SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

RESPUESTA DE TRES VARIEDADES DE CHILE HABANERO A BEGOMOVIRUS

TESIS

Que presenta:

Yomara Judith Chan May

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Esaú Ruiz Sánchez

Conkal, Yucatán, México
Noviembre, 2017.

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 27 de Noviembre de 2017.

El comité de tesis del candidato a grado: Yomara Judith Chan May, constituido por los CC., D.C Esaú Ruiz Sánchez, D.C Oscar A. Moreno Valenzuela, D.C Luis Latournerie Moreno y M.C. Alfonzo Pérez Gutiérrez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: "Respuesta de tres variedades de chile habanero a Begomovirus", que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Director de Tesis

Dr. Oscar A. Moreno Valenzuela
Co-director de Tesis

Dr. Luis Latournerie Moreno
Asesor de Tesis

MC. Alfonzo Pérez Gutiérrez
Asesor de Tesis

REDMI NOTE 8
AI QUAD CAMERA

Conkal, Yucatán a 27 Noviembre de 2017

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Yomara Judith Chan May

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Conkal, por brindarme de nuevo sus instalaciones para realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme brindado el apoyo económico para continuar mis estudios de posgrado a través de sus programas de becas. Además de otorgarme a través de su programa de Apoyos complementarios para mujeres indígenas, el apoyo 1 para adquisición de equipo de cómputo y el apoyo 2 para gastos de operación de proyecto de investigación para optar por el grado académico.

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán, por prestar sus instalaciones de laboratorio y facilitar mi estancia para la realización de este proyecto.

Al Dr. Esaú Ruíz Sánchez, por ser mi asesor, por guiarme durante este proceso con sus conocimientos, por tenerme mucha paciencia, y por los consejos que me brindó como maestro, asesor, y sobre todo como un gran ser humano que confió en mí.

Al Dr. Oscar Moreno Valenzuela por las facilidades otorgadas en el laboratorio, por su tiempo y dedicación.

Al Dr. Luis Latournerie Moreno por la dedicación y apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

Al M.C Alfonzo Pérez Gutiérrez, por las facilidades otorgadas en el proyecto, por su tiempo y dedicación.

Al Dr. René Garruña Hernández por la paciencia y dedicación otorgada para este proyecto.

A la Q.F.B Yereni Minero García por su dedicación y enseñanza para la realización de este proyecto.

A los amigos que conocí en la maestría Lichi, Rosi, Milka y David, por hacer que estos dos años vividos se queden en mi corazón, y a mis demás compañeros por ser parte de esta bonita etapa de mi vida.

Dedicatoria

A Dios, por ser tan bueno conmigo, estar siempre para mí y nunca abandonarme, por enseñarme a aprender de mis errores y dirigirme por el camino correcto.

A mi pequeña Mila, por llegar a mi vida en el momento preciso, por iluminar mi vida y llenar mi corazón de alegría. Porque a pesar del corto tiempo de tenerte a mi lado te has convertido en el centro de mi universo, porque te amo y para que tú tengas un mejor futuro esto es por ti y para ti.

A mi amado esposo Cas, por ser mi compañero de vida y de aventuras. Por apoyarme en este proyecto, por amarme, por confiar en mí, por darme el tiempo para realizarme profesionalmente y por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis padres Tere y Milo, por sus consejos, su amor y ayuda incondicional. Los amo.

A mi hermanita Mirle, por ser parte de mi familia, quererme y apoyarme siempre.

CONTENIDO

Página

Agradecimientos…… iv

Dedicatoria…….. v

CAPÍTULO I…… 1

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL…… 1

1.2 ANTECEDENTES…….. 3

1.2.1 Características de los begomovirus…… 3

1.2.2 *Bemisia tabaci* vector de Begomovirus…… 4

1.2.3 Respuesta de *Capsicum* a Begomovirus…… 5

1.3 HIPÓTESIS……. 7

1.4 OBJETIVOS…….. 8

1.4.1 General……..... 8

1.4.2 Específicos…….. 8

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL……. 9

1.6 LITERATURA CITADA……... 10

CAPÍTULO II. EFECTO DE LAS EPIDEMIAS DE BEGOMOVIRUS EN TRES VARIEDADES DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*)…… 12

