



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

**CAMPUS VERACRUZ**  
**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE PAPAYO NATIVO (*Carica papaya* L.) EN RESPUESTA A LA INOCULACIÓN DEL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR**

**RODRIGO FLORES BAUTISTA**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

JUNIO, 2018

La presente tesis titulada: **COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE PAPAYO NATIVO (*Carica papaya L.*) EN RESPUESTA A LA INOCULACIÓN DEL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR**, realizada por el alumno: **Rodrigo Flores Bautista**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. JUAN ANTONIO VILLANUEVA JIMÉNEZ

ASESOR:   
DR. CRISTIAN NAVA DÍAZ

ASESOR:   
DR. ENRIQUE NOÉ BECERRA LEOR

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, junio de 2018

# COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE PAPAYO NATIVO (*Carica papaya* L.) EN RESPUESTA A LA INOCULACIÓN DEL VIRUS DE LA MANCHA ANULAR

Rodrigo Flores Bautista, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

## Resumen

El virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) causa una de las principales enfermedades que limitan la producción y calidad del fruto de *Carica papaya*. Probablemente los genes de resistencia a esta enfermedad se encuentren en papayo nativo, por tal motivo se plantea el objetivo de evaluar la respuesta de 13 accesiones de papayo nativo y la variedad Maradol roja al PRSV-p, inoculadas con el insecto vector *Aphis nerii*. Las accesiones utilizadas en el estudio se obtuvieron del Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Sur Sureste, las cuales se colectaron en estado silvestre, en traspatio o cultivadas. Las semillas fueron sembradas y las plantas de tres meses de edad se inocularon con el PRSV-p. Se evaluó semanalmente la incidencia, severidad, altura de la planta, diámetro y longitud de hoja en nueve ocasiones. Las accesiones 203 y 205 fueron las que mostraron menor severidad a la enfermedad, seguidas de la 60 y 147a; mientras que las accesiones 197a, 150, 94a, 64a, 210b y 65 alcanzaron una severidad intermedia, además la variedad Maradol roja y las accesiones 188a, 80 y 169 presentaron la mayor severidad final. Las accesiones que provenían de un ámbito silvestre mostraron el menor grado de severidad, respecto a las accesiones que provenían de un manejo de traspatio y plantaciones cultivadas. Es posible que en estas accesiones silvestres se encuentren los genes de resistencia a esta enfermedad.

**Palabras clave:** incidencia, severidad, tolerancia, resistencia, áfidos.

# PERFORMANCE OF NATIVE PAPAYA (*Carica papaya* L.) ACCESSIONS IN RESPONSE TO RING SPOT VIRUS INOCULATIONS

Rodrigo Flores Bautista, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

## Abstract

The papaya ring spot virus (PRSV-p) causes one of the most important diseases in *Carica papaya*, affecting its production and fruit quality. Resistance genes to this disease, probably can be found in native papaya plants; the main goal of this research was to evaluate the response of 13 native papaya accessions and the commercial variety Red Maradol to the PRSV-p, inoculated with the vector insect *Aphis nerii*. The accessions used in this study were obtained from the Center of Conservation of Orthodox Seeds South Southeast, collected in the wild, in backyards or in production fields. Seeds were sown and three months old-plants were infested with the virus. Disease incidence and severity, plant height, and leaf diameter and length were evaluated weekly nine times. Accessions 203 and 205 showed the lowest disease severity, followed by 60 and 147a; while accessions 197a, 150, 94a, 64a, 210b and 65 reached an intermediate severity, while Red Maradol variety and accessions 188a, 80 and 169 showed the highest final severity. Accessions coming from a wild environment showed the lowest degree of severity, in relation to those accessions collected in backyards or under commercial management. It is possible that in these wild accessions, PRSV-p resistance genes can be found.

**Key words:** incidence, severity, tolerance, resistance, aphids.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Catarino Ávila Reséndiz†, por impulsarme a estudiar el posgrado en Agroecosistemas Tropicales, por apoyarme con el material biológico utilizado en el experimento, por sus consejos y enseñanzas como profesor de investigación.

A mi pareja Rocío Liliana Aguirre Hernández, por estar siempre presente en los momentos buenos y malos que se presentan en la vida, por todo su amor, cariño y paciencia que me brinda en cada etapa de mi vida, por todo su apoyo incondicional en la etapa de campo de mi trabajo.

A mis padres Francisco Flores Cortes y Teresa Bautista Hernández, por darme la vida, el amor y comprensión en todo momento, por ser parte fundamental en mi formación académica, por brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanos, Francisco René Flores Bautista y Antonio Abad Flores Bautista, por creer en mí y alentarme en los momentos de tempestad, por estar ahí cuando más los necesité.

Al Dr. Juan Antonio Villanueva Jiménez, por aceptar ser mi consejero en el momento oportuno, por ser parte fundamental en la elaboración de la tesis, por brindarme consejos buenos y compartirme su amplio conocimiento en mi preparación académica.

Al Dr. Cristian Nava Díaz, por haber estado al pendiente de mis avances académicos, por apoyarme con los análisis de laboratorio y la revisión de la tesis.

Al Dr. Enrique Noé Becerra Leor, por ser parte de mi consejo particular y apoyarme en la revisión de tesis.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, institución donde adquirí conocimientos teóricos y prácticos en la formación de M.C. en Agroecosistemas Tropicales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Dr. J. Noa-Carrazana (UV), por el apoyo brindado.

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme la vida, salud y todas las bendiciones necesarias para cumplir mis metas.

La presente Tesis de M. C. en Agroecosistemas Tropicales es dedicado de manera muy especial al Dr. Catarino Ávila Reséndiz<sup>1</sup>. Desde que lo conocí supe que teníamos largos caminos por recorrer, sus sabios consejos me inspiraban confianza de seguir siempre adelante. El apoyo incondicional que me brindó me hizo sentir seguro para afrontar retos y obstáculos a lo largo del camino. Le agradezco infinitamente todo el tiempo que me dedicó. Hoy tengo la dicha de haber concluido ese arduo trabajo, que no pudimos terminar juntos, pero que gracias a usted quedé en buenas manos para seguir adelante y terminar la tesis del posgrado, que sin duda ha sido un excelente trabajo; gran parte de ese trabajo se lo debo a usted.

Para la mujer más bella y maravillosa del mundo, a mi pareja Rocío Liliana Aguirre Hernández, quien sin duda me ha demostrado a lo largo de este camino su permanente amor, cariño, comprensión y paciencia, por cuidarme y apoyarme en todo momento, y simplemente por ser un pilar indispensable en el logro de este trabajo.

A mi familia por brindarme sus consejos, su apoyo moral, espiritual y constancia, por tenerme la confianza y creer en mí, por enseñarme a afrontar las adversidades con valores y principios para no desfallecer en el intento, gracias a ellos culminó una etapa más en mi formación profesional.

A todos los profesores de aula y en especial a mi consejo particular, que con su paciencia y dedicación me compartieron sus sabios conocimientos para lograr un buen resultado en la elaboración de mi tesis; fue un trabajo arduo para mí, sin embargo, gracias a su ayuda esto fue menos complicado. Gracias por todas sus enseñanzas.

Finalmente, a mí mismo, por mi constante dedicación, perseverancia y esfuerzo.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1. Teoría de Sistemas.....	2
2.2. Conceptualización del Agroecosistema.....	2
2.2.1. Agroecosistemas con papayo .....	3
2.3. Requerimientos Edafoclimáticos del Papayo.....	4
2.4. Descripción Taxonómica y Botánica del Papayo.....	4
2.5. Fenología del Cultivo de Papayo .....	5
2.5.1. Importancia económica de la papaya .....	6
2.6. Desplazamiento del Papayo Nativo por Variedades Comerciales.....	7
2.7. Principales Plagas y Enfermedades del Papayo .....	7
2.7.1 El PRSV-p .....	8
2.7.2. Tácticas de control de la mancha anular del papayo .....	9
2.8. El PRSV-p en Papayo en Veracruz.....	10
III. HIPÓTESIS .....	12
3.1. Hipótesis General .....	12
IV. OBJETIVOS.....	13
4.1. Objetivo General .....	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1. Área de Estudio .....	13
5.2. Material Biológico .....	13
5.3. Producción y Mantenimiento de Plántulas .....	14
5.4. Obtención de la Fuente de Inóculo del PRSV-p .....	14
5.5. Evaluación de Acciones de Papayo a la Transmisión con Áfidos .....	15
5.6. Variables Evaluadas y su Estimación Estadística .....	15
5.6.1. Altura de la planta, diámetro y longitud de la hoja .....	15
5.6.2. Estimación de los índices de incidencia y severidad.....	16
5.6.3. Detección molecular del PRSV-p mediante RT-PCR .....	18
5.6.4. Detección del PRSV-p por DAS-ELISA en plantas inoculadas con <i>A. nerii</i> .....	19

5.6.5. Índice de crecimiento .....	19
5.6.6. Índice de crecimiento del diámetro y longitud de la hoja .....	20
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>20</b>
6.1. Incidencia .....	21
6.2. Severidad.....	22
6.3. Crecimiento de la Planta.....	24
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>28</b>
<b>IX. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>28</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Agroecosistema con papayo ( <i>Carica papaya</i> ) en la región central costera de Veracruz.	3
2	Principales exportadores mundiales de papaya. Fuente: SIAP (2016).	6
3	Síntomas de la mancha anular del papayo transmitido por PRSV-p en las hojas. a) Clorosis internerval; b) Mosaico ligero; c) Parches; d) Mosaico acentuado; e) Deformación; f) zonas abultadas verde intenso; g) Mosaico intenso; h) Reducción de lámina foliar hasta alcanzar la filiformidad; i) Manchas de apariencia aceitosa; y j) Anillos concéntricos y ligera deformación.	9
4	Ubicación del experimento. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.	13
5	Severidad entre grupos de accesiones de papayo ( <i>Carica papaya</i> ) por su manejo.	24
6	Ejemplo del ajuste lineal o logarítmico de la expansión de hojas sanas o enfermas de noviembre 2017 a enero 2018, medido a través del índice de diámetro de hoja de la accesión 203.	25

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Clasificación taxonómica del papayo.	5
2	Accesión, ubicación geográfica, tipo de fruto y grado de manejo de la colecta de <i>Carica papaya</i> .	17
3	Escala de severidad y descripción de síntomas para la evaluación de plantas de papayo ( <i>C. papaya</i> ) infectadas por el virus del PRSV-p. Ajustado de Rodríguez <i>et al.</i> (2013).	17
4	Incremento temporal de la incidencia del PRSV-p en 13 accesiones de papayo nativo y variedad Maradol Roja en condiciones semicontroladas.	21
5	Línea de regresión de los índices de crecimiento de planta sana o enferma en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.	26
6	Línea de regresión de los índices de diámetro de hojas sanas o enfermas en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.	26
7	Línea de regresión de los índices de longitud de hojas sanas o enfermas en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.	27

## I. INTRODUCCIÓN

El papayo (*Carica papaya* L.) es un frutal originario de la región Centroamericana y del Sur de México; aunque su área de domesticación no se ha definido completamente debido a su amplia distribución en regiones tropicales y subtropicales del mundo (Fuentes y Santamaría, 2014). El papayo pertenece a la familia Caricaceae y es la única especie del género *Carica* (Ming *et al.*, 2008; Carvalho y Renner, 2013). La mayor limitante del cultivo es la enfermedad causada por el virus de la mancha anular (PRSV-p), un Potyvirus que produce grandes daños y pérdidas entre 50 y 90 % durante el cultivo, y de 30 a 40 % en postcosecha (Hernández-Castro *et al.*, 2015). El virus pasa de plantas infectadas a plantas sanas a través de áfidos (Hemiptera: Aphididae) que lo transmiten de manera no persistente. (Villanueva-Jiménez y Peña-Martínez, 1991). Los principales síntomas que ocasiona el virus son: manchas aceitosas en la parte superior del tallo y los pecíolos, mosaico severo, distorsión de hojas, anillos concéntricos en los frutos, mismos que impiden el crecimiento de la planta y afectan drásticamente el tamaño y calidad del fruto (Hernández-Castro *et al.*, 2015).

