm$ 0.0	2.37 $\pm$ 0.31
G15	ANDROICA	MS	V	36	3.22 $\pm$ 0.15	2.61 $\pm$ 0.17
			IV+	54	3.13 $\pm$ 0.32	2.65 $\pm$ 0.31
			IV	3	4.13 $\pm$ 0.35	3.07 $\pm$ 0.12
G216	TRIOICA	F	I	96	3.12 $\pm$ 0.26	2.75 $\pm$ 0.26
			MS	288	3.58 $\pm$ 0.50	2.77 $\pm$ 0.45
			HF	49	2.94 $\pm$ 0.38	2.43 $\pm$ 0.36
			IV	5	3.62 $\pm$ 0.43	2.90 $\pm$ 0.33
			III	1	4.1 $\pm$ 0.0	-
G77	DIOICA	F	I	132	3.18 $\pm$ 0.32	2.76 $\pm$ 0.25
			MS	396	2.98 $\pm$ 0.27	2.27 $\pm$ 0.29
MARADOL	GINODIOICA	F	I	48	3.01 $\pm$ 0.24	2.62 $\pm$ 0.22
			HF	4	3.97 $\pm$ 0.35	-
			IV	18	3.69 $\pm$ 0.78	2.88 $\pm$ 0.33
			IV+	104	3.18 $\pm$ 0.26	2.57 $\pm$ 0.25

#### 6.4. Expresión de tipos florales

En la huerta del Colegio de Postgraduados no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.89$ ) en la expresión de flores tipo IV entre los genotipos NOCS y Maradol. Sin embargo, el número de otros tipos florales distintos (II, III, IV+), agrupados como otras flores (OF) si fue diferente, donde los G216 y G15 produjeron una mayor cantidad de OF en contraste al G207 y Maradol (Cuadro 12). Aunque los genotipos NOCS y Maradol presentaron una producción similar de flores IV, su producción fue baja con respecto a las OF. Al respecto Da Silva *et al.* (2007) indicaron que la esterilidad (IV+) en la planta indica un ahorro de energía para asegurar su supervivencia. Ramos *et al.* (2011) mencionan que la esterilidad puede ser mayor cuando las temperaturas son altas, por escasez de agua y bajo contenido de nitrógeno. Al respecto De Almeida *et al.* (2003) reportan que el cultivar Sunrise Solo 72/12 evaluado bajo diferentes niveles de riego, presentó mayor producción de flores IV+ cuando no se aplicó ningún riego y cuando se le aplicaron las dosis de riego 40, 200 y 240 % de agua se presentó mayor carpeloidia. El G207 y la variedad Maradol al

presentar la menor cantidad de OF presentan una característica importante de mayor estabilidad aun cuando hubiera existido algún tipo de estrés, de acuerdo a Mora y Bogantes (2004) la baja producción de OF reduce la competencia entre primordios florales, lo cual asegura una mayor producción en la panta o una mayor probabilidad que la flor IV llegue a fructificar.

Cuadro 12. Expresión del tipo floral IV y otras flores (OF: II, III, IV+) en genotipos NOCS y Maradol de la huerta del Colegio de Postgraduados.

Huerta	Tiempo o evaluado	Genotipo	n	Expresión de flores tipo (IV) Media ± Desvest	F- Valor	Pr > F
Colegio de Postgraduados	Dic- Marzo	207	5	5.80±3.56 a	0.21	0.89
		216	2	4.00±1.41 a		
		15	2	4.00±1.41 a		
		Maradol	7	5.29±3.90 a		
				<b>Expresión de OF (II, III, IV+) Media ± Desvest</b>		
Colegio de Postgraduados	Dic- Marzo	207	5	67.20 ± 59.51 b	27.11	<.0001
		216	2	235.00 ± 14.14 a		
		15	2	273.00 ± 48.08 a		
		Maradol	7	48.43 ± 12.90 b		

Medias con letras iguales en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P<0.05).

La expresión del tipo floral IV fue diferente (P<.0001) entre las huertas Cedralito y Soledad, las plantas de Cedralito produjeron más flores tipo IV, con una media por individuo de 51.20, en contraste a la huerta de Soledad de Doblado, cuya media por individuo fue 37.24. Al respecto Damasceno-Junior *et al.* (2008) mencionan que esta es una característica que indica un alto potencial productivo. La mayor producción de flores IV se atribuye a que en Cedralito se presentó una oscilación térmica más alta que en Soledad. Los resultados encontrados son mayores a los que reporta Da Silva *et al.* (2007) en Brasil, con una media de 20.15 y 28.94 en la producción de flores IV para los genotipos BC1 y Golden, respectivamente, evaluados en el invierno brasileño (julio a septiembre) y 4.67 y 0 evaluados en verano brasileño (diciembre a febrero). El autor menciona que de diciembre a febrero la producción de flores bajó para ambos genotipos y Golden obtuvo 100 % de esterilidad. Por otra parte también en Brasil, Damasceno-Junior *et al.* (2008) evaluaron diez

híbridos del grupo Solo y Formosa y en sus resultados reportan que la producción de flores IV y IV+ fue menor en marzo (7.63) comparado con el mes de septiembre (26.42) atribuyendo este comportamiento a las temperaturas altas de marzo, por el contrario, la producción de flores anómalas (II y III) fue mayor en marzo (16.04) que en septiembre (6.69), este comportamiento se atribuye a las altas temperaturas de marzo, por lo que los autores concluyen que existe una fuerte influencia ambiental en la expresión de los tipos florales. Por su parte Ramos *et al.* (2011) en Brasil evaluaron cinco genotipos (16BC1S1, 52BC1S1, 115BC1S1, BC2, y BC1X'SS72/12) en las cuatro estaciones del año y reportaron que el genotipo 115BC1S1 produjo la mayor cantidad de flores IV con medias de 18.2, 13.73, 24.4 y 17.4 en invierno, primavera, verano y otoño respectivamente. En la producción de OF (II, III, IV+) no se encontraron diferencias entre la huerta Cedralito y Soledad ( $P > 0.92$ ). Esto se atribuye a que en ambas huertas las temperaturas superaron los 33° C, sobrepasando la temperatura óptima del cultivo. Al respecto De los Santos *et al.* (2000) señalan que en Veracruz las temperaturas mayores a 33° C provocan la producción de flores estériles por el atrofiamiento del ovario. Por su parte Chan (2009) también menciona que las temperaturas  $> 35^{\circ}$  C estimulan la producción de flores IV+. Da Silva *et al.* (2007) mencionan que en Brasil la presencia de flores deformes (II, III, IV+) es mayor en verano (Diciembre a Febrero) por las temperaturas más altas. El número de OF también es un aspecto que se sugiere influyó en la baja producción de flores IV. Al respecto Mora y Bogantes (2004) mencionan que casi todas las variedades de papaya producen más de una flor por axila, pero, debido a la competencia entre primordios florales un alto número de flores IV no necesariamente producen fruto, por ello, una variedad que produzca muchas flores IV no significa que será más productiva. En Brasil, Ramos *et al.* (2011) mencionan que la producción de flores estériles (IV+) es mayor en primavera, y la carpeloidia y petandria es mayor en verano.

En el estudio sincrónico, la variedad Chiapaneca con un valor de  $P > 0.62$  no mostró diferencias estadísticas en la producción de flores tipo IV entre localidades: Colonia Ejidal, El Porvenir y Tenacalco, por lo que la producción de este tipo floral fue similar entre huertas. Sin embargo, la producción de OF si fue diferente ( $P < .0001$ ), presentando Tenacalco la mayor cantidad de OF con una media de 23.5, en contraste a Colonia Ejidal y El Porvenir con 12.2 y 15.7 respectivamente. Ello indica un comportamiento regularmente estable del genotipo en las localidades Colonia Ejidal y El Porvenir. Sin embargo, el comportamiento no fue el mismo en la huerta Tenacalco, esto pudiera ser explicado por la temperatura, humedad, tipo de suelo que también pudo haber influido

en la floración. Sin embargo, Rodríguez-Delgado *et al.* (2015) mencionan que un genotipo no puede considerarse estable si muestra un comportamiento diferente en uno o más agroecosistemas.