2.1 RESUMEN…… 12

Abstract …… 13

2.2 INTRODUCCIÓN…….…… 14

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS…….…… 16

2.3.1 Ubicación del experimento……..…… 16

2.3.2 Variedades de *Capsicum chinense* Jacq a evaluar……..…….. 16

2.3.3 Establecimiento y manejo de la plantación ……. 17
2.3.4 Evaluaciones de rendimiento…… 17
2.3.5 Evaluación de incidencia y severidad…… 18
2.3.6 Evaluación de variables fisiológicas…… 18
2.3.7 Efecto de las infecciones de Begomovirus en la producción de biomasa y rendimiento de frutos …… 19
2.3.8 Análisis molecular de Begomovirus……. 20
2.3.9 Amplificación del DNA viral por PCR…….. 20
2.3.10 Análisis de Datos……. 21
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN…….…… 21
2.4.1 Producción de biomasa y potencial productivo……. 22
2.4.2 Comportamiento de las epidemias de Begomovirus……... 23
2.4.3 Efecto de las epidemias de Begomovirus en variables fisiológicas…… 25
2.4.4 Efecto de la intensidad de las epidemias en la producción de biomasa y frutos…….. 28
2.4.5 Análisis de PCR…….. 29
2.5 CONCLUSION……...…… 30
2.6 LITERATURA CITADA……

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Comparación de medias de biomasa seca total y componentes del rendimiento en tres variedades de chile habanero. ……. 21

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables área bajo las curva (ABC) de la incidencia y severidad, así como los valores finales de incidencia y severidad de epidemias de Begomovirus en chile habanero. ……..…… 22

Cuadro 3. Comparación de medias ± error estándar de variables fisiológicas en plantas de chile habanero sanas y con síntomas severos de Begomovirus. ……..…… 24

Cuadro 4. Efecto de los begomovirus en la biomasa de follaje, tallo, raíz y en el número y peso de frutos de plantas de chile habanero con diferentes grados de severidad.……..... 27

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Electroforesis en gel de agarosa de los resultados de PCR de ADN viral……. 29

RESUMEN

En Yucatán los Begomovirus son una de las principales limitantes en la producción de *Capsicum* spp. debido a las numerosas pérdidas económicas causadas por estas enfermedades virales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de tres variedades de chile habanero en función en función de la incidencia y severidad de las epidemias por Begomovirus, durante el ciclo invierno- primavera (2015-2016), bajo condiciones de cielo abierto. El número de plantas evaluadas para severidad y rendimiento fueron 10, para las variables fisiológicas y moleculares tres y para biomasa cuatro, cada variable con tres repeticiones. La variedad Jaguar tuvo los valores más altos en las variables agronómicas con 149.7 frutos por planta, y 1281.3 g por planta con respecto a la variedad H-224 que obtuvo 71.7 frutos por planta y 599.2 g por planta. No se observó diferencia significativa en las áreas bajo las curvas de la incidencia y severidad de las epidemias. Sin embargo, la severidad final fue menor en la variedad Jaguar con un valor en grado de severidad de 5.5. Todas las variables fisiológicas disminuyeron su valor en las plantas que presentaron grado severo en síntomas. El presente estudio indica que la variedad Jaguar presentó mejor comportamiento al ataque de Begomovirus que las variedades H-224 y H-241, al presentar menor severidad final de la epidemia y sobresaliente características agronómicas de rendimiento y número de frutos.

Palabras clave: Epidemia, incidencia, severidad, *Capsicum chinense*.

ABSTRACT

In Yucatan the Begomovirus are one of the main constraint in the production of *Capsicum* spp. due to the economic losses caused by these viral diseases. The goal of the present study was to to evaluate the agronomic and physiological characteristics of three varieties of Habanero pepper based on the Begomovirus epidemics (incidence and severity) during the season winter - spring 2015-2016. The experiment was set under field conditions. The number of plants evaluated for Begomovirus severity and fruit yield were 10, for physiological variables and molecular analysis were three, and for biomass were four. All variables were set with three replicates. The variety Jaguar showed the highest values for fruit yield, with 149.7 fruits per plant and 1281.3 g plant compared to the variety H-224 that had 71.7 fruits per plant and 599.2 g per plant. There was no significant differences in the areas under the disease progress curves of the incidence and severity of the epidemics. However, the final severity was lower in the variety Jaguar with a value of 5.5. The values of all the physiological variables decreased in plants with severe symptoms of Begomovirus infectioin. The present study indicates that the variety Jaguar had better response to Begomovirus than the varieties H-224 and H-241. Jaguar showed lower final severity of Begomovirus symptoms and higher fruit yield.