México aporta 6.2 % de la producción mundial de papaya y ocupa el primer lugar en exportación, dirigida a los mercados de Estados Unidos de América y Canadá (SIAP, 2016; Bermúdez-Guzmán *et al.* 2017). Los estados de mayor producción de papaya son Oaxaca (32.7 %), Colima (16.5 %) Chiapas (13.6 %) y Veracruz (10.9 %) (SIAP, 2016). Las principales variedades que se cultivan son Maradol, Hawaiana, Amarilla y Criolla (SIAP, 2016). La introducción de la variedad Maradol en México desplazó a los genotipos nativos que carecían de las características adecuadas para su proliferación (Villanueva-Jiménez *et al.*, 2015). Los tipos nativos aún se pueden encontrar en forma cultivada o silvestre con gran diversidad de formas, tamaños, colores y sabores (Romero, 2013). Entre los tipos nativos cultivados se encuentran el Cera, Mamey y Coco, que se comercializan en mercados regionales o locales; en estado silvestre se puede encontrar al tipo Papayo de Monte, que también es conocido como Papaya Cimarrona, Pajarito, Chiche o Papaya de Venado (Romero, 2013). La proliferación de nuevas variedades y la posible liberación del papayo transgénico pone en riesgo a los tipos nativos, su desplazamiento podría llevar a estos tipos a estar en peligro de extinción (Chauvet *et al.*, 2012). El germoplasma de papayo nativo no se ha evaluado a profundidad en sus diferentes características (aroma, color, sabor, dulzura, forma, tamaño, firmeza del fruto y tolerancia a enfermedades virales), en comparación con las variedades

comerciales. En este sentido, la Red Papaya del SINAREFI (2013) realiza un esfuerzo para rescatar el germoplasma nativo de México. Entre el material colectado, pudiera existir germoplasma que sea tolerante al PRSV-p, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de algunas accesiones de papayo nativo al virus de la mancha anular.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Teoría de Sistemas

Este trabajo de investigación utiliza conceptos de la teoría general de sistemas, la que indica que se debe abordar un problema en toda su complejidad basada en la revisión de la totalidad de sus propiedades; en los sistemas no hay unidades aisladas, por el contrario, todas sus partes interactúan con una misma orientación y fin; se hace necesario el ensamble de todos los elementos que lo integran para el buen funcionamiento del todo en su conjunto (Vilaboa, 2013). Bajo esta teoría, el trabajo analiza y toma a todos aquellos elementos que interfieren en el equilibrio o desequilibrio del agroecosistema, dirigiéndonos a solo una de las problemáticas, sin perder de vista los demás elementos que constituyen el agroecosistema.

### 2.2. Conceptualización del Agroecosistema

Agroecosistema (AGES) es una palabra compuesta por agro (del latín *ager*. campo, tierra) y ecosistema: conjunto de organismos bióticos y abióticos que interactúan en un mismo medio (Ruiz, 2006). La definición de AGES es flexible respecto al área de trabajo donde se utilice; por ellos diferentes investigadores lo definen de forma diferente. La palabra Agroecosistema fue introducida por el maestro Hernández-X. (1977), definida como un ecosistema modificado por el hombre para la utilización de los recursos naturales para la producción agrícola. Gliessman (2002) menciona que un AGES puede verse como un sitio donde se integra la producción agrícola; su concepto facilita un marco para analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, e incluye sus conjuntos complejos y sus productos, así como las interacciones entre sus componentes. Martínez-Dávila *et al.* (2004) coincide con Ruiz (1995) al mencionar que el AGES es una unidad de estudio donde existen entradas y 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: desde lo económico, político, cultural y lo físico-químico-biológico. Un AGES puede comprenderse

como un espacio de producción; puede ser una granja, finca, parcela, milpa o solar (Gliessman, 2002). Sin embargo, Vilaboa *et al.* (2009) y Martínez-Dávila *et al.* (2011) visualizan un AGES como una abstracción que facilita la interpretación de la realidad agrícola. Aunque existen múltiples definiciones, Altieri (1999) menciona la parte más difícil es marcar los límites del AGES. En un AGES existe un controlador, el hombre, quien es parte fundamental del mismo, ya que es quien modifica y decide respecto a la finalidad del sistema (Altieri, 1995).

### 2.2.1. Agroecosistemas con papayo

El AGES es la unidad de estudio donde existen entradas (insumos) y salidas (productos), y se basa en la totalidad de factores que inciden en el equilibrio o desequilibrio del sistema (interacciones biológicas), para lo cual se analiza desde su perspectiva más general, que incluye lo económico (insumos), lo político-institucional, lo cultural y lo físico-químico-biológico (Martínez-Dávila *et al.*, 2004). El agroecosistema con base en papayo se centró en el estudio de la interacción insecto-planta, con la finalidad de analizar la interacción virus-planta en genotipos sin manejo (silvestres), semidomesticados, cultivados, así como en la variedad comercial Maradol roja, bajo condiciones semicontroladas de invernadero (Figura 1).

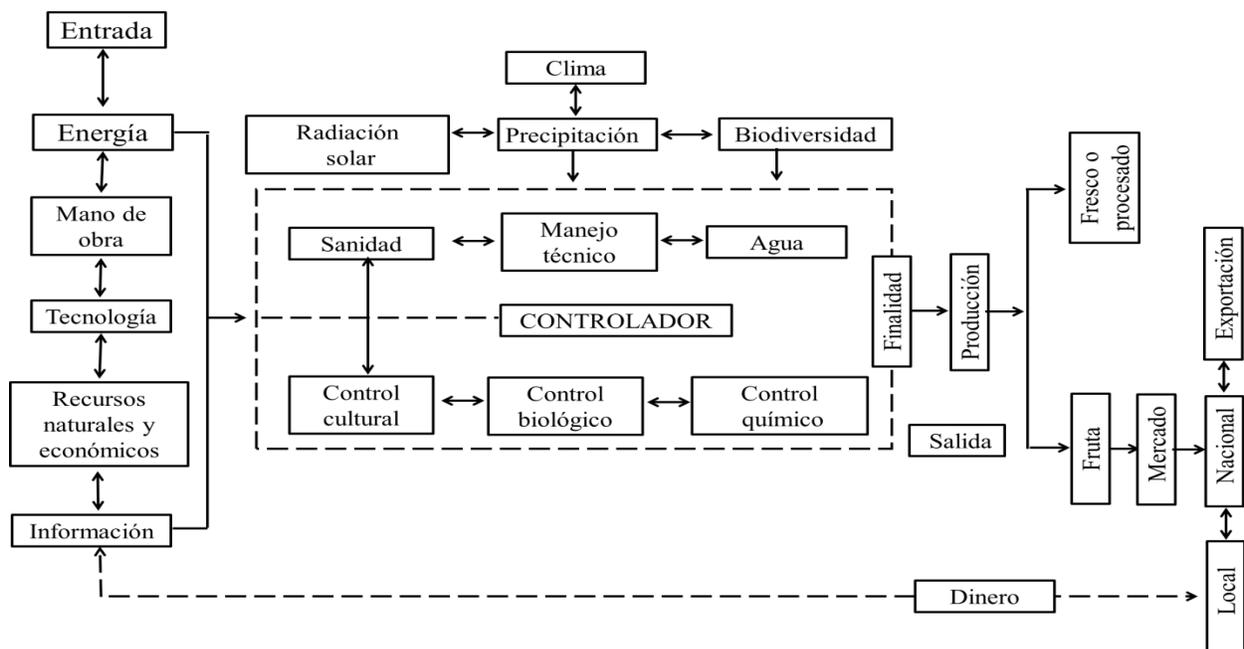


Figura 1. Agroecosistema con papayo (*Carica papaya*) en la región central costera de Veracruz.

### **2.3. Requerimientos Edafoclimáticos del Papayo**

Este cultivo se adapta a diferentes latitudes, climas y suelos, por lo que su producción se ha extendido hasta latitudes de 32° N y S a nivel del mar (García *et al.*, 2010), con la mayor producción comercial presente entre los 23° N y S (Chan, 2009).

Esta especie requiere una altitud de hasta 600 m, con una precipitación de 800 a 2000 mm anuales; no tolera sequías, por lo que es común que requiera un sistema de riego (García *et al.*, 2010). El déficit de agua limita el crecimiento y la producción de fruto; en cambio, el exceso de agua afecta la absorción de nutrientes y disminuye la disponibilidad de oxígeno en el sistema radicular, lo que aumenta la posibilidad de ataque de plagas y enfermedades (Campostrini y Glenn, 2007). La humedad relativa es otro requerimiento importante, ésta debe ser mayor de 65 % para mantener una óptima conductancia estomática y un buen crecimiento del cultivo (García *et al.*, 2010).

El papayo no es un cultivo exigente en cuanto al tipo de suelo, pero debe tener un buen drenaje; los suelos idóneos son los de textura media con 10 a 30 % de arcilla, profundidades mayores a 80 cm y pH entre 5.6 a 7.0 (Chan 2009; García *et al.*, 2010).

La temperatura óptima se encuentra entre 21 y 33 °C con un óptimo para realizar la mayor fotosíntesis entre 25 y 30 °C; es extremadamente sensible a heladas y si la temperatura cae por debajo de los 12 °C durante varias horas por la noche, se afectan el crecimiento y la producción (Chan, 2009). En el rango de temperaturas bajas se favorece el desarrollo de síntomas severos de la enfermedad ocasionada por el virus de la mancha; por el contrario, las altas temperaturas están asociadas a una baja concentración viral y atenuación de síntomas (Cabrera *et al.*, 2010). Al respecto, Hull (2002) menciona que las enfermedades virales se favorecen a temperaturas entre 16 y 30 °C.

### **2.4. Descripción Taxonómica y Botánica del Papayo**

*C. papaya* es una especie dicotiledónea, perennifolia y de consistencia herbácea (Agustí, 2004) (Cuadro 1). Yogiraj *et al.* (2014) lo describen como un árbol herbáceo y perenne, con un tallo no leñoso y hueco en su interior, de hasta 20 m; hojas palmeadas, lobuladas con márgenes enteros y peciolas de más de 1 m de longitud, las cuales se aglomeran en forma de racimos terminales. Las hojas primarias de una planta de papayo joven no son lobuladas hasta la producción de las segundas hojas; la filotaxia de las hojas es en espiral, produce de tres a ocho hojas 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 mil pares de bases y nueve pares de cromosomas (2n=18). El genoma de esta especie se posiciona entre el de las hierbas y los 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*; el género *Carica* se redujo a una sola especie que representa a la papaya cultivada (Badillo, 2000) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del papayo.

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

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

## 2.5. Fenología del Cultivo de Papayo

El papayo es perennifolio, 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 diez años en forma silvestre (Chan, 2009), a pesar de que Valdés (2002) menciona que el papayo puede vivir hasta 20 años, aunque 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 fitopatológicas y porque se dificulta la cosecha, debido a que los árboles llegan a ser demasiado altos (Jiménez *et al.*, 2014). La fenología del papayo abarca cuatro etapas, la juvenil que va desde el trasplante hasta el inicio de la floración, la etapa de floración se determina desde la aparición del primordio floral hasta que la flor es polinizada (antesis), la fructificación o amarre de los frutos se determina desde el primer flujo de floración hasta el inicio de cosecha; la última etapa es la de maduración de los frutos para la cosecha (Vázquez *et al.*, 2008).

### 2.5.1. Importancia económica de la papaya

La papaya es la tercera fruta tropical más consumida en el mundo; por el dinamismo en su comercialización, es considerada una de las frutas más importantes desde el punto de vista económico (Granados *et al.*, 2015; SIAP, 2016; SAGARPA, 2017).

En producción de papaya a nivel mundial, México ocupa el quinto lugar al aportar 6.2 % de la producción; es el primer lugar en exportación (Figura 2) (SIAP, 2016; SAGARPA, 2017; Bermúdez-Guzmán *et al.*, 2017). Los estados de mayor producción de papaya Maradol son Oaxaca (32.7 %), Colima (16.5 %), Chiapas (13.6 %), Veracruz (10.9 %) y Michoacán (7.3 %); que aportan un volumen de 81.1 % a nivel nacional (SIAP, 2016).

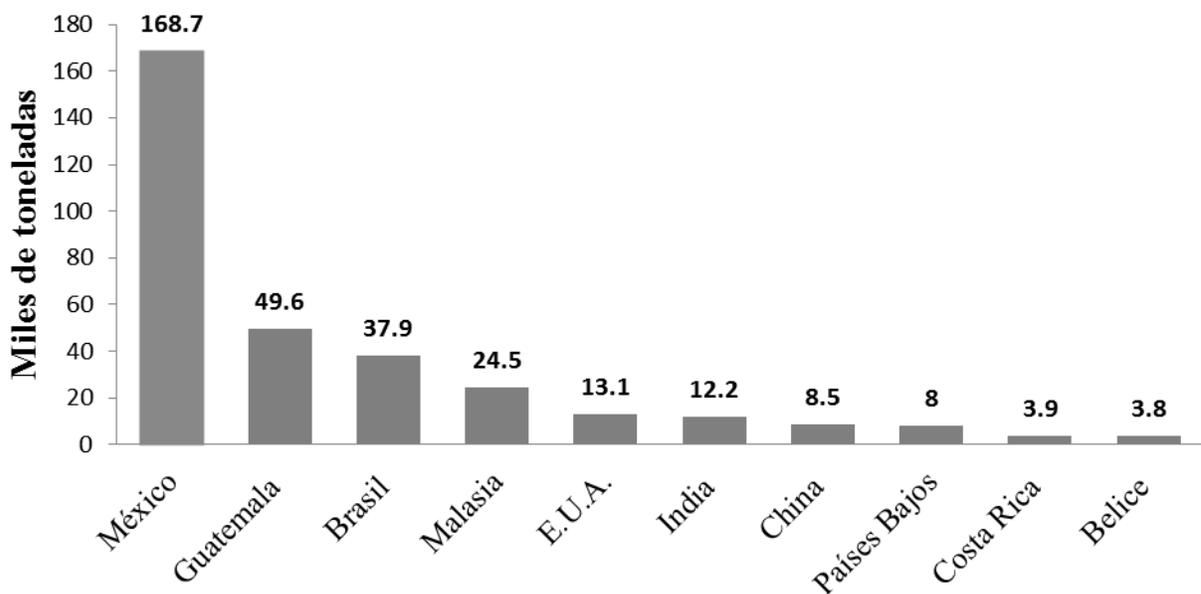


Figura 2. Principales exportadores mundiales de papaya. Fuente: SIAP (2016).