La variedad Mandunjano en las huertas Palmas de Abajo y Santa Rosa mostró un comportamiento similar ( $P > 0.90$ ) en la expresión de flores IV y OF ( $P > 0.62$ ); la localidad no tuvo efecto en su comportamiento floral. Al respecto Gonzales *et al.* (2007) mencionan que la estabilidad del rendimiento de un cultivar permite conocer el comportamiento de un genotipo con respecto a los factores ambientales en diferentes localidades. Alonso *et al.* (2009) mencionan que el mismo comportamiento en diferentes condiciones climáticas y edáficas es una característica importante en la comercialización. Sin embargo, la estabilidad del rendimiento y el comportamiento de un genotipo deben evaluarse en más de dos localidades con diferentes ambientes y por más de un ciclo (Cruz *et al.*, 2003).

Dentro de la localidad de Palmas de Abajo se encontraron diferencias significativas ( $P < .0001$ ) entre variedades en la expresión de flores tipo IV (Figura 11). Mandujano presentó las plantas con mayor producción de flores IV, en contraste a los tipos Azteca y Guajira, con baja presencia de esta flor. La baja producción del tipo Azteca no coincide con lo que reporta Mirafuentes y Santamaría (2014) quienes mencionan que esta variedad desarrolla el 91% de flores IV. El tipo Azteca y Maradol fueron evaluados en Huimanguillo, Tabasco, Apatzingán, Michoacán y Mochochá, Yucatán, y en dichos estados Azteca produjo mayor cantidad de flores IV en contraste a Maradol, a pesar de que la floración coincidió con las temperaturas altas (Mirafuentes y Santamaría 2014). Los resultados obtenidos muestran que los genotipos dentro de la huerta Palmas de Abajo respondieron de manera diferente dentro de las mismas condiciones de manejo, clima y suelo. El genotipo Mandunjano fue mejor en la producción de flores IV entre genotipos y entre localidades. Al respecto Hanzi *et al.* (2014) mencionan que el comportamiento de un genotipo está ligado con la adaptabilidad y su respuesta al ambiente. Por su parte Santamaría *et al.* (2016) mencionan que Azteca, BS y BS2 producen 17 frutos/planta mensualmente, Maradona y Maradol cera producen de 9 a 12 frutos/planta, dichas variedades tienen mejor producción que Maradol con 6 frutos/planta mensualmente. En relación a lo que menciona Santamaría *et al.* (2016) una planta de papayo debe producir al menos un fruto por axila, Allan y Biggs (2002) mencionan que en promedio se desarrollan tres inflorescencias por semana, por su parte Paterson *et al.* (2008) indican que se desarrollan de tres a ocho axilas por semana, entonces la producción de un fruto por axila

en los genotipos desarrollados por el INIFAP y la variedad Maradona se cumple, no así, para la variedad Maradol que con 6 frutos/planta/mes indica una baja producción.

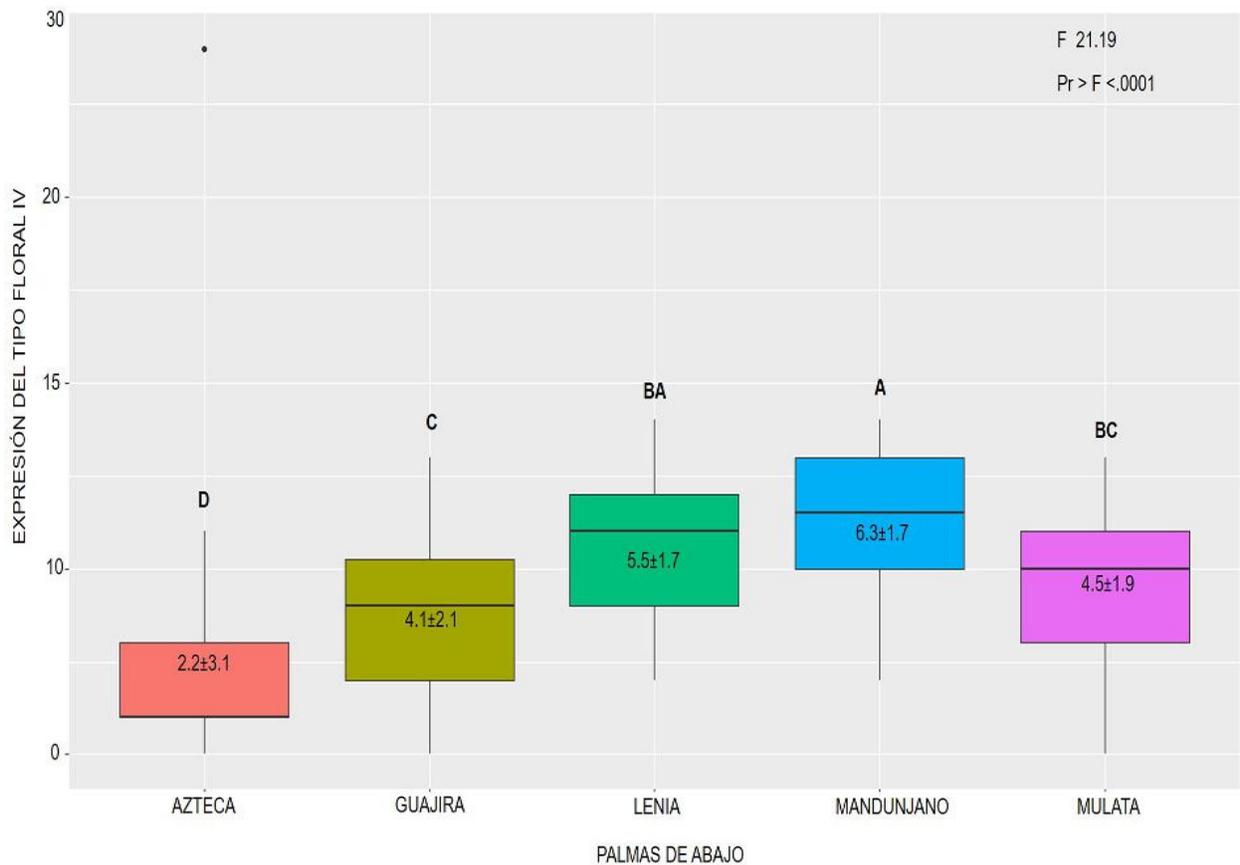


Figura 11. Expresión del tipo floral IV en cinco variedades en la huerta Palmas de Abajo.