Keywords: Epidemic, incidence, severity, *Capsicum chinense*.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile habanero se cultiva en diversas regiones de México, principalmente en los Estados de Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, con rendimientos de 10 – 30 t ha^{-1}. Esta producción se comercializa desde nivel local hasta el internacional, procesado y fresco (SIAP, 2015). En Yucatán, el chile habanero es la hortaliza cultivada más importante y apreciada por su olor, sabor y pungencia, así mismo, es parte de la identidad cultural de la cocina regional (Latournerie *et al*., 2015).

Una de las limitantes del cultivo de chile habanero en la península de Yucatán es la presencia de Begomovirus. Los Begomovirus están distribuidos principalmente en los trópicos y subtrópicos de todo el mundo, y son responsables de las pérdidas de rendimiento de muchos cultivos hortícolas, donde en algunos casos pueden llegar hasta el 100% (Brown, 1991; Polston *et al.*, 1995).

Los Begomovirus son transmitidos de manera persistente por *Bemisia tabaci*, los síntomas que se observan en plantas infectadas con Begomovirus incluyen amarillamientos, mosaicos, manchas anulares, disminución del tamaño, deformaciones foliares y clorosis. Esto trae como consecuencia disminución en la fotosíntesis hasta 80% y aumento en la tasa de respiración entre 80 - 100%. Las partículas virales se multiplican principalmente en las células vasculares jóvenes y dañan el floema (Balachandran *et al*., 1997). Por esto la infección puede interferir con el transporte normal de los metabolitos y por consiguiente causar acumulación de carbohidratos en las hojas más viejas. Estos cambios fisiológicos reducen el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Goodman *et al.*, 1967; Leal *et al.*, 1984).

Los efectos de los Begomovirus en plantas de chile se han documentado en algunos estudios. Pazarlar *et al*. (2013) evaluaron tres líneas de *Capsicum annuum* L. y observaron que las infecciones por Begomovirus redujeron significativamente el número de hojas, área foliar, altura de planta, la longitud de la raíz, peso fresco y seco de raíz y número de brotes. Por el hecho de que el número de hojas de la planta y área foliar total están directamente relacionados con actividades fotosintéticas que proporcionan energía para el crecimiento, la reducción de estos parámetros causa disminución en el crecimiento global, tallos delgados y menor biomasa en comparación con plantas sanas. Las infecciones por Begomovirus también afectaron el transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera (Funayama *et al*., 1997).

Existen trabajos que muestran la respuesta diferencial de poblaciones de chile habanero a Begomovirus. Por ejemplo, **Godínez *et al*. (2001) evaluaron 49 poblaciones de *Capsicum chinense* contra enfermedades virales, de las cuales se seleccionaron siete para evaluar los mecanismos de resistencia a PHV, usando biobalística, durante un periodo de tres meses. Se observó entre 40 y 90% de plantas infectadas y la severidad fue de 8 a 8.6 en una escala de 10 grados.**

Berny *et al.* (2013) **evaluaron en campo el comportamiento de cinco líneas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a begomovirus. Se observaron diferencias en la severidad de los síntomas de virosis entre las diferentes líneas, lo que sugiere que existe una susceptibilidad diferencial a los begomovirus en las plantas analizadas.**

En el presente trabajo se incluyen tres variedades de chile habanero, la variedad comercial Jaguar y las variedades experimentales H-224 y H-241. Jaguar es una variedad de polinización libre de chile habanero con número de registro CHL-008-101109 en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (SNICS), fue desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de México, es tolerante a factores bióticos y adaptada a las condiciones ambientales adversas del trópico húmedo, como son la alta temperatura y humedad y tiene un incremento en su rendimiento de cultivo de hasta en un 36 por ciento