## 2.6. Desplazamiento del Papayo Nativo por Variedades Comerciales

En México, los principales tipos de papayo que se cultivaban eran la Cera o Amarilla, la Mamey y la Zapota (De los Santos *et al.*, 2000). 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 y Mamey (Villanueva-Jiménez *et al.*, 2015). Las ventajas que ofreció la variedad Maradol de origen cubano fueron: una población ginodioica más estable y que requiere menos semillas al establecimiento, así como fruta de mayor resistencia y vida de anaquel (De los Santos *et al.*, 2000). Por el contrario, los tipos nativos como Cera, Mamey, Zapota, Coco y Papaya de monte o cimarrona son poco cultivados en la actualidad, debido a que no cuentan con las características aceptables para su comercialización (Romero, 2013). Afortunadamente, los tipos nativos (Cera, Mamey y Zapota) fueron domesticados y aún se les puede encontrar en traspatios o huertos, mientras que la papaya cimarrona, papaya de monte o papaya pajarito se pueden encontrar en estado silvestre, ya que debido a su tamaño pequeño y escasa pulpa no se consumen en fresco, tienen poco valor comercial y por ello no se cultivan; su uso más común es la elaboración de conservas y como planta ornamental en algún traspatio (Ávila-Reséndiz *et al.*, 2009).

## 2.7. Principales Plagas y Enfermedades del Papayo

El papayo es afectado por una gran diversidad de organismos plaga que reducen la longevidad, producción y calidad de frutos (Rodríguez *et al.*, 2013). Las principales plagas (insectos y ácaros) que afectan el cultivo de papayo en México son los ácaros (Acarina) *Tetranychus merganser*; *Eutetranychus banksi*; *Calacarus citrifolii* y posiblemente *Polyphagotarsonemus latus*) que atacan con frecuencia al follaje, sin importar la edad de la planta; el piojo harinoso (Hemiptera: Pseudococcidae) (*Paracoccus marginatus*) y mosquitas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae, *Trialeurodes vaporariorum*, *Trialeurodes variabilis* y *Bemisia tabaci*), que transmiten algunas enfermedades virales (Abato-Zárate *et al.*, 2014). Entre las principales especies transmisores del PRSV-p se encuentran los áfidos (Hemiptera: Aphididae); los reportados para México son: *Myzus persicae*, *Aphis gosypii*, *Aphis fabae*, *Aphis spiraecola*, *Aphis nerii* y *Macrosiphum euphorbiae* (Cabrera *et al.*, 2010).

El papayo también es afectado por hongos (*Colletotrichum gloeosporioides*, *Sclerotium rolfsii*) y oomycetos (*Phytophthora* sp. *Pythium* sp.) que generan la pudrición de raíz y la antracnosis de los frutos (De los Santos *et al.*, 2000). El cultivo del papayo es susceptible a una

gran diversidad de virus: el virus de la marchitez necrótica del papayo (*Papaya apical necrosis virus*, PANV), el virus de la distorsión del mosaico del papayo (*Papaya leaf distortion mosaic virus*, PLDMV), el virus del amarillamiento letal del papayo (*Papaya lethal yellowing virus*, PLYV), el virus del amarillamiento leve de las hojas del papayo (*Papaya mild yellow leaf virus*, PMYLV), el virus del mosaico de papayo (*Papaya mosaic virus*, PMV), el virus de la mancha anular del papayo (*Papaya ringspot virus*, PRSV-p), y el virus de la marchitez manchada del tomate (*Tomato wilt virus*, TSWV) (De los Santos *et al.*, 2000). De dichos virus, el PRSV y PMV se consideran los más importantes para el cultivo del papayo en México (Hernández-Castro *et al.*, 2004). Bajo condiciones de temperatura y humedad favorables, las plagas generan el desarrollo de enfermedades como: antracnosis, mancha anular del papayo, marchitez necrótica del papayo, y mosaico del papayo (De los Santos *et al.*, 2000).

### **2.7.1 El PRSV-p**

La mancha anular del papayo es una enfermedad ocasionada por el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p o VMAP por sus siglas en español), la cual es transmitida por varias especies de áfidos de manera no-persistente, entre los que se encuentran el pulgón del melón y el algodónero (*A. gossypii*), el pulgón de la adelfa (*A. nerii*), el pulgón verde de los cítricos (*A. spiraecola*), el pulgón verde del chile y del durazno (*M. persicae*) y el pulgón verde de las solanáceas (*M. euphorbiae*) (Hernández-Castro *et al.*, 2004). La infección del virus no es transmitida por semilla ni por injerto de peciolo (Becerra-Leor *et al.*, 1994). La infección también se puede transmitir mecánicamente, de hecho, esta metodología se usa en experimentos para inocular savia de plantas enfermas a plantas sanas (Cabrera *et al.*, 2010). La planta es susceptible a cualquier edad y los síntomas se manifiestan de dos a tres semanas después de la inoculación (CABI, 2012). El virus de la mancha anular se encuentra en la mayor parte de las regiones productoras de papaya de Oceanía, Hawai (EUA), Australia, Filipinas y Tailandia; en el continente Asiático en Taiwán, Vietnam, India, Sri Lanka, y en varios países de África. Además de México, en el Continente Americano se localiza en Brasil, Venezuela, Florida (EUA) y en varias islas del Caribe, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2013). En México, Noa-Carrizana *et al.* (2006) reportaron que el PRSV-p estuvo presente en 58 municipios muestreados.

Los síntomas que ocasiona la enfermedad se describen a continuación: engrosamiento y amarillamiento de nervaduras en hojas jóvenes, moteado y mosaico foliar, en ocasiones ampollamiento severo y distorsión de hojas, manchas de color verde olivo y de aspecto aceitoso en

pecíolos y tallo, mientras que en los frutos verdes se desarrollan en la superficie manchas o círculos concéntricos de color verde oscuro (Figura 3), que al madurar se pueden tornar anaranjado-parduzco (Rodríguez *et al.*, 2013). Los síntomas más típicos son la formación de manchas anulares en el fruto y la deformación del mismo, las infecciones tempranas reducen severamente el crecimiento y puede anular por completo la producción, el daño ocasionado en plantas adultas se distingue por la disminución del dosel y defoliación, lo que expone los frutos a quemaduras ocasionadas por el sol. En México, esta enfermedad ha reducido la productividad del cultivo a solo un año (Rivas-Valencia *et al.*, 2008).



Figura 3. Síntomas de la mancha anular del papayo transmitido por PRSV-p en las hojas. a) Clorosis internerval; b) Mosaico ligero; c) Parches; d) Mosaico acentuado; e) Deformación; f) zonas abultadas verde intenso; g) Mosaico intenso; h) Reducción de lámina foliar hasta alcanzar la filiformidad; i) Manchas de apariencia aceitosa; y j) Anillos concéntricos y ligera deformación.

### 2.7.2. Tácticas de control de la mancha anular del papayo

El control químico es el primer método de control fitosanitario que se utiliza en los cultivos de papayo. Sin embargo, el uso intensivo e irracional de plaguicidas ha causado daños al ambiente,

ha generado resistencia en los organismos plaga, y ha eliminado la fauna benéfica (Hernández-Castro *et al.*, 2010). Al respecto Osorio-Acosta *et al.* (2016) reportaron que imidacloprid y malatión generaron 100 % de mortalidad a 24 h, mientras que pymetrozine tiene potencial en la prevención de la transmisión viral no persistente. En Cuba se están probando inhibidores virales; Hernández *et al.* (2017) reportan a Inhibitovir® como tratamiento preventivo efectivo para el control del PRSV-p en campo, dado que su efectividad es similar al inhibidor comercial (Q-2000VI®).

Como método cultural se han usado los siguientes: barreras vegetales de maíz (*Zea mays*) y jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) para el limpiado del estilete de los áfidos infectivos, eliminación de plantas con síntomas iniciales del virus, protección del vivero con malla antiáfidos (Hernández-Castro *et al.*, 2004), aplicaciones semanales de aceites minerales como la citrolina (Hernández-Castro *et al.*, 2003) y eliminación de arvenses que pudieran ser fuente de inóculo (Ordaz-Pérez *et al.*, 2017). También se buscan genotipos resistentes o tolerantes al virus (Yi-Jung *et al.*, 2009).

Respecto al control biológico de áfidos, González y Rodríguez (2008) reportaron la presencia de huevecillos de *Chrysopa* sp. (Neuroptera: Chrysopidae) y *Adalia decempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) en el cultivo del papayo en los meses de enero, mayo y junio, junto con poblaciones muy bajas de áfidos.

Sin embargo, el método de control más completo es el manejo integrado de plagas (MIP), que combina tácticas culturales, químicas y físicas para retrasar la aparición de la epidemia, reducir la severidad causada por el PRSV-p y aumentar la productividad (Hernández-Castro *et al.*, 2010).

## **2.8. El PRSV-p en Papayo en Veracruz**

La mancha anular del papayo ha sido ampliamente estudiada bajo diferentes enfoques, con la finalidad de probar técnicas y métodos que ayuden a buscar alternativas en el retraso de la enfermedad. En Veracruz, Hernández-Castro *et al.* (2004) cuantificaron el efecto de la eliminación de plantas con síntomas iniciales de PRSV-p como un componente cultural de un sistema de manejo integrado de plagas (MIP). En el MIP incluyeron barreras de maíz (*Z. mays*) y jamaica (*H. sabdariffa*), protección del vivero con malla de polipropileno (Agribon-17®), y densidad de plantación alta (2400 plantas ha<sup>-1</sup>). Evaluaron tres tratamientos: MIP con eliminación de plantas, MIP sin eliminación de plantas y el testigo con manejo regional. La menor severidad se registró en el tratamiento MIP con eliminación, por lo que los autores argumentaron que el sistema MIP con eliminación es una alternativa. Sin embargo, es una práctica de difícil adopción por los agricultores,

por la falta de convencimiento y su negativa a eliminar plantas infectadas con apariencia sana o con gran carga de fruta. Por su parte, Hernández-Castro *et al.* (2005) determinaron el efecto de extractos acuosos 10 % de semillas de neem (*Azadirachta indica*) en el comportamiento de alimentación y mortalidad de *A. nerii*, y en la transmisión del PRSV-p. Concluyeron que el neem no impidió la alimentación ni la transmisión del virus. En Michoacán, Rivas-Valencia *et al.* (2008) evaluaron las barreras vegetales de *H. sabdariffa*, la aspersión de citrolina (1.5 %) y la eliminación de plantas con síntomas iniciales en un contexto de manejo integrado (MI). Reportan que el MI con barreras vegetales retrasó 19 días el inicio de la enfermedad, tratamiento con la mayor producción. La citrolina fue fitotóxica, disminuyó el vigor de plantas (5.3 %) y no limitó significativamente el desarrollo de la enfermedad. En este caso, el uso de barreras por sí solas no fue suficiente en la reducción de la incidencia y dispersión de la enfermedad. En Cuba, Hernández *et al.* (2017) evaluaron la eficacia de un nuevo inhibidor viral (Inhibitovir®), aplicado como un tratamiento preventivo y curativo para controlar la enfermedad ocasionada por el PRSV-p en condiciones de campo. Los resultados mostraron la posibilidad de utilizar este inhibidor viral contra esta enfermedad porque su efectividad era comparable a la del antiviral comercial Q-2000VI, con una protección satisfactoria hasta la cosecha, lo que permite aumentar los rendimientos de 1.5 a 3 veces. El efecto preventivo de las aplicaciones de inhibitovir puede atenuar y reducir los síntomas de la enfermedad, incluso en aquellas plantas que se infectaron antes del tratamiento. La aplicación del antiviral y el manejo integrado de plagas ofrece una nueva alternativa para el control eficiente de PRSV-p.

En Cuba, Rodríguez *et al.* (2013) evaluaron la mancha anular en las accesiones Tallo Morado de Nava, Amarilla de Duaba, Amarilla de Nava y Sapote de Pílon, con un incremento temporal de la proporción de plantas afectadas en todas las accesiones. La accesión Amarilla de Duaba mostró los síntomas dos meses después de la primera evaluación (DPE), mientras que el resto lo hizo a los cinco meses, aunque con proporciones que variaron entre ellas. La intensidad de los síntomas fue menor en el tallo (1.7 a 2.66), mayor en pecíolos (2.21 a 3.03) y mayor en follaje (3.44 a 4.03).

En Guerrero, Hernández-Castro *et al.* (2015) evaluaron las siguientes tácticas del manejo integrado del PRSV-p: protección de plántulas con malla de polipropileno, alta densidad de plantas (2700 plantas ha<sup>-1</sup>), erradicación de plantas enfermas con síntomas iniciales de la enfermedad, barrera de maíz en la misma fecha alrededor del cultivo de papaya e intercalada cada tres hileras.