La producción de OF también fue diferente entre variedades, Mulata fue quien produjo una mayor cantidad en compañía de Mandunjano y Azteca, por lo contrario, Guajira fue quien produjo el menor número de OF (Figura 12). Estos resultados con respecto al tipo Azteca no concuerdan con lo que reporta Mirafuentes y Azpeitia (2008) al mencionar que ésta es una variedad desarrollada por el INIFAP en el cual los progenitores no presentan carpeloidia, siendo tolerante a temperaturas mayores a 35° C (Mirafuentes y Santamaría, 2014). Al respecto Santamaría *et al.* (2016) mencionan que las empresas comerciales de semilla siguen produciendo genotipos con características como calidad de fruto y vida de anaquel, sin embargo, como dichos genotipos son producidos en otras regiones es importante evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de clima para conocer su potencial productivo. Al respecto Santamaría *et al.* (2016) en Yucatán

evaluaron la producción de frutos carpeloides en las variedades Maradol Cera, Maradona, Maradol roja y los genotipos MSXJ, BS Y BS2 desarrollados por el INIFAP. En sus resultados mencionan que MSXJ, BS y BS2 presentaron baja producción de carpeloidia (de 1 a 2 frutos/planta/mes), la variedad comercial Maradona, Maradol roja y Maradol cera presentaron la misma cantidad de frutos carpeloides (5 frutos/ planta/mes). Aunque estos resultados son de producción de frutos al mes, guardan una relación directa con la producción de flores, la planta desarrolla de tres a cuatro axilas/semana y por cada cima floral hay una flor carpeloide, entonces se espera que por semana se pueden presentar 12 flores tipo III. Sin embargo, este tipo de flores no siempre llegan a fructificación, por ello, los valores encontrados en los genotipos del INIFAP son valores importantes que indican un alto potencial productivo.

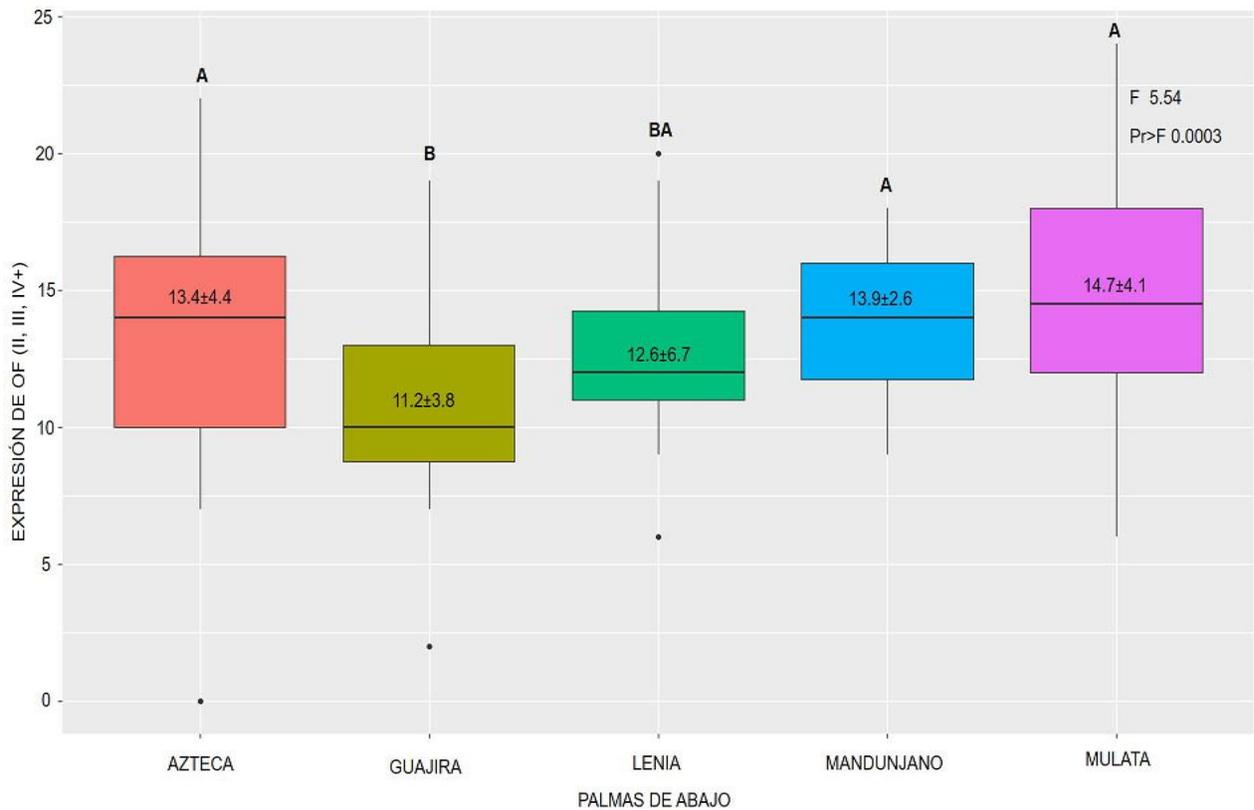


Figura 12. Expresión de OF (II, III, IV+) en cinco variedades en la huerta Palmas de Abajo.

## 6.5. Expresión sexual de tipos florales y su relación con las variables climáticas

### Humedad relativa (%)

En la huerta del Colegio de Postgraduados la humedad relativa máxima se encontró por arriba del 83.3 % de humedad durante todo el periodo de observación. Las mínimas se encontraron mayores al 20 % a excepción de los muestreos 11 y 13 con la humedad más baja, y las medias fueron superiores al 66% (Figura 13). En la huerta Soledad la humedad máxima fue superior al 93 %, las mínimas fueron mayores al 26.7 % a excepción del muestreo ocho del mes de febrero con la humedad más baja, y las medias se encontraron superiores a los 71.8 % (Figura 13). En Cedralito las máximas fueron mayores a los 94.3, con una humedad casi similar en todos los muestreos, las mínimas fueron superiores a los 20.3 % a excepción del muestreo 7 y 8 con la humedad más baja, y las medias fueron mayores a 71.2 % (Figura 13). Alonso *et al.* (2008) mencionan que la humedad relativa es uno de los factores que afectan el desarrollo del papayo, dicha variable debe oscilar entre 60-85 %, por debajo de esta variable se incrementa la transpiración y la pérdida de agua lo que puede provocar la deshidratación de flores, frutos y hojas, la humedad mayor al 85 % favorece la presencia de enfermedades virales y proliferación de hongos. Por su parte De Almeida *et al.* (2003) mencionan que bajos y altos porcentajes de humedad por sistema de riego causan mayor producción de flores IV+.

### Temperatura (°C)

En el Colegio de Postgraduados las temperaturas fueron mayores a los 29° C presentándose la máxima en el muestreo 13 (marzo). Las mínimas se encontraron superiores a los 17° C, siendo los muestreos 8, 9 y 11 con las temperaturas mínimas más bajas y las medias se encontraron superiores a los 24.3° C (Figura 14). Las temperaturas máximas de la huerta Soledad fueron mayores a los 33° C, siendo el muestreo 8 (febrero) con la temperatura más alta, las mínimas fueron superiores a los 17.1° C, a excepción del muestreo 8 con la temperatura más baja, las medias se encontraron superiores a los 20.2° C (Figura 14). En Cedralito máximas fueron mayores a los 32° C, siendo el muestreo 7 (Enero) con la temperatura más altas, las mínimas se encontraron superiores a los 17.0° C, a excepción de los últimos tres muestreos con las temperaturas más bajas, las medias fueron mayores a los 24.2 °C con excepción del muestreo 5 (Figura 14). Alonso *et al.* (2008) mencionan que en el cultivo de papayo las temperaturas superiores a 38° C retrasan la fructificación,

disminuye la capacidad fotosintética y ocasiona la aparición de flores estériles, por ello, el rango óptimo es de 24° C a 26° C con mínimas medias anuales superiores a 18° C, por debajo de esta variable las plantas retardan su crecimiento y floración. Por su parte Vázquez-García *et al.*, (2008) mencionan que la temperatura óptima es de 15 a 35°C, las bajas temperaturas retrasan el crecimiento y las altas lo aceleran. Por otro lado, Cráne (2005) menciona que la temperatura óptima es de 21 a 32° C. Vázquez *et al.* (2010) indican que las temperaturas <17° C y >35° C favorecen la aparición de carpeloidia.