(Tut *et al.*, 2013); Por su parte las variedades H-224 y H-241 fueron colectadas en las localidades de Chiná, Campeche y Tzucacab, junto con otras diez poblaciones de chile habanero de diferentes municipios de Yucatán respectivamente y comparadas entre sí, son dos poblaciones criollas de chile habanero naranja, que han sobresalido entre otras por presentar características agronómicas deseables y demostrando potencial para integrarse en un programa de mejoramiento genético, siendo genotipos ideales para tolerar posibles enfermedades (Latorunerie *et al*, 2015)

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Características de los Begomovirus

Todos los begomovirus reportados en el Continente Americano poseen genoma bipartita, a excepción del virus del enrollamiento de la hoja amarilla del tomate (TYLCV), el cual fue introducido de Europa a América. El genoma bipartita se compone por dos moléculas de DNA-A y DNA-B con un tamaño de 2.5 a 2.8 Kb, los cuales transcriben sus genes bidireccionalmente. En el DNA-A se identifican cinco marcos de lectura abierta, uno en el sentido del virión denominado AV1 y cuatro en la cadena complementaria denominados AC1, AC2, AC3 y AC4. En el DNA-B se han identificado dos marcos de lectura abierta, ambos en el sentido del virión denominados BV1 y BC1. El componente A contiene toda la información necesaria para la replicación y encapsulación del virus, mientras que el componente B codifica para proteínas involucradas en el movimiento viral célula -célula y a larga distancia (Guerere, 2013).

También se han reportado begomovirus monopartitas, en este caso en el Hermisferio Oriental (carecen del DNA-B), como el virus del enrollamiento de la hoja

amarilla del tomate (TYLCV) y el virus del enrollamiento de la hija del tomate (TYCV) (Polston, *et al*., 1995; Ascencio *et al.,* 1999). El ciclo infectivo de los Begomovirus es del tipo circulativo no persistente y tiene como etapas principales: la adquisición del virus por parte del vector después de alimentarse por al menos 15 minutos de una planta infectada y la posterior inoculación del virus al seguir alimentándose de plantas sanas (Hunter *et al*., 1998).

Los begomovirus infectan a plantas dicotiledóneas, son transmitidos por mosca blanca y presenta como miembro tipo al *Bean Golden mosaic virus* (BGMV). En Yucatán los begomovirus reportados en chile son: el Pepper huasteco virus (PHV), Pepper Golden mosaic virus (PepGMV), Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) en plantas perennes donde el virus puede sobrevivir de un ciclo a otro (Ascencio *et al.,* 1999., Hull, 2002).

1.2.2 *Bemisia tabaci* vector de Begomovirus.

B. tabaci (Genn.) es un insecto hemíptero (Aleyrodidae) y es una plaga que se alimenta del floema de la planta produciendo efectos fitotóxicos; los residuos de savia presentes en la lámina foliar favorecen la aparición de fumagina, la cual es la acumulación de una capa de hongos oscuros que bloquean el proceso de la fotosíntesis. Además es el vector más importante en el mundo de varios géneros de virus de la planta, destacando los begomovirus por su amplia gama de hospedantes y cuantiosas pérdidas económicas ocasionadas en cultivos. Este insecto vector comprende un número elevado de poblaciones genéticamente variables, (Brown *et al*., 1991; Brown *et al*., 1997) cuya condición climática y geográfica ayudaron en la distribución de los biotipos pertenecientes a este género. En México se encontraba de manera predominante el biotipo A, el cual tiene una tasa reproductiva limitada, un rango moderadamente limitado de hospederos y aunque era capaz

de transmitir Begomovirus, las epidemias provocadas por los mismo se encontraban focalizadas a cultivos de hortalizas en regiones específicas del territorio nacional, sin embargo, la apertura comercial a nivel mundial permitió el fácil y rápido intercambio de todo tipo de mercancías entre las que destacaron plantas infectadas con virus y fitoplasmas de chile y el biotipo B de *Bemisia tabaci,* que fue introducida en el continente americano vía Republica Dominicana para posteriormente diseminarse a gran parte del continente Americano (Brown, 1991). La importancia del biotipo B desde el punto de vista económico radica en: su alta tasa de reproducción, un amplio rango de fuentes de alimento, alta voracidad y resistencia a insecticidas organofosforados. El biotipo B desplazó a las poblaciones de mosquitas blancas endémicas, estableciéndose con facilidad en regiones en donde antes no se encontraba (Bedforf *et al*., 1994, Wen, *et al.,* 2003).