Se observó un retraso de cinco meses en la incidencia del PRSV-p (30 %), con un mayor número de frutos por planta (15.3) y 78 t ha<sup>-1</sup>, a diferencia del manejo regional que en el mismo período llegó al 100 % de infección, con 10.2 fruto y rendimiento de 48 t ha<sup>-1</sup>. En Perú, Valderrama *et al.* (2015) caracterizaron la sintomatología y el perfil molecular del PRSV-p en el papayo de las zonas del norte de Perú. La inoculación del virus PRSV-p se realizó en plantas sanas de *C. papaya*, *Chenopodium murale*, *Ch. amaranticolor*, *Ch. quinoa*, *Cucumis melo*, *C. sativus* y *Cucurbita pepo*; a los 45 días, *C. papaya* mostró aclaración de nervaduras, mosaico, distorsión y reducción de la lámina foliar; en *C. melo*, *C. sativus* y *C. pepo* mostró clorosis sistémica, en *Ch. murale*, *Ch. amaranticolor* y *Ch. quinoa* no se evidenciaron síntomas. *C. papaya*, *C. melo*, *C. sativus* y *Cucurbita pepo* fueron analizadas por la técnica serológica de ELISA y por RT-PCR, lo que permitió comprobar que el PRSV-p se encuentra infectando las plantaciones del norte del Perú. Osorio-Acosta *et al.* (2016) evaluó la efectividad de la aplicación de insecticidas para reducir la transmisión viral y la mortalidad de áfidos con seis insecticidas/acaricidas de diferentes modos de acción (malatión, deltametrina, imidacloprid, óxido de fenbutatín, pymetrozine y rotenona). Las transmisiones significativamente más bajas se obtuvieron al usar pymetrozine (19 %) y rotenona (29 %), mientras que las mayores fueron con deltametrina (81 %) y malatión (66 %). El imidacloprid y malatión ocasionaron 100 % de mortalidad a 24 h, mientras que pymetrozine y óxido de fenbutatín produjeron la mortalidad más baja (46 %). Rotenona ocasionó fitotoxicidad en hojas de papayo. Por lo que pymetrozine tiene potencial en la prevención de transmisión viral no persistente. En la India, Yanthan *et al.* (2017) evaluaron rasgos morfológicos, frutales y de tolerancia al PRSV-p en 38 progenies intergenéricas avanzadas (F6) de *Carica papaya* (var. Arka Surya) y *Vasconcellea cauliflora*, de las cuales siete progenies (R5P16, R6P16, R7P16, R14P7, R17P16, R19P1 y R35P10) fueron tolerantes bajo condiciones de campo.

### III. HIPÓTESIS

#### 3.1. Hipótesis General

Existen accesiones nativas que muestran menores síntomas del virus de la mancha anular respecto a la variedad Maradol, cuando se inoculen con el insecto vector *Aphis nerii*.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo General

Evaluar la respuesta de 13 accesiones de papayo nativo y la variedad Maradol Roja al virus de la mancha anular, inoculadas con *Aphis nerii*.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de Estudio

El presente trabajo se realizó en el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, predio Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México (Figura 4), situado a los 19.194061° LN y 96.342016° LO, a 24 msnm.

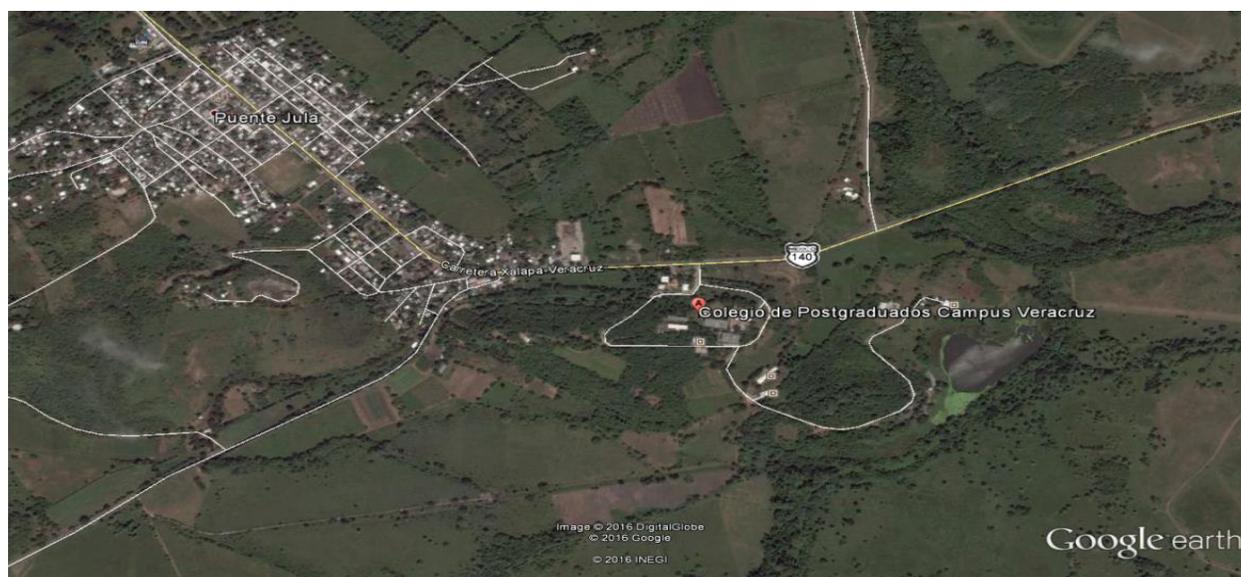


Figura 4. Ubicación del experimento. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

### 5.2. Material Biológico

Se utilizaron accesiones de papayo nativo resguardadas en el Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Sur Sureste, producto de la exploración y colecta realizadas por el Dr. Catarino Ávila Reséndiz, coordinador de la Red Papaya del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI, 2013). En el Cuadro 2 se indican las características de cada accesión, las cuales provinieron de los estados de Veracruz, Guerrero,

Tabasco y Campeche. También se utilizó la variedad Maradol roja de Semillas del Caribe®. Se registró el tipo de manejo en el que fue colectada cada accesión.

### **5.3. Producción y Mantenimiento de Plántulas**

Como tratamiento pre-germinativo de la semilla, se remojó por 48 h con cambios de agua cada 8 h. Posteriormente se realizó la inmersión de la semilla en una solución de ácido giberélico por 12 h; en seguida se colocaron las semillas en zigzag sobre tela de franela humedecida, previamente esterilizada con vapor de agua a 121 °C en autoclave; las piezas de franela de 15 x 20 cm se doblaron en forma de “sandwich” y se colocaron en una cámara ambiental a 35 °C y 80 % de humedad relativa. Diez días después, las semillas germinadas se sembraron en charolas de polietileno de 28 cavidades en sustrato a base de musgo sphagnum (Peat Moss®) y suelo rico en materia orgánica (1:1). Para garantizar la obtención de plantas libre de virus, las plántulas se mantuvieron bajo maya sombra (75 %), las que se regaron cada tercer día. Las plantas se trasplantaron a macetas de polietileno (20 x 15 cm), hasta que presentaron de 8 a 10 hojas verdaderas. Las plantas se pasaron a un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, previo a su inoculación.

### **5.4. Obtencion de la Fuente de Inóculo del PRSV-p**

Se utilizó la metodología descrita por Osorio-Acosta *et al.* (2016) y Hernández-Castro *et al.* (2005). Se colectaron hembras ápteras de *A. nerii* provenientes de su hospedero silvestre en campo, *Asclepias curassavica*. Para obtener áfidos libres de virus, en una caja de Petri se mantuvieron hembras adultas en ayuno, hasta producir ninfas de primer instar. Las ninfas recién emergidas se colocaron sobre plantas sanas de *A. curassavica*, obtenidas a partir de semilla, y se mantuvieron en jaulas entomológicas en el invernadero a temperatura ambiente de 23±4 °C y una humedad relativa de 80±10 %, con fotoperiodo natural de 12±1 h de luz. La fuente de inóculo se obtuvo de hojas de la parte superior de una planta de papayo, colectadas en una huerta comercial en Jamapa, Veracruz, México, la cual mostraba los síntomas característicos del PRSV-p. Las hojas resultaron positivas a la reacción en cadena polimerasa (RT-PCR). En estas hojas se colocaron áfidos libres de virus por 45 a 55 s para el período de adquisición del virus; en seguida, se pasaron 10 áfidos a cada una de las 13 plantas sanas de papayo que se utilizaron como fuente de inóculo, donde se mantuvieron por un período de inoculación de 2 h. Una vez transcurrido este tiempo los

áfidos se eliminaron manualmente. A los 20 días se colectaron muestras de hoja de cada planta para indexarlas mediante RT-PCR. Las plantas positivas al PRSV-p se mantuvieron en jaulas y se utilizaron como fuente de inóculo en el experimento.

### **5.5. Evaluación de Accesiones de Papayo a la Transmisión con Áfidos**

El ensayo se estableció con tres plantas por accesión (Cuadro 2), las que se inocularon durante tres ocasiones mediante áfidos infectivos con el propósito de aumentar el porcentaje de infección durante el periodo de evaluación. La primera inoculación se llevó a cabo el 31/10/2017, la segunda el 21/11/2017 y la tercera el 12/12/2017. Para la inoculación del PRSV-p en las plantas sanas, hembras ápteras de *A. nerii* de la cría se mantuvieron en ayuno durante 2 h en una caja Petri. Posteriormente, se transfirieron 10 áfidos a la fuente de inóculo durante 45 a 55 s e inmediatamente se colocaron en una planta sana de papayo nativo o de la variedad Maradol Roja. La planta con áfidos se confinó de 20 a 30 min en una jaula entomológica en el invernadero, para asegurar la transmisión viral. En seguida, se retiraron los insectos vivos. Las plantas se mantuvieron del 06/11/2017 al 06/01/2018 en un invernadero con malla antiáfido; a temperatura ambiente promedio de 24 °C. Se realizaron evaluaciones semanales de la incidencia y severidad de síntomas del PRSV-p en hojas (engrosamiento y amarillamiento de las nervaduras, moteado o mosaico foliar, ampollamiento y distorsión de las hojas), tallo y peciolo (manchas de color verde olivo y aspecto aceitoso). Se determinó que una planta está enferma cuando alcanzó el grado dos de la escala propuesta por Rodríguez *et al.* (2013) (Cuadro 3). Así mismo se evaluó el diámetro y longitud de la hoja y la altura de planta. Se graficó la tendencia del desarrollo de la planta; posteriormente se ajustó a una curva de crecimiento lineal o logarítmica (Excel, v. 10.0), que dependió de la interacción del genotipo con el virus.

### **5.6. Variables Evaluadas y su Estimación Estadística**

Dado el objetivo de evaluar el comportamiento de 13 accesiones de papayo nativo y la variedad Maradol Roja al virus de la mancha anular, inoculadas con *A. nerii*, las variables evaluadas fueron las siguientes.

#### **5.6.1. Altura de la planta, diámetro y longitud de la hoja**

La altura de la planta se midió desde la base del suelo hasta la parte apical de la planta, el diámetro de la hoja (DH) se midió en la parte más ancha de la hoja de extremo a extremo y la

longitud de la hoja (LH) se midió desde la nervadura centran hasta el extremo del lóbulo medio (Dantas *et al.*, 2000). La altura se estimó en tres plantas de cada accesión; el DH y la LH se midieron en tres hojas por planta.

### **5.6.2. Estimación de los índices de incidencia y severidad**

Estos índices se calcularon según Hernández-Castro *et al.* (2004). La incidencia de la enfermedad se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$I(\%) = \left( \frac{n_1}{N_j} \right) * 100, \text{ donde: } I (\%) = \text{Incidencia de la enfermedad en porcentaje; } n_1 =$$

Número de plantas enfermas por parcela experimental en el momento; y  $N_j$  = Número total de plantas evaluadas por parcela experimental.

La estimación visual del valor de severidad por planta se transformó al promedio del rango porcentual indicado en la descripción de síntomas (Cuadro 3); y esto constituyó el nivel de daño en el momento de la evaluación ( $X_{ki}$ ), con el que se calculó el índice de severidad promedio por accesión, mediante la siguiente fórmula.

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ki} * N_{ki}}{N_j} \text{ Dónde: } IS = \text{Índice de severidad; } X_{ki} = \text{Nivel del daño en el momento de}$$

la evaluación;  $N_{ki}$  = Número de plantas con el nivel del daño en el momento de la evaluación; y  $N_j$  = Número total de plantas evaluadas.

Los resultados del índice de severidad se sometieron a un análisis no paramétrico de Kruskal y Wallis (McDonald, 2014) para comparar los cuatro grupos de accesiones según su manejo (cultivado, traspatio, silvestre y comercial).

Cuadro 2. Adquisición, ubicación geográfica, tipo de fruto y grado de manejo de la colecta de *Carica papaya*.