### **Punto de rocío (°C)**

En la huerta del Colegio de Postgraduados las temperaturas máximas de punto de rocío fueron superiores a 22.1° C, las mínimas fueron mayores a 10.2° C a excepción de los muestreos 9 y 11, y las medias fueron mayores a los 17.6° C (Figura 13). En la huerta Soledad las máximas fueron mayores a los 21° C, las mínimas fueron mayores a los 13.9° C a excepción del muestreo 8 con la temperatura de rocío más baja y las medias fueron mayores a los 17.3° C (Figura 13). En el Cedralito las máximas fueron superiores a los 22.4, las mínimas fueron mayores a los 14.2° C a excepción de los muestreos 7 y 8 con las temperaturas más bajas y las medias fueron >15.3° C (Figura 13).

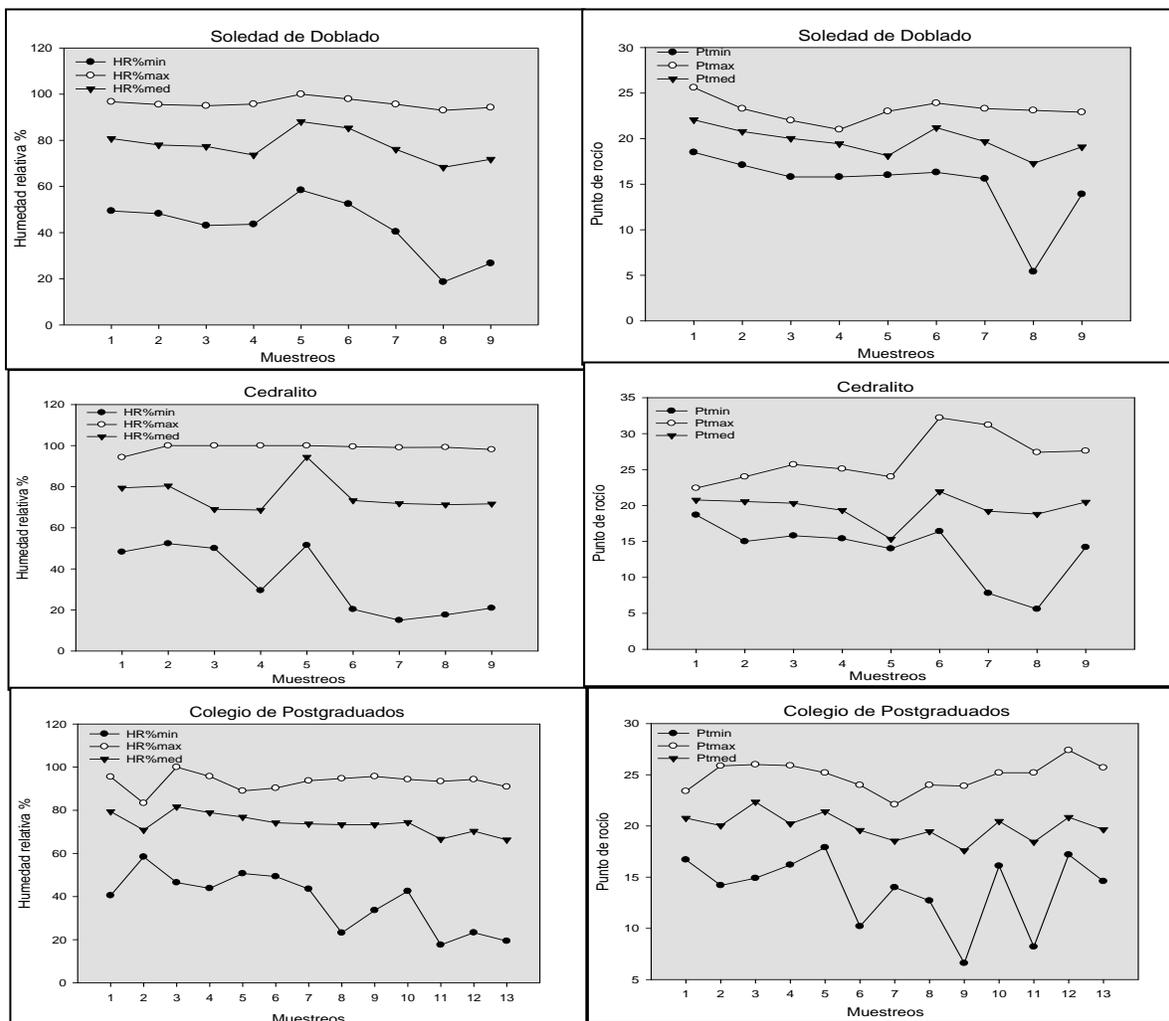


Figura 13. Humedad relativa (%) y punto de rocío (°C) de la huerta Cedralito, Soledad y Colegio de Postgraduados.

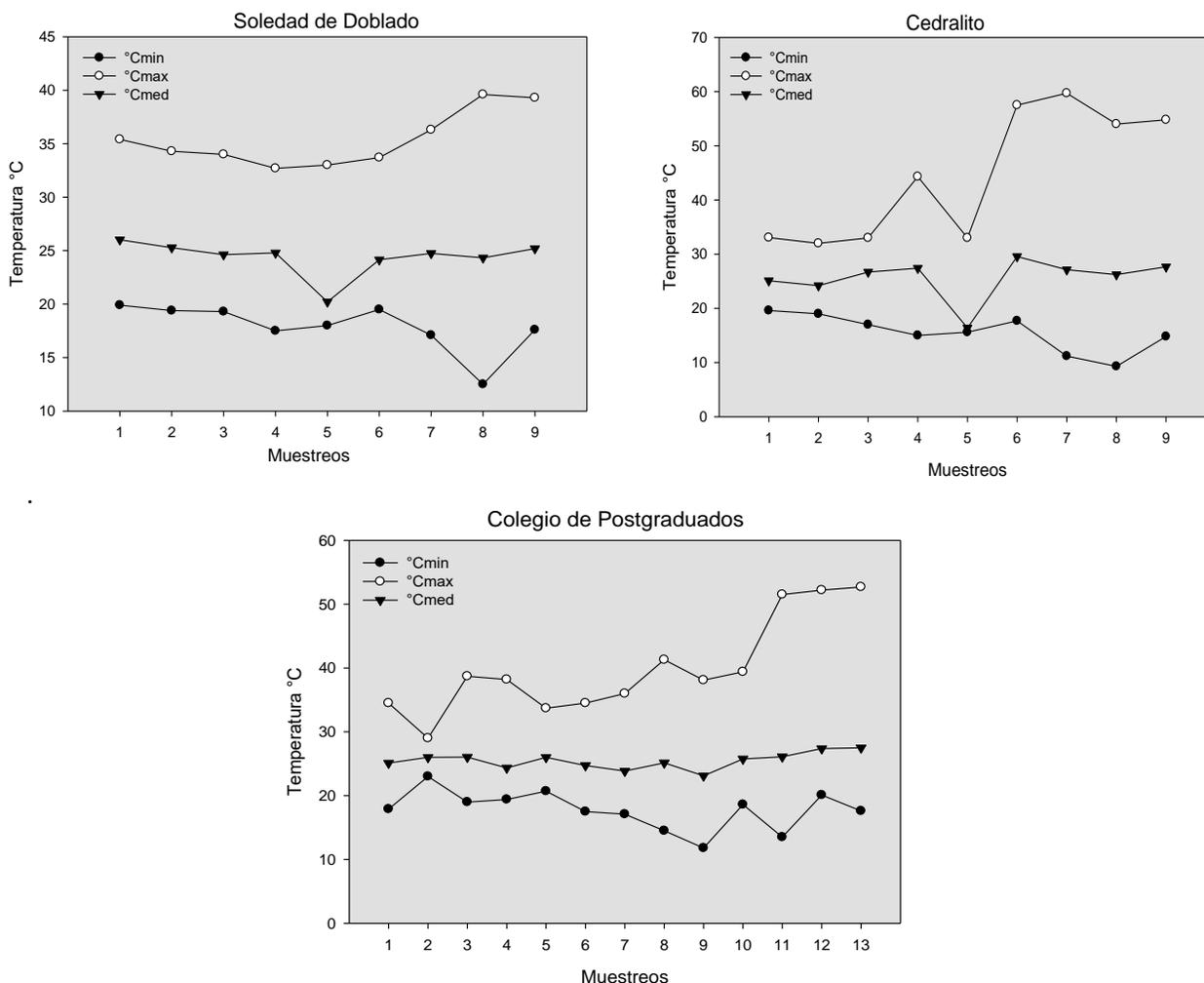


Figura 14. Temperatura (°C) de la huerta Cedralito, Soledad y Colegio de Postgraduados.