1.2.3 Respuesta de *Capsicum* spp a Begomovirus.

Anaya y colaboradores (2003) evaluaron la resistencia en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a infecciones simples por el virus del mosaico dorado del chile (PepGMV), así como a infecciones mixtas entre PepGMV y el virus huasteco del chile (PHV), mediante inoculación por biobalística. En este estudio se evaluaron 140 plantas de diferentes colectas de chile habanero, determinando 99 plantas asintomáticas, que mediante las técnicas de ELISA y PCR se detectó la presencia de Begomovirus en las mismas, 15 plantas fueron resistentes debido a que no presentaron síntomas.

Godínez *et al*. (2001) usaron siete poblaciones de chile habanero de la Península de Yucatán, seleccionadas de un campo experimental para probar su resistencia al virus del chile huasteco (PHV). Dos poblaciones (UX-SMH-1 y UXSMH - 24) mostraron menos de 50% de plantas infectadas con PHV. Cuatro plantas no presentaron síntomas virales tres

meses después de la inoculación usando biobalística y métodos de injerto. Cuando se analizó el tejido foliar de estos individuos para PHV mediante PCR encontró la presencia del virus, lo que sugiere que la infección de PHV en plantas asintomáticas puede ser el resultado de una restringida circulación viral.

1.3 HIPÓTESIS

Existe respuesta diferencial en las variedades de chile habanero en el desarrollo de las epidemias de begomovirus.

Las infecciones severas por begomovirus ocasiona disminución en la tasa fotosintética y esta a su vez genera una reducción hasta del 50% en la producción de biomasa y fruto

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

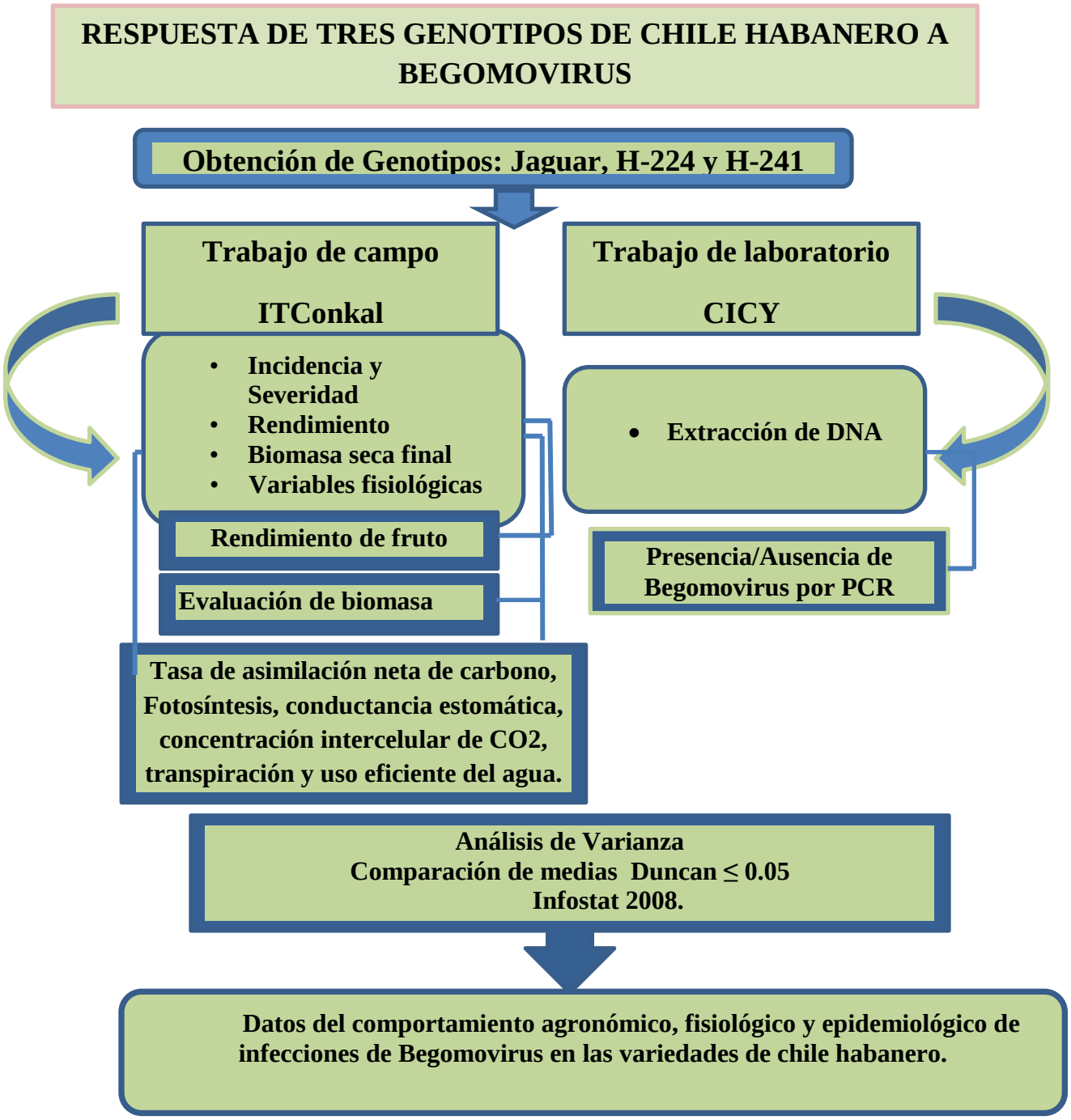
Evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico del chile habanero en función de la incidencia y severidad por begomovirus.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento de las epidemias de begomovirus en la productividad de tres variedades de chile habanero.