Fecha colecta	Adquisición	Estado	Municipio	Localidad	Longitud O	Latitud N	Altitud (msnm)	Tipo	Manejo
31/07/2010	60	Veracruz	Chicontepec	Ahuateno	98.17	20.97	642	Mamey	Traspatio
31/08/2011	64 <sup>a</sup>	Guerrero	Chilpancingo	Chilpancingo-Acapulco	99.53	17.22	646	Papaya	Traspatio
31/08/2011	65	Guerrero	Tierra Colorada	Col. San José	99.53	17.16	273	Criolla colorada	Traspatio
01/09/2011	80	Guerrero	Tecoanapa	El Pericón	99.32	16.98	627	Papayo	Traspatio
03/09/2011	94	Guerrero	San Marcos	Cariedad	99.31	16.75	56	Pico de pajarito	Silvestre
05/07/2012	147	Tabasco	Huimanguillo	Col. José María, Pino Suarez Primera Sección	93.64	17.78	25	Papayitas	Silvestre
05/07/2012	150	Tabasco	Huimanguillo	Miguel Hidalgo	93.74	17.67	24	Papaya	Cultivada
07/07/2012	169	Tabasco	Huimanguillo	La Venta	94.04	18.10	15	papaya	Cultivada
27/07/2012	188a	Tabasco	Tenosique	San Carlos	91.49	17.43	42	P. Zapote	Cultivada
28/07/2012	197	Tabasco	Centro	Tamulté de las Sabana	92.79	18.16	8	P. Zapote	Cultivada
29/11/2012	203	Campeche	Calakmul	Becan	89.46	18.51	277	(-)	Silvestre
30/11/2012	205	Campeche	Calakmul	El Plan de San Luis	89.56	18.53	255	(-)	Silvestre
31/12/2012	210b	Campeche	Calakmul	Conguas	89.92	18.54	176	(-)	Silvestre
26/08/2017	Maradol roja	Cuba	-	-	-	-	-	Variedad	Comercial

Cuadro 3. Escala de severidad y descripción de síntomas para la evaluación de plantas de papayo (*C. papaya*) infectadas por el virus del PRSV-p. Ajustado de Rodríguez *et al.* (2013).

Severidad	Descripción de síntomas	Rango promedio para calcular severidad
0	Ausencia de síntomas	0
1	Sospecha de síntomas, pero sin estar bien definido 1-9 %	5
2	Síntoma evidente, pero puntual en el órgano 10-24 %	17
3	Síntoma que abarca el 25-50 % del órgano afectado y no se encuentra generalizado en todos los órganos.	38
4	Síntoma severo, pero que sólo afecta entre el 51 y 75 % del órgano y se encuentra generalizado en los órganos.	63
5	Síntoma severo y generalizado en todos los órganos, 76-100 %.	88

### 5.6.3. Detección molecular del PRSV-p mediante RT-PCR

La identificación del virus en las muestras colectadas en campo e invernadero se determinó mediante la prueba de RT-PCR siguiendo las especificaciones del fabricante. Se realizó la extracción del RNA del PRSV-p para generar DNA complementario y de ahí partir a la PCR, mediante la enzima transcriptasa reversa. Para la extracción de ácidos nucleicos se utilizó el Kit de extracción de RNA de Zymo Research® y se procesó según las indicaciones del fabricante. Se maceró una muestra de 30 mg, de hoja de papayo con síntomas; se transfirió a un tubo Eppendorf® de 1.5 ml, se agregaron 600 µl de ZR RNA Buffer y se centrifugó a 500 rpm. Se transfirió el sobrenadante a la columna y se colocó en un tubo colector donde se centrifugó a 12,000 rpm. Posteriormente se agregaron 400 µl de RNA y se centrifugó a 12,000 rpm. En seguida se agregaron 700 µl de RNA y se centrifugó a 12,000 rpm; se repitió el paso con 400 µl de RNA buffer de lavado y se centrifugó a 12,000 rpm por 2 min para remover el Buffer de lavado. Se colocó la columna en un tubo estéril libre de RNAsas, se agregaron 10 µl de agua libre de DNAsas y RNAsas, y se reposó por 1 min a temperatura ambiente. Por último se centrifugó a 18,000 rpm. Se recolectó el RNA resuspendido y se almacenó a -80 °C. El ARN se cuantificó en nanodrop a través de la relación de absorbancia A260/280 y A260/230 2000/2000 y Thermo Fisher®. Para la relación A260/280, el ácido nucleico se consideró puro en un rango de 1.8 a 2.0; y para la relación A260/230, el rango fue de 1.5 a 2.2.

Se realizó la RT-PCR en un termociclador Multigene y Labnet® con el producto de Promega RT-PCR System ®. Para amplificar la región de la proteína de la cápside (CP) que permite el diagnóstico del PRSV-p, se utilizó el primer 3F (5'GACCATGGTCCTAGAATGAAGCTGTGGATG 3') y el primer 11R (3'TTTTTTTTCTCTCATTCTAAGAGGCTC 5'), diseñados por Noa-Carrazana et al. (2006). Los siguientes agentes se agregaron y mezclaron en un tubo de 0.25 ml: 26 µl agua libre de nucleasas, 10 µl de AMV/Tfl 5X, 1 µl dNTP Mix, 50 pmol (3 µl) primer 3F, 50 pmol (3 µl) de primer 11R, 2 µl 25 mM MgSO<sub>4</sub>, 1 µl AMV reversa transcriptasa, 1 µl de Tfl DNA polimerasa, 100 ng (3 µl) de templado de RNA, con un volumen final de 50 µl. Los tubos con la mezcla se termociclaron a las siguientes condiciones: 1 ciclo de 45 min a 45 °C, 1 ciclo de 2 min a 94 °C, 40 ciclos de 30 s a 94 °C, 1 ciclo de 1 min a 60 °C, 1 ciclo de 2 min a 68 °C. Además, 1 ciclo de extensión final de 7 min a 68 °C. Se tomaron alícuotas de 5 µl para visualizarlos por electroforesis en gel de agarosa al 1.3X; se utilizó TAE buffer al momento de correr el gel de electroforesis

durante 70 min a 90 V. El gel se tiñó en bromuro de etidio y se observó en el fotodocumentador (Termoscientific®). Los amplicones de ~1000 pb se consideraron positivos al PRSV-p.

#### **5.6.4. Detección del PRSV-p por DAS-ELISA en plantas inoculadas con *A. nerii***

Para determinar la eficiencia de la transmisión por áfidos se utilizó el kit para PRSV-p de AGDIA®. Se colectó tejido vegetal del tercio superior de las 42 plantas de papayo utilizadas en el ensayo; las muestras se colocaron individualmente en bolsas de plástico etiquetadas y se depositaron en una hielera con bolsas de hielo de gel azul, para su traslado al Laboratorio de Virus del Programa de Fitosanidad en el Colegio de Postgraduados, Campus Motecillo. Cada muestra se maceró en un molino de rodillos (Dayton Electric®, Mod: 4Z522), y el extracto se recolectó con 100 µl del buffer de extracción. Se adicionaron dos repeticiones por muestra en la placa de 96 pozos junto a los controles positivos y negativos. Todas las incubaciones, el conjugado de la enzima sustrato y los lavados correspondientes con las soluciones amortiguadoras se realizaron según las indicaciones recomendadas por el fabricante (incluye el fabricante). Las seis lecturas de los pozos se efectuaron en diferentes horas del día a 405 nm (Thermo Scientific®, Multiskan FC).

#### **5.6.5. Índice de crecimiento**

Los datos promedio de altura de plantas sanas y enfermas para cada accesión se transformaron a índices de crecimiento según su diagnóstico de acuerdo a los resultados obtenidos hasta la novena semana de evaluación. Al final, la planta que no mostraba síntomas se utilizaba para obtener la diferencia de crecimiento como planta sana; de la misma manera, la planta que al final mostraba síntomas se utilizaba para obtener la diferencia de crecimiento como planta enferma. El promedio pudo ser de una, dos o incluso las tres plantas; en algunos casos no hubo plantas sanas al final. Así, cada índice se calculó mediante la diferencia entre el promedio de la altura en cada semana y el promedio de la altura en la semana previa de las plantas sanas o enfermas, con las siguientes fórmulas:

$ICPS_{pt} = (APS_{pt} - APS_{pt-1})$ , donde:  $ICPS_{pt}$  = Índice de crecimiento de la planta sana “p”, en la semana “t”;  $APS_{pt}$  = Altura de planta “p” que no mostró síntomas (Sanas) en la semana “t”;  $APS_{pt-1}$  = Altura de planta “p” que no mostró síntomas (Sanas) en la semana anterior ( $t-1$ ).

$ICPE_{et} = (APE_{et} - APE_{et-1})$ , donde:  $ICPE_{et}$  = Índice de crecimiento de la planta enferma “e”, en la semana “t”;  $APE_{et}$  = Altura de planta “e” que mostró síntomas (Enfermas) en la semana “t”;  $APE_{et-1}$  = Altura de planta “e” que mostró síntomas (Enfermas) en la semana anterior ( $t-1$ ).

### 5.6.6. Índice de crecimiento del diámetro y longitud de la hoja

De la misma manera, se calcularon los índices de diámetro y longitud de hoja, al tomar la diferencia de estas mediciones de las plantas que al final presentaron síntomas (enfermas) y las que permanecieron todo el periodo de evaluación sin síntomas (sanas). Para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

**IDS<sub>ht</sub>** =  $(\sum (DS_{ht} - DS_{ht-1})) / S_h$ , donde: **IDS<sub>ht</sub>** = Índice del diámetro de las hojas “h” (en la planta sana) en la semana “t”; **DS<sub>ht</sub>** = Diámetro de las hojas sin síntomas “h” (en la planta sana) en la semana “t”; **DS<sub>ht-1</sub>** = Diámetro de las hojas sin síntomas “h” (en la planta sana) en la semana “t-1”; **S<sub>h</sub>** = Número final de hojas sin síntomas (Sanas).

**IDE<sub>ft</sub>** =  $(\sum (DE_{ft} - DE_{ft-1})) / S_f$ , donde: **IDE<sub>ft</sub>** = Índice de diámetro de las hojas “f” (en plantas enfermas) en la semana “t”; **DE<sub>ft</sub>** = Diámetro de las hojas con síntomas “f” (en plantas enfermas) en la semana “t”; **DE<sub>ft-1</sub>** = Diámetro de las hojas con síntomas “f” (en plantas enfermas) en la semana “t-1”; **S<sub>f</sub>** = Número final de hojas con síntomas (Enfermas).

**ILS<sub>ht</sub>** =  $(\sum (LS_{ht} - LS_{ht-1})) / S_h$ , donde: **ILS<sub>ht</sub>** = Índice de longitud de las hojas “h” (en plantas sanas) en la semana “t”; **LS<sub>ht</sub>** = Longitud de las hojas sin síntomas “h” (en plantas sanas) en la semana “t”; **LS<sub>ht-1</sub>** = Longitud de hojas sin síntomas “h” (en plantas sanas) en la semana “t-1”; **S<sub>h</sub>** = Número final de hojas sin síntomas (Sanas).

**ILE<sub>ft</sub>** =  $(\sum (LE_{ft} - LE_{ft-1})) / S_f$ , donde: **ILE<sub>ft</sub>** = Índice de longitud de las hojas “f” (en plantas enfermas) en la semana “t”; **LE<sub>ft</sub>** = Longitud de las hojas con síntomas “f” (en plantas enfermas) en la semana “t”; **LE<sub>ft-1</sub>** = Longitud de las hojas con síntomas “f” (en plantas enfermas) en las semana “t-1”; **S<sub>f</sub>** = Número final de hojas con síntomas (Enfermas).

Con los datos transformados a índices se realizó un análisis de regresión lineal y logarítmica (Rojas-Lara *et al.*, 2008) por planta en el tiempo, según su prueba ajuste.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por el diagnóstico visual en campo fueron confirmados por la técnica serológica DAS-ELISA, tanto en las plantas con síntomas como en aquellas sin síntomas, resultados que coincidieron con lo obtenido en campo.

## 6.1. Incidencia

Los resultados observados muestran que el número de plantas enfermas en las 14 accesiones aumentaron en el tiempo, e incrementó el porcentaje de la incidencia del PRSV-p inoculados con *A. nerii*. Al respecto, Hernández-Castro *et al.* (2003) reporta que el porcentaje de plantas enfermas en el tiempo tuvo un comportamiento sigmoïdal, propio de las enfermedades virales transmitidas por áfidos. Todas las accesiones fueron susceptibles al PRSV-p en condiciones de invernadero con diferencias en la infección. En una evaluación de incidencia en plantas de papayo a campo abierto, Rodríguez *et al.* (2013) también mencionaron que todas las accesiones resultaron sensibles al PRSV-p, con diferencias en tiempo de infección entre ellas.

En el Cuadro 4 se muestra el incremento temporal de la proporción de plantas afectadas para cada accesión de papayo. Las accesiones 65, 94a, 205 y la variedad Maradol Roja fueron las primeras en mostrar incidencia del PRSV-p, con una proporción de 67, 33, 33 y 33 en la tercer semana después de la inoculación (SDI); sin embargo las Acc 188a, 169a, 80a, 210b, 147a, 60 y 203 mostraron afectaciones del 67, 67, 33, 33, 33, 33 y 33 % a la cuarta SDI, mientras que las Acc 64, 150 y 197a fueron las últimas en manifestar los primeros síntomas del PRSV-p, con una incidencia del 67 % hasta la quinta SDI.