La humedad relativa (%) y el punto de rocío (°C) no mostraron ninguna influencia en la expresión de los tipos florales (Figura 13). Por otro lado, la temperatura influyó fuertemente en la incidencia de los tipos florales (Figura 14). El tipo IV se correlaciono positivamente en las tres huertas con la temperatura máxima, y negativamente con la temperatura mínima (Cuadro 13). Estos resultados comparados con los obtenidos en Brasil por Martelleto *et al.* (2011) solo coinciden en la correlación positiva con las temperaturas máximas ( $r=0.51$ ), pero no así con la mínima, los autores reportan una correlación positiva ( $r=0.49$ ) con la mínima y en este trabajo se encontró una correlación negativa. Los resultados indican que la expresión de flores IV se favorece con las amplitudes térmicas altas, es decir cuando las diferencia entre la temperaturas altas y bajas es

grande. Al respecto Bogantes-Arias y Mora-Newcomer, (2017) mencionan que la amplitud térmica (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) es mayor a 10° C disminuye la producción de flores carpeloides en el papayo.

La expresión del tipo IV+ en el Colegio de Postgraduados se correlacionó positivamente (0.39\*) con la temperatura máxima y la media. En Cedralito mostró una correlación alta y positiva con la temperatura máxima, una asociación negativa con la mínima y positiva con la media. En Soledad presentó una correlación alta y positiva con las temperaturas media, máxima y mínima (Cuadro 13). Estos resultados significan que las temperaturas altas y bajas favorecen la aparición de este tipo floral. Al respecto Martelleto *et al.* (2011) mencionan que la poca radiación fotosintética y las plantas de bajo vigor estimulan la producción de flores estériles (IV+).

Las correlaciones de los tipos II y III fueron diferentes en las tres huertas. El tipo floral II no mostró correlación con las temperaturas mínima, máxima o media, en la huerta del Colegio de Postgraduados; en cambio en la huerta Cedralito se correlacionó de manera negativa con la máxima y positiva con la mínima, y en la huerta Soledad solo se correlacionó positivamente con la media (Cuadro 13). La correlación negativa con las temperaturas máximas no coincide con lo que menciona Mirafuentes y Santamaría (2014) en Tabasco al decir que la petandria y carpeloidia se favorece con las temperaturas máximas de 32 a 42° C.

El tipo floral III en la huerta Colegio de Postgraduados se correlacionó de forma positiva con la máxima y negativamente con la mínima. En la huerta Cedralito este tipo floral solo se correlaciono negativamente con la temperatura mínima. En la huerta Soledad se correlaciono positivamente con la mínima y la media (Cuadro 13). Las correlaciones de este tipo floral en la huerta Soledad son similares a las que menciona Martelleto *et al.*, (2011) quiénes reportan una correlación positiva ( $r=0.50$ ) con la mínima y con la media ( $r=0.61$ ). La correlación negativa con la temperatura mínima en la huerta Cedralito y el Colegio significan que entre más baja sea la temperatura mínima, la producción de flores tipo III se favorece. Al respecto Bogantes-Arias y Mora-Newcomer (2017) en Costa Rica reportan que en el híbrido Pococi y la variedad criolla conocida como Lucia, la carpeloidia coincide con las temperaturas mayores a 30° C y menores a 20° C.

El papayo no es el único frutal influenciado por la temperatura; en el Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) las temperaturas altas mayores a 25° C reducen la producción de flores femeninas tipo II (Osuna *et al.*, 2008). En el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) las bajas temperaturas producen una panícula incompleta, caída de las espiguillas, polen inviable, alteración de la antesis, esterilidad y

deformación de granos (Díaz *et al.*, 2006). Aguilar *et al.* (2015) reportan que en Zapote Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.)) las temperaturas mayores a 26° C acompañadas de sequías afectan la floración. Aunque, no en todos los frutales o cultivos son afectados por el estrés térmico, en el mango (*Mangifera indica* L.) el estrés por temperaturas bajas menores o iguales a 19° C es determinante para que se induzca la floración (Osuna *et al.*, 2000). El conocimiento de la interacción de la papaya con los factores ambientales (temperatura, humedad relativa, luz, humedad del suelo y las propiedades físicas y biológicas del mismo) provee bases científicas para el desarrollo de estrategias de manejo para optimizar la productividad de la cosecha (Campostrini y Glenn, 2007).

Cuadro 13. Correlaciones de Pearson entre la producción de tipos florales y temperaturas máxima, mínima y media.

Huerta	Tipo floral	T. máxima	T. mínima	T. media
Colegio de Postgraduados	II	-0.22	0.12	-0.11
	III	0.30*	-0.52*	0.06
	IV	0.61**	-0.74**	0.14
	IV+	0.39*	0.02	0.39*
Soledad	II	0.08	0.22	0.35*
	III	-0.19	0.45*	0.39*
	IV	0.59**	-0.37*	-0.13
	IV+	0.48*	0.41*	0.62**
Cedralito	II	-0.55**	0.52**	-0.21
	III	0.03	-0.58**	-0.06
	IV	0.47*	-0.82**	0.12
	IV+	0.71**	-0.49*	0.34*

\*P≤ 0.05 \*\*P≤ 0.01.

## VII. CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas fue distinto entre sexos, en la variedad Maradol, pero no entre los genotipos NOCS y comerciales.

La morfología floral fue distinta entre los genotipos NOCS y Maradol; las flores más grandes tipo IV y I las presentó el G207, el cual fue un genotipo relevante al presentar una población ginodioica.

Las proporciones de sexos también fueron diferentes entre genotipos NOCS y comerciales, pero de acuerdo con las proporciones teóricas esperadas solo el G216 no se ajustó a la prueba.

La expresión del tipo floral IV no fue diferente entre genotipos NOCS y Maradol, y tampoco entre huertas de Maradol, pero sí en la incidencia de otros tipos florales entre genotipos y entre huertas.

En las otras variedades comerciales del estudio sincrónico si se encontraron diferencias en la expresión de flores IV y de otras flores. Mandunjano fue la que presentó una mayor expresión del tipo IV entre variedades, y fue la única variedad que no mostró diferencias en la expresión de flores IV y de otras flores entre huertas.

Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis general y las particulares planteadas en la investigación, en el sentido de que sí se encontraron diferencias entre genotipos NOCS y comerciales, con respecto a rasgos de su biología floral y en la expresión sexual poblacional, así también con respecto a la expresión sexual individual en relación a la temperatura.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

La presente investigación representa una base para futuras investigaciones, por tal motivo se sugiere que en las variables de respuesta se agreguen las variables: tasa fotosintética, precipitación y clorofila con fin de tener un marco más amplio del déficit de la planta. En esta investigación careció de un estudio de suelo de todas las huertas, por ello, se recomienda realizarlo en un futuro para poder analizar el contenido de nutrientes, humedad y salinidad del suelo y así poder atribuir o descartar estrés térmico, hídrico, salinidad y exceso de nitrógeno, factores que se relacionan con la inestabilidad floral. Así también se recomienda volver a realizar este mismo estudio incrementando dichas variables antes mencionadas y evaluar las cuatro estaciones del año.