Determinar la influencia del grado de daño por begomovirus en la actividad fotosintética de chile habanero.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



1.6 LITERATURA CITADA

Anaya-López, J. L, Y. Godínez-Hernández, C. I. Muñoz-Sánchez, L. Guevara-Olvera, R. G. Guevara- González, R. F. Rivera-Bustamante, M. M. González-Chavira, y I. Torres-Pacheco. 2003. Identificación de resistencia contra infecciones simples y mixtas por el virus del mosaico dorado del chile (PepGMV) y el virus huasteco del chile en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Chapingo 9: 225-234.

Ascencio-Ibáñez, J. T., R. Díaz-Plaza, J. Méndez-Lozano, Z. I. Monsalve-Fonnegra, G. R. Arguello-Astorga, and R. F. Rivera-Bustamante. 1999. First report of Tomato Yellow Leaf Curl Geminivirus in Yucatán, México. Plant Disease 83: 1178.

Balachandran S., V. M. Hurry, S. E. Kelley, C. B. Osmond, S. A. Robinson, J. Rohozinski y G. R. Seaton. 1997. Concepts of plant biotic stress. Some insights into stress physiology of virus-infected plants, from the perspective of photosynthesis. *Physiologia Plantarum.* 100: 203–213.

Bedford, I. D., R. W. Briddon, J. K. Brown, R.C Rosell, and PG-G. Markham. 1994.Geminivirus transmission and biological characterization of *Bemisia tabaci* biotypes from different world regions. Annals of Applied Biology 125: 311-325.

Berny-Mier J.C., L. Abdala-Roberts, A. Durán-Yáñez and F. Tut-Pech. 2013. Variation in insect pest and virus resistance among habanero peppers (C*apsicum chinense* jacq.) in Yucatán, México. Agrociencia, 47: 471-482.

Brown J. K. 1991. Whitefly-transmitted geminiviruses in the Americas and the Caribbean. FAO. Plant Protection Bulletin. 39: 5–23.

Brown J. K. 1997. The biology and molecular epidemiology of the Geminiviridae subgroupIII. In: Stacey G, Keen NT, eds. Plant–Microbe Interactions. 3: 125–95.

Funayama S, H. kouki, y Y. Tetsukazu. 1997. Effects of virus infection and growth irradiance on fitness components and photosynthetic properties of *Eupatorium makinoi* (compositae). American Journal of Botany 84: 823–829.