Cuadro 4. Incremento temporal de la incidencia del PRSV-p en 13 accesiones de papayo nativo y variedad Maradol Roja en condiciones semicontroladas.

Accesiones	Inicio de la incidencia (Semana)	Incidencia inicial (%)	Incidencia final (%)	Área bajo la curva de incidencia vs. severidad
Maradol	3	67	100	242
188a	4	67	100	201
80	4	33	100	139
169	4	67	67	155
65	3	33	67	155
210b	4	33	67	132
64a	5	67	67	107
94a	3	33	67	101
150	5	67	67	92
197a	5	67	67	57
147a	4	33	33	77
60	4	33	33	57
203	4	33	33	41
205	3	33	33	39

La variedad Maradol roja y las Acc 65, 94a y 205 fueron las de mayor susceptibilidad a la enfermedad, al presentar incidencia a la tercera SDI. Bajo condiciones de infección natural con protección de barreras vegetales, Rivas-Valencia *et al.* (2008) reportan que Maradol presentó plantas enfermas a los 47 días después del trasplante (ddt).

En condiciones de vivero protegido con malla antiáfidos, la incidencia de la enfermedad se observó hasta los 90 ddt (Cabrera *et al.*, 2011). En Taiwán se detectó la incidencia de la enfermedad en líneas no transgénicas de papayo expuestas a infección natural por áfidos a los 29 ddt, mientras que las líneas transgénicas presentaron incidencia hasta los cinco meses (Bau *et al.*, 2004). Otro resultado descrito sobre la incidencia del PRSV-p fue la detección de los primeros síntomas a los 45 ddt a campo, mientras que en el presente ensayo las accesiones 64a, 150a y 197a mostraron la incidencia hasta los 35 días después de la inoculación, aproximándose al resultado descrito por Hernández-Castro *et al.* (2015). La proporción de plantas afectadas en las Acc Maradol Roja, 188a y 80 aumentaron gradualmente hasta alcanzar 100 % en incidencia acumulada, mientras que en las Acc 169, 65, 210b, 94a, 94a, 150 y 197a incrementaron su incidencia en 67 %. Las Acc 147a, 60, 203 y 205 se mantuvieron con la misma proporción de plantas afectadas durante todo el periodo, por lo que resultaron menos afectadas por el virus.

## **6.2. Severidad**

Todas las accesiones mostraron un incremento en la proporción de los síntomas evaluados durante las 9 SDI, aunque con proporciones diferentes entre ellas en el tiempo. Bau *et al.* (2003) también observaron diferentes niveles de resistencia en 45 líneas transgénicas de papaya, durante las siete semanas de evaluación. En este estudio, una planta se consideró enferma cuando presentó síntomas de grado 2 (17 %). La severidad inicial en las Acc 94a, 203, 205, 147a, 60, 210b, 65 y 80 fue de 1.67 %, mientras que para la 64a, 197a, 150, 188a y Maradol Rojo fue de 3.33 % y para la accesión 169 fue de 5 %. La severidad inicial encontrada en las accesiones es alta, en contraste a la severidad final en el tallo reportado por Rodríguez *et al.* (2013) en la variedad Sapote de Pílon (1.7 %) y Tallo morado (2.66 %). Las accesiones 197a, 64a y 150 mostraron síntomas iniciales de la enfermedad hasta la quinta SDI, sin embargo, en la incidencia final solo la accesión 197a presentó la menor incidencia final con grado 2. Bau *et al.* (2003) clasificaron a 10 líneas transgénicas como resistentes por haber presentado los síntomas atenuados hasta la semana 4 y 5 después de la inoculación.

De acuerdo a la estimación de los síntomas, las Acc 94a, 147a, 60 y 197a presentaron una severidad final mayor al 17 y menor al 38 %; por el contrario, las Acc 65, 210b, 150 y 64a presentaron el 38 % (grado 3); mientras que las accesiones 188a, 80 y 169 presentaron 63 % (grado 4) y Maradol roja 88 % en su severidad final, por lo que se consideraron las de mayor susceptibilidad a la enfermedad ocasionada por el PRSV-p. La severidad final en estas accesiones nativas, así como en Maradol roja fue mayor a la reportada por Rodríguez *et al.* (2013), al mencionar que las accesiones Tallo morado de Nava, Amarilla de Duaba, Amarilla de Nava y Sapote Pilon no presentaron síntomas de grado 3. Es probable que la susceptibilidad de la variedad Maradol roja se deba a que esta variedad comercial no se seleccionó para resistencia al PRSV-p (Abreu *et al.*, 2014). Existen dos variedades transgénicas (Rainbow y Sunup) del grupo Solo con resistencia al PRSV-p, que fueron modificadas con base en la genética del PRSV-p cepa HA 5-1, originaria de Hawaii (Gonsalves, 2006). Sin embargo, de acuerdo a la COFEPRIS (2015), en México es ilegal cultivar variedades de papayo transgénicas.

Por el contrario, las Acc 205 y 203 mostraron una severidad del 12.67 %, las cuales fueron menos afectadas por la enfermedad del PRSV-p al mostrar síntomas menores al grado 2, las que probablemente podrían considerarse tolerantes a la enfermedad, seguidas de las Acc. 60, 174a. En una población intergenérica avanzada (F6) de *C. papaya* (var. Arka Surya) y *Vasconcellea cauliflora*, Yanthan *et al.* (2017) reportaron que de 38 progenies evaluadas para tolerancia al PRSV-p, siete (R5P16, R6P16, R7P16, R14P7, R17P16, R19P1 y R35P10) resultaron tolerantes al virus bajo condiciones de campo, basada en rasgos morfológicos de la planta y en la calidad del fruto.

Se encontraron diferencias significativas ( $P = 0.0316$ ) entre los diferentes manejos asociados a las accesiones (Figura 5). Con base en las puntuaciones de la media para igualdad de rango de Kruskal y Wallis, las accesiones de manejo de traspatio y cultivadas no presentaron un grado de severidad diferente, mientras que la variedad comercial Maradol roja presentó la mayor severidad en contraste al grupo silvestre. Así, los genotipos silvestres que presentaron un menor grado de severidad podrían contener genes de mayor tolerancia al virus, por ser genotipos que aún no han sido seleccionados por el hombre. Al respecto, D'Eeckenbrugge *et al.* (2014) mencionan que dentro de Caricaceae existen 21 especies silvestres del género *Vasconcellea*, que cuentan con un potencial de resistencia al virus PRSV-p, que podrían ser usadas en la generación de poblaciones comerciales resistentes. En Filipinas, Alviar *et al.* (2012) Sinta es un híbrido de papayo

con la línea parental del género *Cariflora*, que le hereda la alta tolerancia al PRSV-p al híbrido, lo que permite que las plantas infectadas no reduzcan sus rendimientos. Esto resalta la importancia de evaluar el comportamiento de una variedad o accesión con respecto a la infección del virus, como una estrategia para el desarrollo de variedades resistentes (Alviar *et al.*, 2012).

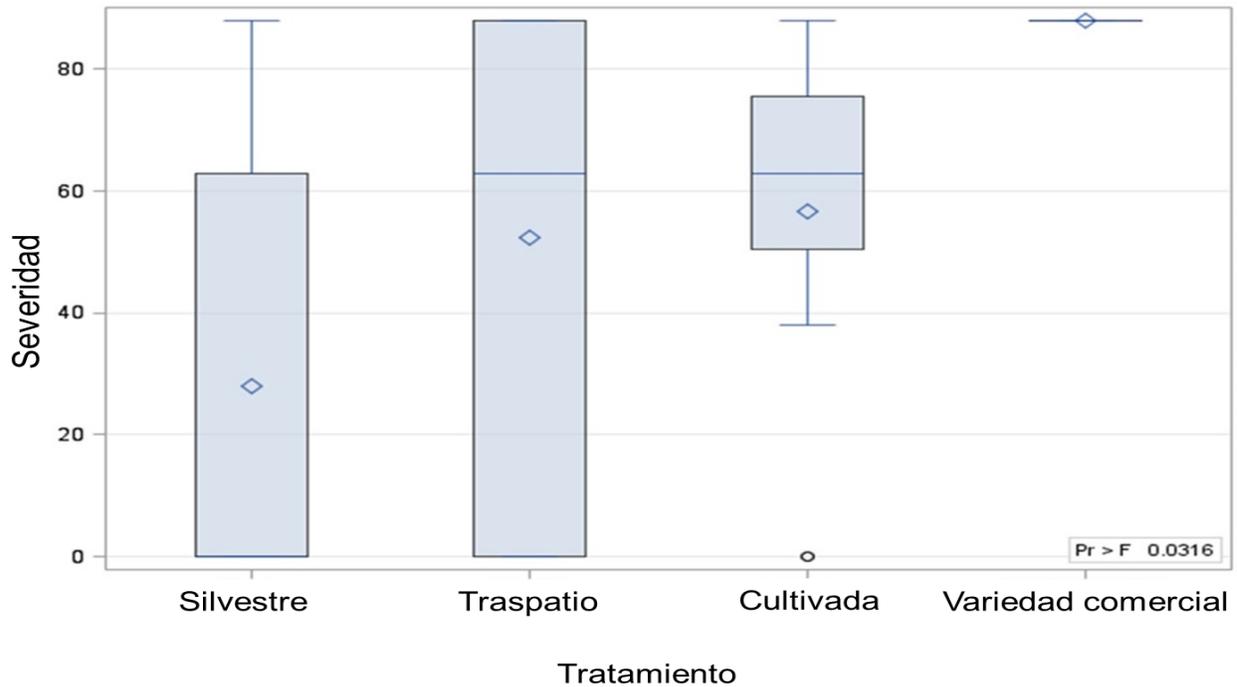


Figura 5. Severidad entre grupos de accesiones de papayo (*Carica papaya*) por su manejo.

### 6.3. Crecimiento de la Planta

Las plantas sanas presentaron un crecimiento (altura, diámetro y longitud de hoja) que se ajustó a una curva de regresión lineal, mientras que el crecimiento de las plantas enfermas se ajustó a una curva de regresión logarítmica (Cuadro 5). Las accesiones: 80, 188a, 169 y Maradol roja no presentaron plantas sanas al final. En general, las plantas sanas mostraron un crecimiento proporcional en el tiempo (lineal), con valores de  $R^2$  mayores a 0.95; por el contrario, debido a que al enfermar las plantas desaceleran su crecimiento, el ajuste a la regresión lineal presenta valores de  $R^2 < 0.95$ , por lo que los ajustes fueron mejores con curvas de tipo logarítmico (Cuadro 5). En el caso de plantas sanas, las regresiones para el diámetro y longitud de la hoja se ajustaron a curvas de regresión lineal ( $R^2 \geq 0.99$  o  $0.93$ , respectivamente) (Cuadro 6 y 7). Por el contrario, en las plantas enfermas el diámetro ( $R^2 \geq 0.96$ ) y longitud ( $R^2 \geq 0.96$ ) de la hoja se ajustaron a un modelo

de regresión logarítmico debido a que el desarrollo de la hoja fue decreciente (Cuadro 6 y 7). Un ejemplo de las regresiones se presenta en la Figura 6. Estos resultados coinciden con los de Alcántara *et al.* (2011), quienes reportaron crecimiento desacelerado en plantas de papayo Maradol infectadas de PRSV-p.

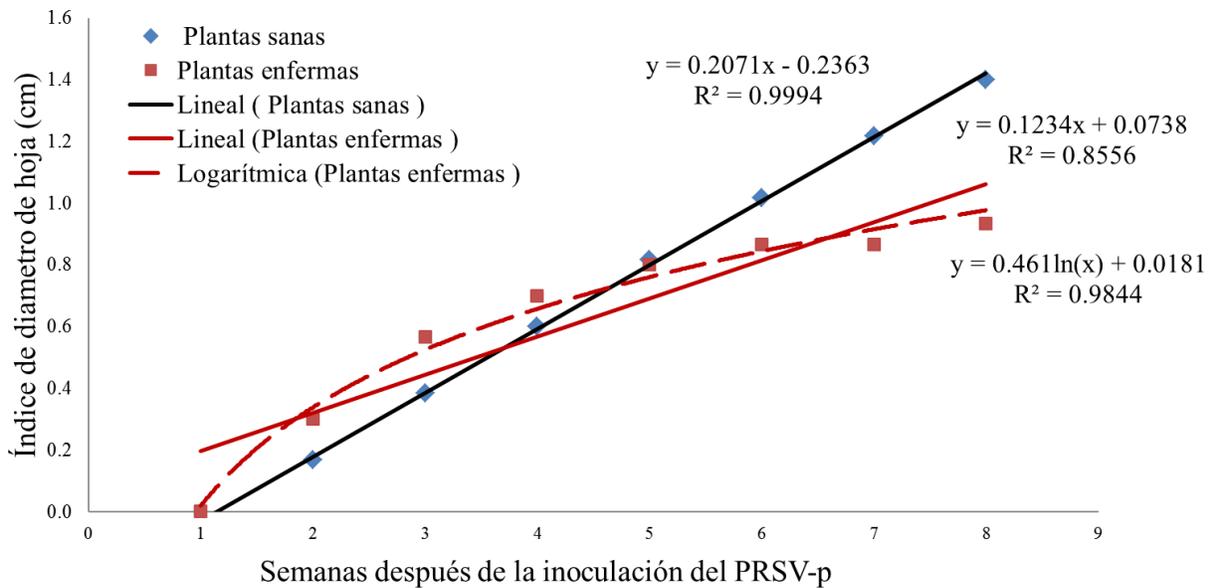


Figura 6. Ejemplo del ajuste lineal o logarítmico de la expansión de hojas sanas o enfermas de noviembre 2017 a enero 2018, medido a través del índice de diámetro de hoja de la accesión 203.