## IX. LITERATURA CITADA

- Abarca-García C., A., E. Cuevas-García y C. A. Domínguez. 2010. Es la evolución de la dioecia un callejón sin salida. *Ciencias* 99: 1-4.
- Abreu D., F. 2000. El Cultivo de la Papaya Maradol Roja. Plantaciones Modernas. Año Dos mil S. A. (Ed). México. 34 p.
- Aguilar C., C., V. A. González H., J. A. Mora A., y A. Villegas M. 2015. Estudio fenológico en zapote mamey (*Pouteria sapota* (jacq.)) Guerrero, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18(1):71-79.
- Aguilar-Barojas S. 2005. Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco* 11: 333-338.
- Aguirre A., M. Vallejo M., E. M. Piedra M., R. Cruz O., and R. Dirzo. 2009. Morphological variation in the flowers of *Jacaratia mexicana* (*Caricaceae*), a subdioecious tree. *Plant Biology* 11: 417-424.
- Agusti M. 2004. Fruticultura. Mundi prensa (Ed), Madrid, España, pp. 478-480.
- Ainsworth C. 2000. Boys and girls come out to play: The molecular biology of dioecious plants. *Annals of Botany* 86: 211-221.
- Alcántara J., J. Á., E. Hernández-Castro., S. Ayvar S., A. Damian 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: 035-046.
- Allan P. 2007. *Carica papaya* responses under cool subtropical growth conditions. *Tropical and Subtropical Fruits* 575: 757-763.
- Allan P., J. McChlery, and D. Biggs. 2002. Environmental effects on clonal female and male *Carica papaya* L. plants. *Scientia Horticulturae*. 32:221-232.

- Alonso E., M., Y. Tornet Q., R. Ramos R., E. Farrés A., M. Aranguren G., y D. Rodríguez M. 2008. Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. *Agricultura Técnica en México* 34: 333-339.
- Alonso E., M., Y. Tornet Q., R. Ramos R., E. Farrés A., y D. Rodríguez M. 2009. Evaluación de dos híbridos de papaya introducidos en Cuba. *Agronomía costarricense* 33 (2):267-274.
- Altieri M. 1995. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. In M. A. Altieri (ed.), *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Santiago de Chile: CLADES (Ed):pp. 22-31.
- Altieri M., A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Ávila-Reséndiz., 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.72p.
- Ávila Reséndiz., C., E. García P., y G. Hernández S. 2011. Mantenimiento de las colectas de semilla en *Carica papaya* L, Ejercicio Fiscal 2009. Texcoco Edo. de México.10p.
- Badillo V. 2000. *Carica* L. Vs. *Vasconcella* st. Hil. (*Caricaceae*) con la rehabilitación de este último. *Ernstia*, 10: 74-79.
- Badillo V., M. 1971. Monografía de la familia *Caricaceae*. Asociación de Profesores, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 221p.
- Barrios P., F. S. 2015. Variación fenotípica a partir de cruces controladas en variedad criolla de papaya; la blanca, San Marcos. Tesis para obtener el título de ingeniero Agrónomo con énfasis en cultivos tropicales en el grado académico de licenciado. Coatepeque, octubre de 2015, sede regional de Coatepeque. 75 p.
- Bennett M., D. and I. J. Leitch. 2005. Plant DNA C-values database. Royal Botanic Gardens, Kew. [http //data.kew.org/cvalues/home page.html](http://data.kew.org/cvalues/home page.html) consultado el 13-marzo-2016
- Bermúdez-Guzmán M. J., S. Guzmán-González., J. Lara-Reyna., P. A. Palmeros-Suárez., López-Muraira I. G y Gómez-Leyva J. F. 2017. Presence of Papaya ringspot virus (PRSV) in weed

- associated with *Carica papaya* in Colima, Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(1):1-15.
- Bogantes-Arias A., y E. Mora-Newcomer. 2017. Influence of genotype and temperature on carpellody of papaya. *Mesoamerican Agronomy*, 28 (3): 577-590.
- Brown J., E., J Bauman M., J. Lawrie F., O. Rocha J. and R. Moore C. 2012. The structure of morphological and genetic diversity in natural populations of *Carica papaya* (Caricaceae) in Costa Rica. *Biotropica* 44(2):179–188
- Campostrini E. and D. Glenn M. 2007. Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):413-424
- Carvalho F., A., and S. A. Renner. 2013. The phylogeny of Caricaceae. In: Ming R., and P. Moore H. (eds) *Genetics and Genomics of Papaya*. *Plant Genetics and Genomics: Crops and Models*. Springer Science and Business Media 10:81-92
- Castro L., T., O. Rivero R., M. Anaya V., y A. Briceño. 2002. Determinación sexual en *Carica papaya* L. *Revista Pittieria* 31:25-32.
- Chan Y., K. 2009. Breeding papaya (*Carica papaya* L.). In: J.S Mohan and P.M. Priyadarshan (eds). *Breeding plantation tree crops: Tropical species*. Springer Science and Business Media pp. 121-159.
- Conway G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*. 24(1): 95-117.
- Costa A. D., y B. E. Pacova. 2003. Caracterización de cultivares, estratégias y perspectivas de mejoramiento genético de mamoeiro. In: Martins, D., A. Costa, (ed). *A cultura do mamão: tecnologia e producao*. INCAPER (Ed). pp. 59-102.
- Cráne J. H. 2005. Papaya growing in the Florida home landscape. Fact Sheet HS11. Horticultural Sciences Department. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 7 pp.
- Cruz J., C. Pelacani, S. Filho and W. Dos Santos. 2003. Production and partitioning of dry matter and stomatal conductance of Rangpur lemon under salt stress. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25(3): 528-531.

- Cuevas-García E., y C. A. Abarca-García. 2006. Origen, mantenimiento y evolución del ginodioicismo. *Boletín de Sociedad Botánica de México* 78: 33-42.
- Da Silva F., F., M. Pereira G., P.C. Damasceno Junior., T. N.S. Pereira., A. P. Viana., R. F. Daher., and G. A. Ferregueti. 2007. Evaluation of the sexual expression in a segregating BC1 papaya population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 7(1):16-23.
- Damasceno-Junior P., C., T. N. S. Pereira., D. S. Francisco F., A. P. Viana., y M.G. Pereira. 2008. Comportamento floral de híbridos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) avaliados no verão e na primavera. *Ceres* 55: 310-316.
- De Almeida F., T. Marinho., C. De Souza S., y S. Grippa. 2003. Expressão sexual do mamoeiro sob diferentes lâminas de irrigação na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25(3):383-385
- De la Llata L., M. D. 2003. *Ecología y medio ambiente*. Tapia F. Y. (ed). 2a. ed. Progreso (Ed). México, D. F. 231 p.
- De los Santos de la R., F., E. N. Becerra L., R. Mosqueda V., A. Vázquez H. y A. B. Vargas G. 2000. Manual de producción de papaya en el estado de Veracruz. SAGAR. INIFAP. CIRGOC-C.E. Cotaxtla, División agrícola. Folleto técnico. Núm. 17. Primera reedición. Veracruz. Veracruz, México. 87 p.
- Dey K., S. Mondal., and S. Mandal. 2016. Flower-visitor diversity with reference to pollen dispersal and pollination of *Carica papaya* L. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences* 3(2): 65-71.
- Días N., L. P., E. J. de Oliveira y J. L. L. Dantas. 2012. Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetros genéticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 1471-1479.
- Díaz S., H., R. Morejón., R. Castro., y N. Pérez. 2006. Comportamiento de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) seleccionados para tolerancia a las bajas temperaturas en siembra temprana de frío. *Cultivos Tropicales* 27(2):71-75.