Godínez-Hernández, Y., J.L. Anaya-López, R. Díaz-Plaza, M. González-Chavira, and I. Torres-Pacheco. 2001. Characterization of Resistance to Pepper Huasteco Geminivirus in Chili Peppers from Yucatán, México. Hortscience 36: 139 - 142.

Goodman, R.N, Z. Kiral and M. Zaitlin. 1967. The biochemistry and physiology of infections plant disease. D. Van Nostrand Company. 354.

Guerere-Pererira, P. 2013. Evaluación de la transmisión del *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV Mld) en hospederas alternas cultivadas y silvestres mediante el biotipo B de mosca blanca (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) (*Hemiptera*: *Aleyrodidae*). Tesis Doctoral. 11- 16

Hull R. M. 2002. Plant Virology. 4th edition. Elsevier, USA. 1001.

Hunter, W. B., E. Hiebert, E. S. Webb, J. H. Tsai, and J. E. Polston. 1998. Location of Geminiviruses in the Whitefly Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae). Plant Disease 82: 1147 - 1151.

Latournerie-Moreno, L., J.S. López-Vázquez, G. Castañón-Nájera, J.O. Mijangos-Cortéz, G. Espadas-Villamil, A. Pérez-Gutiérrez, y E. Ruiz-Sánchez. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.). 8: 24-29.

Leal, N. y R. Lastra. 1984. Altered metabolism of tomato plants infected with tomato yellow mosaic Physiological Plant Pathology. 24:1-7.

Pazarlar S, Gumus M, Oztekin G.B. 2013. The Effects of *Tobacco mosaic virus* Infection on Growth and Physiological Parameters in Some Pepper Varieties (*Capsicum annuum* L.). Not Bot Horti Agrobo. 41(2): Pp. 427-433.

Polston J.E, Anderson P.K. 1995 .The emergence of Whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the Western Hemisphere. Plant Disease. 81: Pp. 1358–1369.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Chile habanero de la Península de Yucatán. Disponible en: http://www.siap.gob.mx

Tut, P. F. J, Santamaría, B. F, Zavala, L. M. J y Berny, M. T. J. C. 2013. Características de materiales mejorados de chile habanero para la Peninsu la de Yucatán.Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochá. Centro de Investigación Regional Sureste. Mérida, Yucatán, México. Pp. 38

Wen-Q.C.; Rong-Xiang, F.; Hong-Sheng, S.; Xu, W.; Feng-Li, F.; Yue-Ren, L.; Jiu-Chun, Z.; XiaoYing, C.; Gui-Ling, W. and Ke-Qiang, K. 2003. Development of CMV- and TMV-resistant transgenic chili pepper: field performance and biosafety assessment. Molecular Breeding. 25–35.

II. EFECTO DE LAS EPIDEMIAS DE BEGOMOVIRUS EN TRES VARIEDADES DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*)

Yomara Judith Chan- May[1], Esaú Ruiz-Sánchez[1], Oscar Moreno- Valenzuela[2], Luis Latournerie-Moreno[1], Alfonzo Pérez- Gutierrez[1], René Garruña-Hernández[1]

[1]División de Estudios de Posgrado, Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México, 97345.

[2]Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Calle 43 No. 130. Col. Chuburná de Hidalgo. Mérida, Yucatán, México 97200.

Autor de correspondencia: Dr. Esaú Ruiz-Sánchez; Teléfono: 01 52 999 908 3435;

Email: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

2.1 RESUMEN

En Yucatán los Begomovirus son una de las principales limitantes en la producción de *Capsicum* spp. debido a las numerosas pérdidas económicas causadas por estas enfermedades virales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de tres variedades de chile habanero en función en función de la incidencia y severidad de las epidemias por Begomovirus, durante el ciclo invierno- primavera (2015-2016), bajo condiciones de cielo abierto. El número de plantas evaluadas para severidad y rendimiento fueron 10, para las variables fisiológicas y moleculares tres y para biomasa cuatro, cada variable con tres repeticiones. La variedad Jaguar tuvo los valores más altos en las variables agronómicas con 149.7 frutos por planta, y 1281.3 g por planta con respecto a la variedad H-224 que obtuvo 71.7 frutos por planta y 599.2 g por planta. No se observó diferencia significativa en las áreas bajo las curvas de la incidencia y severidad de las epidemias. Sin embargo, la severidad final fue menor en la variedad Jaguar con un

valor en grado de severidad de 5.5. Todas las variables fisiológicas disminuyeron su valor en las plantas que presentaron grado severo en síntomas. El presente estudio indica que la variedad Jaguar presentó mejor comportamiento al ataque de Begomovirus que las variedades H-224 y H-241, al presentar menor severidad final de la epidemia y sobresaliente características agronómicas de rendimiento y número de frutos.