Estos resultados confirman que el PRSV-p es un virus de importancia económica porque afecta el crecimiento normal de la planta, así como la reducción de la altura de la planta, el tamaño de las hojas, flores, raíces, con acortamiento de los pecíolos y los entrenudos (El-DougDoug *et al.*, 2007). Rodríguez *et al.* (2013) mencionan que la afectación del virus en la planta depende de la edad y del momento de la infección. Tal es el caso de la infección de *Amaranthus hybridus* por AMV (*Amaranthus mosaic virus*) reportada por Ehinmore y Kehinde (2010), la que produjo una reducción significativa en la altura y número de hojas en plantas de tres cultivares.

Cuadro 5. Línea de regresión de los índices de crecimiento de planta sana o enferma en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.

Accesión	Índices de crecimiento de planta sanas			Índices de crecimiento de planta enfermas		
	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión logarítmica	R <sup>2</sup>
	94a	$y = 0.505x - 0.5028$	0.9991	$y = 0.3008x + 0.0014$	0.9231	$y = 1.1832\ln(x) - 0.1774$
197 <sup>a</sup>	$y = 0.625x - 0.4583$	0.9864	$y = 0.2667x - 0.0056$	0.9356	$y = 1.0275\ln(x) - 0.1196$	0.9396
64a	$y = 0.6533x - 0.5556$	0.997	$y = 0.42x + 0.1389$	0.9334	$y = 1.6511\ln(x) - 0.1097$	0.9951
60	$y = 0.4033x - 0.0111$	0.947	$y = 0.3017x - 0.0417$	0.91	$y = 1.1804\ln(x) - 0.2123$	0.961
147 <sup>a</sup>	$y = 0.4508x - 0.4153$	0.998	$y = 0.3617x - 0.0861$	0.9393	$y = 1.3986\ln(x) - 0.2672$	0.969
210b	$y = 0.5733x - 0.4444$	0.9983	$y = 0.4183x + 0.125$	0.9219	$y = 1.6453\ln(x) - 0.1237$	0.9837
150	$y = 0.7783x - 0.3694$	0.9878	$y = 0.5092x - 0.4958$	0.9746	$y = 1.9022\ln(x) - 0.6557$	0.9383
203	$y = 0.5117x - 0.1972$	0.9745	$y = 0.4967x + 0.1611$	0.8788	$y = 1.9895\ln(x) - 0.1855$	0.9726
205	$y = 0.6233x - 0.6556$	0.9931	$y = 0.5833x - 0.6389$	0.9761	$y = 2.1497\ln(x) - 0.78$	0.9144
65	$y = 0.6783x - 0.7139$	0.9976	$y = 0.2533x - 0.0611$	0.9433	$y = 0.9766\ln(x) - 0.1836$	0.967
80	Sin plantas sanas		$y = 0.3522x - 0.2019$	0.9841	$y = 1.3241\ln(x) - 0.3241$	0.9593
188 <sup>a</sup>	Sin plantas sanas		$y = 0.5556x - 0.137$	0.961	$y = 2.1283\ln(x) - 0.3867$	0.9729
169	Sin plantas sanas		$y = 0.4628x + 0.0787$	0.9363	$y = 1.8146\ln(x) - 0.1885$	0.993
Maradol	Sin plantas sanas		$y = 0.5528x - 0.1454$	0.9649	$y = 2.1221\ln(x) - 0.4$	0.9809

Cuadro 6. Línea de regresión de los índices de diámetro de hojas sanas o enfermas en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.

Accesión	Índice de diámetro de hojas sanas		Índices de diámetro de hojas enfermas			
	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión logarítmica	R <sup>2</sup>
94 <sup>a</sup>	$y = 0.3072x - 0.162$	0.9932	$y = 0.2056x - 0.0981$	0.9679	$y = 0.7813\ln(x) - 0.1817$	0.9644
197 <sup>a</sup>	$y = 0.29x - 0.25$	0.995	$y = 0.1408x + 0.1032$	0.8947	$y = 0.5644\ln(x) + 0.0046$	0.9911
64 <sup>a</sup>	$y = 0.3167x + 0.0381$	0.9985	$y = 0.1685x - 0.0143$	0.9459	$y = 0.6021\ln(x) - 0.0543$	0.9963
60	$y = 0.2275x - 0.1245$	0.9894	$y = 0.2039x - 0.012$	0.9603	$y = 0.7838\ln(x) - 0.1075$	0.9789
147 <sup>a</sup>	$y = 0.2895x - 0.2173$	0.9986	$y = 0.2032x + 0.044$	0.928	$y = 0.7337\ln(x) - 0.0143$	0.998
210b	$y = 0.2422x - 0.1481$	0.9942	$y = 0.1869x - 0.0329$	0.9286	$y = 0.7324\ln(x) - 0.14$	0.9832
150	$y = 0.3127x - 0.3238$	0.9984	$y = 0.1823x - 0.0143$	0.9411	$y = 0.6486\ln(x) - 0.0535$	0.9818
203	$y = 0.2071x - 0.2363$	0.9994	$y = 0.1234x + 0.0738$	0.8556	$y = 0.461\ln(x) + 0.0181$	0.9844
205	$y = 0.4185x - 0.3881$	0.9946	$y = 0.4048x - 0.0857$	0.9278	$y = 1.3216\ln(x) - 0.0762$	0.994
65	$y = 0.4039x - 0.3269$	0.9977	$y = 0.2025x - 0.0218$	0.9481	$y = 0.7865\ln(x) - 0.1279$	0.9864
80 <sup>a</sup>	Sin plantas sanas		$y = 0.1294x + 0.0083$	0.9317	$y = 0.5061\ln(x) - 0.0644$	0.9825
188 <sup>a</sup>	Sin plantas sanas		$y = 0.1686x + 0.0237$	0.9422	$y = 0.6569\ln(x) - 0.0679$	0.9869
169	Sin plantas sanas		$y = 0.2078x - 0.1599$	0.989	$y = 0.7787\ln(x) - 0.2286$	0.9581
Maradol	Sin plantas sanas		$y = 0.1624x + 0.0302$	0.9032	$y = 0.5942\ln(x) - 0.0266$	0.9967

Cuadro 7. Línea de regresión de los índices de longitud de hojas sanas o enfermas en relación al ritmo de crecimiento según su ajuste lineal o logarítmico, en accesiones de papayo nativo y Maradol inoculadas con PRSV-p. Evaluación noviembre-enero 2017-2018.

Accesión	Índice de longitud de hojas sanas		Índice de longitud de hojas enfermas			
	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Regresión logarítmica	R <sup>2</sup>
94 <sup>a</sup>	$y = 0.2994x - 0.238$	0.9939	$y = 0.1499x + 0.0155$	0.9224	$y = 0.5911\ln(x) - 0.076$	0.99
197 <sup>a</sup>	$y = 0.2589x - 0.1981$	0.9984	$y = 0.1372x + 0.0546$	0.9248	$y = 0.54\ln(x) - 0.0273$	0.9876
64 <sup>a</sup>	$y = 0.2817x - 0.1512$	0.9774	$y = 0.1992x - 0.1339$	0.9748	$y = 0.6929\ln(x) - 0.156$	0.9725
60	$y = 0.2417x - 0.2176$	0.992	$y = 0.0917x + 0.0417$	0.8693	$y = 0.3721\ln(x) - 0.0293$	0.988
147 <sup>a</sup>	$y = 0.2942x - 0.272$	0.9983	$y = 0.2282x + 0.1274$	0.9078	$y = 0.8328\ln(x) + 0.0502$	0.9972
210b	$y = 0.2756x - 0.2852$	0.9982	$y = 0.1636x - 0.0113$	0.9125	$y = 0.6412\ln(x) - 0.1052$	0.9667
150	$y = 0.3x - 0.15$	0.9918	$y = 0.1409x - 0.0131$	0.9018	$y = 0.5132\ln(x) - 0.0595$	0.987
203	$y = 0.1312x - 0.1298$	0.9957	$y = 0.1103x + 0.0036$	0.8779	$y = 0.4071\ln(x) - 0.0396$	0.9856
205	$y = 0.319x - 0.0048$	0.9398	$y = 0.4262x - 0.3$	0.9872	$y = 1.3323\ln(x) - 0.2178$	0.9695
65	$y = 0.3517x - 0.3028$	0.9976	$y = 0.2475x + 0.031$	0.9553	$y = 0.9589\ln(x) - 0.0955$	0.9892
80	Sin plantas sanas		$y = 0.1504x - 0.0272$	0.9487	$y = 0.5829\ln(x) - 0.1045$	0.9835
188 <sup>a</sup>	Sin plantas sanas		$y = 0.1333x + 0.0778$	0.9053	$y = 0.5312\ln(x) - 0.0111$	0.9911
169	Sin plantas sanas		$y = 0.2163x - 0.0728$	0.9849	$y = 0.8146\ln(x) - 0.1501$	0.9636
Maradol	Sin plantas sanas		$y = 0.1392x - 0.0512$	0.9482	$y = 0.4944\ln(x) - 0.0804$	0.987

## VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se acepta la hipótesis de la existencia de accesiones nativas que muestran menores síntomas del virus de la mancha anular respecto a la variedad Maradol, cuando se inoculan con el insecto vector *Aphis nerii*. En este sentido, las accesiones A205 y A203 fueron las que presentaron las menores incidencias y severidades de la enfermedad ocasionada por el PRSV-p, seguido de la 60 y 174a, las que probablemente podrían considerarse tolerantes a la misma. Las accesiones 65, 210b, 150 y 64a alcanzaron una severidad intermedia de 38 %, mientras que las accesiones 188a, 80 y 169, y Maradol roja presentaron 63 a 88 % de severidad. El crecimiento de las plantas se desaceleró después de la infección con el PRSV-p, mientras que las plantas sanas presentaron crecimiento lineal. Las accesiones que provenían de un ámbito silvestre mostraron menor grado de severidad, respecto a aquellas con manejo de traspatio y comercial.

## VIII. RECOMENDACIONES

La presente investigación representa una base para futuras investigaciones en mejoramiento genético de nuevas variedades tolerantes al PRSV-p. Por tal motivo se sugiere seguir trabajando con la papaya nativa de los diferentes estados de México como una potencial fuente de resistencia al virus.

## IX. LITERATURA CITADA

- Abato-Zárate, M., J. A. Villanueva-Jiménez, G. Otero-Colina, C. Ávila-Reséndiz, E. Hernández-Castro, and N. Reyes-Pérez. 2014. Acarofauna associated to papaya orchards in Veracruz, México. *Acta Zool. Mex* 30: 595-609.
- Abreu, P. M., C. G. Gaspar, D. S. Buss, J. A. Ventura, P. C. Ferreira, and P. M. Fernandes. 2014. *Carica papaya* microRNAs are responsive to Papaya meleira virus infection. *PLOS One* 9: 103-401.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 478-488.
- Alcántara J., A. J., M. T. Santillán-Galicia, G. Otero-Colina, J. A. Mora A., M. A. Gutiérrez E., y E. Hernández C. 2011. Relación entre *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) y el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p). *Rev. Col. Entomol.* 37: 228-233.
- Altieri, M. A. 1995. El agroecosistema: Determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. *In*: Altieri, M. A. (ed.). *Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Ed. CLADES. Santiago de Chile. pp. 22-31.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 19-31.
- Alviar, A. N., F. C. Sta. Cruz, and D. M. Hautea. 2012. Assessing the responses of tolerant papaya (*Carica papaya* L.) varieties to papaya ringspot virus (PRSV) infection and establishment of symptom severity rating scale for resistance screening. *Philipp. J. Crop Sci.* 37: 20-28.
- Ávila-Reséndiz, C., E. García P., y G. Hernández S. 2009. Colecta dirigida de los recursos fitogenéticos de *Carica papaya* L. *In*: Resúmenes Ejecutivos Ejercicio Fiscal 2009 de los Proyectos del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. SINAREFI. Edo. de México. 72 p.