- Dos Santos F., S. S., T. V. A. Viana., B. M. de Azevedo., C. Oliveira W. y A.E.C. Sousa. 2008. Efecto de diferentes láminas de irrigación en cultura de mamao. *Engenharia Agricola* 28(4): 673- 680.
- Evans E. A., y Ballen, F. H. 2012. Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial. Food and Res. Econ. Dep. University of Florida, USA. <http://edis.ifas.ufl.edu>. consultado el 15 de marzo 2016.
- Feíto D., y B. Portal M. 2013 La competitividad en las exportaciones de papaya de México: Un análisis cuantitativo. *Perspectivas* 7(2): 27-54.
- Galindo A., C. Jeronimo., E. Spaans y M. Weil. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Tierra Tropical* 3: 91-96.
- García V., E., M. Vázquez H., A. Flores R., y B. Santamaría. 2010. Producción y manejo postcosecha de papaya Maradol en la Planicie Huasteca. Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo experimental las Huastecas. Libro técnico No.4, Tamaulipas, México. 180 p.
- Giacometti D., C., y R.M. Torres. 1967. Mejoramiento genético del papayo. *Revista ICA* 2(4): 71-76.
- Gil A., I., y D. Miranda. 2008. Aspectos anatómicos de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2:145-156.
- Gliessman S., R. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sustentable. CATIE, Turrialba, Costa Rica 359 p.
- González T., E. Monteverde., C. Marín y P. M. Madriz. 2007. Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón. *Interciencia* 32 (5):344-348.
- Granados R., R., R. Salceda L., y M. D. P. Longar B. 2015. Situación actual y perspectivas tecnológicas para la papaya (*Carica papaya* L.) en el distrito de Veracruz, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4): 749-761.

- Hanzi H., D., V. de Souza., L. B. Snoek, S. Schnabel., H. Nijveen., H. Hilhorst., and L. Bentsink. 2014. Interaction between parental environment and genotype affects plant and seed performance in arabidopsis. *Journal of Experimental Botany* 65: (22): 6603-6615.
- Hart R., D. 1985. Sistemas agrícolas. In: *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba 156 p.
- Hernández X., E. 1977. *Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola*. México, Colegio de Postgraduados, Chapingo. 42p.
- Hernández-Castro E., A. Damian-Nava., A. Mora-Aguilera., J. A. Villanueva-Jiménez., D. Vargas-Álvarez., and F. Palemón A. 2015. Incidence of the Papaya Ringspot Virus (PRSV-p) and Management in the State of Guerrero, Mexico. *In: S. Dimitrov Todorov and I. Vitanova Ivanova (eds.) Tropical Fruits* pp: 119-127.
- Hofmeyr J., D., J., 1967. Some genetic and breeding aspects of *Carica papaya*. *Agronomía Tropical* 17: 345-351.
- Hofmeyr, J., D., J. 1938. Genetical studies of *Caulca Papaya* L. *South African Journal of Science* 35(12): 300-304.
- Jeyakumar P., M. Kavino., N. Kumar., K. Soorianathasundaram. 2007. Physiological performance of papaya cultivars under abiotic conditions. In: Chan Y. K., and R.M. Paull (eds). *I International Symposium on Papaya*. Genting Highlands, Malaysia. *Acta Horticulturae* 740:209-215.
- Jiménez V., M., E. Mora-Newcomer., y M. V. Gutiérrez-Soto. 2014. Biology of the papaya plant. In *Genetics and Genomics of Papaya*. Springer pp. 17-33.
- Kim M., P. Moore, F. Zee, M. M. Fitch, D. Steiger, R. Manshardt, R. Paull, R. Drew, T. Sekioka and R. Ming. 2002. Genetic diversity of *Carica papaya* as revealed by aflp markers. *Genome* 45: 503-512.
- Korpelainen H. 1998. Labile sex expression in plants. *Biological Reviews* 73: 157-180.
- Kruger J., A. and P. G. Mostert. 2007. Irrigation. In: Villiers, E.A. (eds) *The cultivation of papaya*. Agricultural Research Council (ARC) pp 50-59.

- Lloyd D. 1975. The maintenance of gynodioecy and androdioecy in angiosperms. *Genética* 45: 325-339.
- Madriz R. y N. Ramírez. 1996. Biología reproductiva de *Coccoloba uvifera* (Polygonaceae) una especie poligamo-dioica. *Revista de Biología Tropical/International Journal of Tropical Biology and Conservation* 44: 105-115.
- Magdalita P., M., and C. P. Mercado. 2003. Determining the sex of papaya for improved production. Food and Fertilizer Technology Center. Universidad de Philippines, Los Baños (Filipinas): 6p.
- Marler T. E. and H. S. Clemente. 2006. Papaya seedling growth response to wind and water deficit is additive. *HortScience* 41(1): 96-98.
- Martelleto L., A. P., R. d. L. D. Ribeiro, M. Martelleto S., M. A. d. S. Vasconcellos y M. Pereira B. 2011. Expressão da esterilidade feminina e da carpeloidia em mamoeiro sob diferentes ambientes de cultivo protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33: 1185-1193.
- Martínez J. P., R. Linárez., M. Arizaleta y L. Meléndez. 2004. Aspectos de la biología floral en lechosa (*Carica papaya* L.) cv. Cartagena roja, en el estado Lara, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 21(2):116-125.
- Martínez-Dávila J., P., C. Landeros S., y A. Pérez V. 2004. El concepto de agroecosistema. Un enfoque de cadenas de producción-consumo. *Memorias del Primer Coloquio sobre Agroecosistemas y Sostenibilidad*. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Octubre, pp:16.
- Martínez-Dávila, J., F. Gallardo., L. Bustillo., y A. Pérez. 2011. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola en Veracruz. In A. Cruz (ed.), *La biodiversidad en Veracruz..* Xalapa: Universidad Veracruzana-Instituto de Ecología A.C.
- Meza S. D., K. V. Guerrero O., y T. C. Burbano L. 2011. Evaluación del crecimiento, la morfología floral y el fruto de Chilacuán (*Vasconcellea cundinamarcensis* B.). *Revista de Ciencias Agrícolas* 18(1):9-23.

- Milene de Figueiredo. 2011. Morfología floral e análise de genes envolvidos na reversão sexual em mamoeiro (*Carica papaya* L.). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro 77 p.
- Ming R., Q. Yu, and P. Moore H. 2007. Sex determination in papaya. In *Seminars in cell and developmental biology* 18 (3):401-408.
- Ming R., Q. Yu., A. Blas., C. Chen., J. Na K., and P. Moore H. 2008. Genomics of papaya, a common source of vitamins in the tropics. In: P. Moore H., R. Ming (eds) *Genomics of Tropical Crop Plants* 405–420
- Mirafuentes H., F., F. Santamaría B., M. Azpeitia A., y R. Genovevom J. 2012. Genotipos de papaya tolerantes a altas temperaturas durante la etapa de floración. In: Cueto W., J.A., Ávalos M., R.G. y Hernández M., D. (comps). VII Reunión Nacional de Innovación Agrícola Querétaro 2012. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. pp 263.
- Mirafuentes H., F., y F. Santamaría B. 2014. MSXJ, híbrido de papaya sin carpeloidía para el sureste de México. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (7):1297-1301.
- Mirafuentes H., F., y M. Azpeitia A. 2008. Azteca, primer híbrido de papaya para el trópico de México. *Fitotecnia Mexicana* 31: 291-293.
- Moore P., H. 2014. Phenotypic and Genetic Diversity of Papaya. In : *Genetics and Genomics of Papaya*. R. Ming and P. H. Moore (eds). Springer New York. 10:35-45
- Mora E., y A. Bogantes. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 15 (1): 39-44
- Murayama K., T. Yahara and T. Terachi. 2004. Variation of female frequency and cytoplasmic male-sterility gene frequency among natural gynodioecious populations of wild radish (*Raphanus sativus* L.). *Molecular Ecology* 13:2459-2464.
- Ortiz R., H. Ríos, M. Ponce, G. Verde, R. Acosta, S. Miranda, L. Martin, I. Moreno, M. Martínez y M. Varela. 2003. Efectividad de la experimentación campesina en la microlocalización de variedades de frijol y la evaluación de la interacción genotipo-ambiente. *Cultivos Tropicales* 24(4): 107-113.