- Badillo V., M. 1971. Monografía de la familia Caricaceae. 2a ed. Asociación de Profesores. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 221 p.
- Badillo V., M. 2000. *Carica* L. vs. *Vasconcellea* St. Hil. (Caricaceae) con la rehabilitación de este último. *Ernstia* 10: 74-79.
- Bau, H. J., Y. H. Cheng, T. A. Yu, J. S. Yang, and S. D. Yeh. 2003. Broad-spectrum resistance to different geographic strains of papaya ringspot virus in coat protein gene transgenic papaya. *Phytopathol.* 93: 112-120.
- Bau, H. J., Y. H. Cheng, T. A. Yu, J. S. Yang, P. C. Liou, C. H. Hsiao, C. Y. Lin, and S. D. Yeh. 2004. Field evaluation of transgenic papaya lines carrying the coat protein gene of papaya ringspot virus in Taiwan. *Plant Dis.* 88: 594-599.
- Becerra-Leor, E. 1994. Manejo integrado del virus de la mancha anular del papayo. *Rev. Univ. C. Colón (Veracruz)* 11: 17-27.
- Bennett, M. D., and I. J. Leitch. 2005. Genome size evolution in plants. *In: Gregory, T. R. (ed.). The Evolution of the Genome.* Elsevier. San Diego, California. pp. 89-162.
- Bermúdez-Guzmán, M. J., S. Guzmán-González, J. Lara-Reyna, P. A. Palmeros-Suárez, I. G. López-Muraira, and J. F. Gómez-Leyva. 2017. Presence of papaya ringspot virus (PRSV) in weed associated with *Carica papaya* in Colima, Mexico. *Rev. Mex. Fitopatol.* 36: 1-15.
- Cabrera M., D., M. Cruz M., y O. Portal V. 2010. Efecto de la temperatura en la virulencia del virus de la mancha anular de la papaya (PRSV-p). *Fitosanidad* 14: 123-125.
- Cabrera M., D., D. García H., M. W. Caballero A., P. L. García M., y O Portal V. 2011. Manejo de la mancha anular de la papaya mediante el uso de malla antiáfidos en viveros de *Carica papaya* L. Var. Maradol roja. *Fitosanidad* 15: 241-244.
- CABI (Centre for Agricultural Bioscience International). 2012. Papaya Ringspot Virus. En línea: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/45962> (Consulta: marzo 2018).
- Campostrini, E., and D. M. Glenn. 2007. Ecophysiology of papaya: A review. *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 413-424.
- Carvalho A., F., and S. A. Renner. 2013. The phylogeny of Caricaceae. *In: Ming, R., and P. H. Moore (eds.). Genetics and Genomics of Papaya, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models.* Vol. 10. Springer, New York. Pp. 81-92.

- Chan, Y. K. 2009. Breeding papaya (*Carica papaya* L.). *In*: Mohan, J. S, and P. M. Priyadarshan (eds.). Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species. Springer, New York. pp. 121-159.
- Chauvet, M., Y. Castañeda, P. Trigueros, A. Gonzáles, Y. Massieu, y R. L. Gonzáles. 2012. Efectos sociales de la papaya transgénica: Una evaluación *ex ante*. UNAM Azcapotzalco, México. 234 p.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios). 2015. ¿Cuáles son los principales cultivos utilizados en la generación de OGMs? En línea: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/OGMS/Cultivos.aspx> (Consulta: noviembre 2016).
- D'Eeckenbrugge, G. C., R. Drew, T. Kyndt, and X. Scheldeman. 2014. *Vasconcellea* for papaya improvement. *In*: Ming, R. and P. H. Moore (eds.). Genetics and Genomics of Papaya, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Vol. 10. Springer, New York. pp. 47-79.
- Dantas L., J. L., R. M. de Sousa P., J. Firmino de L., e F. R. Ferreira. 2000. Catálogo de Germoplasma de Mamão (*Carica papaya* L.). EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 40 p.
- De los Santos 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. Folleto técnico. Núm. 17. 1a reedición. Veracruz, México. 87 p.
- Ehinmore, I., and K. Kehinde T. 2010. Effect of amaranthus mosaic virus on the growth characters of *Amaranthus hybridus*. Agric. Biol. J. N. Amer. 1: 75-79.
- El-DougDoug, K. A., H. Mohamed, and A. Abo-Senna. 2007. Effect of PVY viral infection on alkaloid contents of cultivated medicinal plants. J. Appl. Sci. Res. 3: 558-563.
- Fuentes, G., and J. M. Santamaría. 2014. Papaya (*Carica papaya* L.): Origin, domestication, and production. *In*: Ming, R., and P. Moore. (eds.). Genetics and Genomics of Papaya, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Vol. 10. Springer, New York. pp. 3-15.
- García V., E., H. Mata V., R. Ariza F., y R. Santamaría B. 2010. Producción y Manejo Postcosecha de Papaya Maradol en la Planicie Huasteca. Libro técnico No. 4. INIFAP. CIRNE, CE Las Huastecas. Tamaulipas, México. 180 p.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sustentable. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.

- Gonsalves, D. 2006. Transgenic papaya: Development, release, impact and challenges. *Adv. Virus Res.* 67: 317-354.
- González, L., y D. Rodríguez. 2008. Dinámica poblacional de vectores del virus de la mancha anular de la papaya intercalada con naranja Valencia y diseminación de la enfermedad. *Centro Agrícola (Cuba)* 35: 55-60.
- 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. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6: 749-761.
- Hernández P., R., D. Guillen S., M. Pérez L., and E. Casanova C. 2017. Viral inhibitors to control the papaya ringspot virus on *Carica papaya*. *Cienc. Inv. Agr.* 44: 312-319.
- Hernández-Castro, E., A. D. Nava, A. Mora, J. A. Villanueva-Jiménez, A. D. Vargas, and F. A. Palemón. 2015. Incidence of the papaya ringspot virus (PRSV-p) and management in the state of Guerrero, Mexico. *In: Dimitrov, T. S., and I. I. Vitanova (eds.). Tropical Fruits - from Cultivation to Consumption and Health Benefits: Papaya.* Nova Science Publishers Inc., New York. pp. 119-127.
- Hernández-Castro, E., D. Riestra-Díaz, J. A. Villanueva-Jiménez, y R. Mosqueda-Vázquez. 2003. Análisis epidemiológico del virus de la mancha anular del papayo bajo diferentes densidades, aplicación de extractos acuosos de semillas de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) y eliminación de plantas enfermas del cv. Maradol roja. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 9: 55-68.
- Hernández-Castro, E., J. A. Villanueva-Jiménez, R. Mosqueda-Vázquez, y J. A. Mora A. 2004. Efecto de la erradicación de plantas enfermas por el PRSV-p en un sistema de manejo integrado del papayo (*Carica papaya* L.) en Veracruz, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22: 382-388.
- Hernández-Castro, E., J. A. Villanueva-Jiménez, J. A. Mora-Aguilera, y C. Nava-Díaz. 2010. Barreras de maíz en una estrategia de manejo integral para controlar epidemias del virus mancha anular del papayo (PRSV-p). *Agrociencia* 44: 339-349.
- Hernández-Castro, E., V. Utrera-Landa, J. A. Villanueva-Jiménez, D. A. Rodríguez-Lagunes, y M. M. Ojeda-Ramírez. 2005. Neem extracts on *Aphis nerii* behavior and papaya ringspot virus transmission. *JAUPR* 89: 75-84.

- Hernández-X., E. 1977 (ed.). Agroecosistemas de México. Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. 42 p.
- Hull, R. 2002. Matthew's Plant Virology. 4th. ed. Academic Press, Elsevier. San Diego, California. 1056 p.
- Jiménez V., M., E. Mora-Newcomer, and M. V. Gutiérrez-Soto. 2014. Biology of the papaya plant. *In: Ming, R. and P. Moore (eds.). Genetics and Genomics of Papaya, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Vol. 10. Springer New York. Vol. 10. pp. 17-33.*
- McDonald, J. H. 2014. Handbook of Biological Statistic. 3rd. ed. University of Delaware Baltimore. Maryland. 305 p.
- Martínez-Dávila, J. P., C. Landeros S., y A. Pérez V. 2004. El concepto de agroecosistema. Un enfoque de cadenas de producción-consumo. *In: Memorias del Primer Coloquio sobre Agroecosistemas y Sostenibilidad. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Veracruz, México. 16 p.*
- Martínez-Dávila, J. P., F. Gallardo, L. Bustillo, y A. Pérez. 2011. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola en Veracruz. *In: Cruz, A. (ed.). La Biodiversidad en Veracruz. Universidad Veracruzana-Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. 26 p.*
- Ming, R., Q. Yu, A. Blas, C. Chen, J. K. Na, and P. H. Moore. 2008. Genomics of papaya, a common source of vitamins in the tropics. *In: Moore, P. H., and R. Ming (eds.). Genomics of Tropical Crop. Springer, New York. pp. 405-420.*
- Noa-Carrazana, J. C., D. González-de-León, B. S. Ruiz-Castro, D. Piñero, and L. Silva-Rosales. 2006. Distribution of papaya ringspot virus and papaya mosaic virus in papaya plants (*Carica papaya*) in Mexico. *Plant Dis.* 90: 1004-1011.
- Ordaz-Pérez, D., J. Gámez-Vázquez, J. Hernández-Ruiz, E. Espinosa-Trujillo, P. Rivas-Valencia, and I. Castro-Montes. 2017. *Vasconcellea cauliflora* resistance to papaya ringspot potyvirus (PRSV-p) and its introgression in *Carica papaya*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 35: 571-590.
- Osorio-Acosta, F., J. A. Villanueva-Jiménez, B. Celis-León, A. Morales-Rodríguez, y R. José-Pablo. 2016. Insecticidas en la transmisión del virus de la mancha anular de *Carica papaya* L., mediante *Aphis nerii* (Boyer de Fonscolombe). *Agroprod.* 9(10): 68-74.

- Paterson, A. H., P. Felker, S. P. Hubbell, and R. Ming. 2008. The fruits of tropical plant genomics. *Trop. Plant Biol.* 1: 3-19.
- Rivas-Valencia, P., G. Mora-Aguilera, D. Téliz-Ortiz, y A. Mora-Aguilera. 2008. Evaluación de barreras vegetales en el manejo integrado de la mancha anular del papayo (PRSV-p) en Michoacán, México. *Summa Phytopatol.* 34: 307-312.
- Rodríguez, D., M. Alonso, Y. Tornet, L. Valero, E. R. Lorenzetti, y R. Pérez. 2013. Assessment of Cuban papaya (*Carica papaya* L.) accessions against ringspot. *Summa Phytopathol.* 39: 24-27.
- Rojas-Lara, P. C., M. Pérez-Grajales, M. T. B. Colinas-León, J. Sahagún-Castellanos, y E. Avitia-García. 2008. Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). *Rev. Chapingo Serie Hort.* 14: 289-294.
- Romero R., J. A. 2013. Manejo y conservación de germoplasma de la familia Caricaceae. Tesis de Doctor en Ciencias. Programa en Recursos Genéticos y Productividad. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 145 p.
- Ruiz R., O. 1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. *In: Seminario Internacional de Agroecología.* Univ. Autón. Chapingo. Estado de México. pp. 29-31.
- Ruiz R., O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. *In: López, O., 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 (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Papaya toda una maravilla. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. En línea: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/papaya-toda-una-maravilla?idiom=es> (Consultado: febrero 2018).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. SIAP-SAGARPA. En línea: <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado: marzo 2016).
- SINAREFI (Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura). 2013. MacroRed Frutales. SNICS, SAGARPA. México. 62 p.

- Valderrama, S., C. Cedano, J. Tenorio, J. Romero, y S. Carbajal. 2015. Caracterización sintomatológica y molecular del virus de la mancha anillada del papayo (PRSV) que infecta *Carica papaya* L, en el norte del Perú. *Sci. Agropec.* 6: 241-246.
- Valdés A., A. 2002. El cultivo de la papaya (*Carica papaya* L.). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Univ. Autón. Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 181 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 de Ingeniero Agrónomo. Univ. C. Rica. San José, C. Rica. 105 p.
- Vázquez G., E., E. E. Román A., y R. Ariza F. 2008. Fenología y unidades calor de genotipos de papayo en el Sur de Tamaulipas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 45-48.
- Vilaboa A., J. 2013. El concepto de agroecosistema y su aplicación en la ganadería bovina. *Agroprod.* 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. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10: 53-62.
- Villanueva-Jiménez, J. A., y R. Peña-Martínez. 1991. Áfidos (Homoptera: Aphididae) colectados en “Trampas amarillas” con agua en la planicie costera de Veracruz, México. *Agrociencia Serie Prot. Veg.* 2: 7-20.
- Villanueva-Jiménez, J. A., M. Abato-Zárate, y N. Reyes-Pérez. 2015. Plagas del papayo en México. *In: Otero-Colina, G., M. Abato-Zárate, y J. A. Villanueva-Jiménez (eds.). Ácaros Asociados al Cultivo de Papayo en México.* Colegio de Postgraduados, México. pp. 29-40.
- Yanthan, L., J., C. Vasugi, M. R. Dinesh., M. K. Reddy, and R. Das. 2017. Evaluation of F6 intergeneric population of papaya (*Carica papaya* L) for resistance to papaya ring spot virus (PRSV). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 6: 289-298.
- Yi-Jung, K., B. Huey-Jiunn, W. Yi-Ling, H. Chiung-Huei, C. Tsui-Miao, and Y. Shy-Dong. 2009. Generation of transgenic papaya with double resistance to papaya ringspot virus and papaya leaf distortion mosaic virus. *Phytopathol.* 99: 1312-1320.
- Yogiraj, V., P. Kumar G., C. Singh, A. Goyal, and B. Vyas. 2014. *Carica papaya* L: An overview. *Int. J. Herbal Med.* 2: 1-8.