- Osuna E., T., E. Engleman, A. E. Becerril R., R. Mosqueda V., M. Soto H., y A. Castillo M. 2000. Iniciación y diferenciación floral en mango manila. *Agrociencia* 34 (1):573-581.
- Osuna E., T., G. Valenzuela R., M. Rangel D., A. A. Gardea B., y M. Villarreal R. 2008. Expresión del sexo y anatomía floral del litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 31 (1):51-56.
- Paterson A., P. Felker., S. Hubbell., y R. Ming. 2008. The fruits of tropical plant genomics. *Tropical Plant Biology*: 1(1):3-19
- Pierce L., K., y T. C. Wehner. 1990. Review of genes and linkage groups in cucumber. *Hort Science* 25: 605-615.
- Posada P., L., K. Gómez R., J. Pérez P., M. Reyes V., and O. Norman M. 2010. Development of a new papaya (*Carica papaya* L.) hybrid IBP. *Interciencia* 35(6): 42-99
- ProPapaya- Sistema Producto Papaya. 2015. <http://propapaya.org/acerca-de-la-papaya/datos-generales>. Consultado el 14 noviembre 2017.
- Radin B., B. B. Lisboa., S. Witter., V. Barni., C. Reisser J., R. Matzenauer., y M.H. Fermino. 2011. Desempenho de quatro cultivares de morangueiro em duas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. *Horticultura Brasileira* 29:287-291
- Ramos H., C. C., M. G. Pereira, F. Silva F., A. P. Viana., and G. A. Ferregueti. 2011. Seasonal and genetic influences on sex expression in a backcrossed segregating papaya population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 11: 97-105.
- Rivas-Valencia P., G. Mora A., D. Téliz O., y A. Mora A. 2003. Influencia de variedades y densidades de plantación de papayo (*Carica papaya* L.) sobre las epidemias de mancha anular. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(2):109-116.
- Rodríguez J., Y. Díaz., A. Pérez, Z. Natali y P. Rodríguez. 2014. Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de cuba. *Cuba. Cultivos Tropicales* 35 (3): 36-44.

- Rodríguez P., M. C., M. G. Lobo R. y C. L. Suárez S. 2010. Comportamiento de los cultivares de papaya Sunset, Sunrise y de los genotipos Baixinho de Santa Amalia y BH-65 en la zona Sur de la Isla de Tenerife. *Revista Brasileira de Fruticultura* 32(4):1105-1115.
- Rodríguez-Delgado E., J., H. García-Pérez, L. Castellanos-González., y M. Capote del Sol. 2015. Estabilidad y adaptabilidad de tres cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en la unidad especial de frutales de Cienfuegos. *CitriFrut.* 32(2):11-22.
- Romero R., J. A. 2013. Manejo y Conservación de Germoplasma de la Familia Caricaceae. Tesis de maestría y doctorado. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 145 p.
- Ronse D., L. P., and E. F. Smets. 1999. The floral development and anatomy of *Carica papaya* L. (Caricaceae). *Canadian Journal of Botany* 77(4):582–598
- Ruiz-Rosado., O. 1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque Agroecológico y sistémico. In: Seminario Internacional de Agroecología. UACH. Estado de México. pp. 29-31.
- Ruiz-Rosado., O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. In: O. López., S. Ramírez., M. Ramírez., G. Moreno., y A. Alvarado (eds). *Agroecología y Agricultura Orgánica en el Trópico*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Universidad Autónoma de Chiapas. pp. 27-35.
- SAGARPA. 2017. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Papaya toda una maravilla. <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/papaya-toda-una-maravilla?idiom=es> consultado el 06 de febrero 2018.
- Salvatierra-González M., A., and C. Jana-Ayala. 2016. Floral expression and pollen germination ability in productive mountain papaya (*Vasconcellea pubescens* a. Dc.) Orchards. *Chilean Journal of Agricultural* 76: 136-142.
- Santamaría B., F., F. Mirafuentes H., B. H. Guerrero S., M.V. Vázquez H. 2016. Genotipos de papaya con alta producción de frutos alargados. In: Gallardo-López, Felipe (comp.). 2016. *Innovando el Agro Veracruzano. Memoria Técnica-Científica*. Colegio de Postgraduados, Veracruz, México. pp 1430.

- SIAP. 2016. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257083/Potencial-Papaya.pdf> consultada el 06 de febrero 2018.
- Storey B., W. 1987. Papayo (*Carica papaya* L.). In: Ferwerda F. P. (ed). Genotecnia de cultivos tropicales perennes. Progreso 2002 (Ed).México, D.F. 504p.
- Storey W. 1941. The botany and sex relationship of the papaya. *In: Papaya production in the Hawaiian Islands. Hawaii Agric. Exp. Sta., University of Hawaii. Bulletin 87: 5-22*
- Storey W. 1969. Papaya (*Carica papaya* L). Miscellaneous papers. Landbouwhogeschool wageningen. Riverside USA. Citrus Res Centre: 389-407
- Valdés A., A. 2002. El cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis para obtener el grado de ingeniero Agrónomo. 181p.
- Van-Gigch J., P. 1990. Teoría general de sistemas. 2da (ed). Trillas, México, 65 p.
- Vargas N., T. 2013. Ultraestructura y calidad asociadas a época de cosecha y manejo poscosecha en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Costa Rica.105 p.
- Vázquez G., V. Mata, R Ariza F y F Santamaría B. 2010. Producción y manejo poscosecha de papaya Maradol en la Planicie Huasteca. Libro Técnico 4. 180p.
- Vázquez-García 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(3):45-48.
- Vilaboa A. 2013. El concepto de Agroecosistema y su aplicación en la ganadería bovina. *Agroproductividad* 6(6): 9-15.
- Vilaboa A., J., P. Díaz-Rivera., O. Ruiz-Rosado., D. Platas-Rosado., S. González-Muñoz., y F. Juárez-Lagunés. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:53-62.
- Von Bertalanffy L. 1976. El significado de la Teoría General de sistemas. *In: la teoría general de sistemas. Fondo de Cultura Económica, S.A. de C.V. México pp. 30-53*

Yogiraj V., P. K. Goyal., C. S. Chauhan., A. Goyal., and B. Vyas. 2014. *Carica papaya* L: an overview. *International Journal of Herbal Medicine* 2(5):01-08.

## ANEXOS

Anexo A. Huertas del estudio diacrónico (A) Colegio de Postgraduados., B) Soledad de Doblado, C) Cedralito.



Anexo B. Genotipos de la huerta Palmas de Abajo, Actopan, del estudio Sincrónico.



Anexo C. Huertas del estudio Sincrónico. A) El Porvenir, B) Tenacalco, C) Santa Rosa