Palabras clave: Epidemia, incidencia, severidad, *Capsicum chinense*.

ABSTRACT

In Yucatan the Begomovirus are one of the main constraint in the production of *Capsicum* spp. due to the economic losses caused by these viral diseases. The goal of the present study was to to evaluate the agronomic and physiological characteristics of three varieties of Habanero pepper based on the Begomovirus epidemics (incidence and severity) during the season winter - spring 2015-2016. The experiment was set under field conditions. The number of plants evaluated for Begomovirus severity and fruit yield were 10, for physiological variables and molecular analysis were three, and for biomass were four. All variables were set with three replicates. The variety Jaguar showed the highest values for fruit yield, with 149.7 fruits per plant and 1281.3 g plant compared to the variety H-224 that had 71.7 fruits per plant and 599.2 g per plant. There was no significant differences in the areas under the disease progress curves of the incidence and severity of the epidemics. However, the final severity was lower in the variety Jaguar with a value of 5.5. The values of all the physiological variables decreased in plants with severe symptoms of Begomovirus infectioin. The present study indicates that the variety Jaguar had better response to Begomovirus than the varieties H-224 and H-241. Jaguar showed lower final severity of Begomovirus symptoms and higher fruit yield.

Keywords: Epidemic, incidence, severity, *Capsicum chinense*.

2.2 INTRODUCCIÓN

El chile habanero se cultiva en diversas regiones de México, principalmente en los estados de Yucatán, Tabasco, Campeche y Quintana Roo, con rendimientos de 9.9-18.35 t ha^{-1}. Esta producción se comercializa desde nivel local hasta el internacional procesado y fresco (SIAP, 2015). En Yucatán, el chile habanero es la hortaliza cultivada más importante y apreciada por su olor, sabor y pungencia; así mismo es parte de la identidad cultural de la cocina regional (Latournerie et al., 2015).

Una de las limitantes del cultivo de chile habanero en la Península de Yucatán es la presencia de Begomovirus. Los Begomovirus están distribuidos principalmente en los trópicos y subtrópicos de todo el mundo y son responsables de las pérdidas de rendimiento de muchos cultivos hortícolas, donde en algunos casos pueden llegar hasta el 100% (Brown, 1991; Polston et al., 1995).

Los Begomovirus son transmitidos de manera persistente por *Bemisia tabaci* y principalmente infectan plantas dicotiledóneas, como tomate, pimiento y cucurbitáceas. Tienen un genoma bipartita de ADN circular, han resurgido con gran importancia debido al aumento de las poblaciones locales de *B. tabaci* como consecuencia de los monocultivos intensivos. Estos insectos posiblemente han desarrollado un nivel de resistencia a los insecticidas (Brown, 1997; Méndez et al., 2003).

Los síntomas que se observan en plantas infectadas con Begomovirus incluyen amarillamientos, mosaicos, manchas anulares, disminución del tamaño, deformaciones foliares y clorosis. Esto trae como consecuencia disminución en la fotosíntesis de hasta un 80% y aumento en la tasa de respiración entre 80-100%. Las partículas virales se multiplican principalmente en las células vasculares jóvenes y dañan el floema. Por esto, la infección puede interferir con el transporte normal de los metabolitos y por consiguiente causar acumulación de carbohidratos en las hojas más viejas. Estos cambios fisiológicos reducen el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Goodman et al., 1967; Leal et al., 1984).

Los efectos de Begomovirus en plantas de chile se han documentado en algunos estudios. Pazarlar et al., (2013) evaluaron tres líneas de *Capsicum* spp y observaron que las infecciones por Begomovirus redujeron significativamente el número de hojas, área foliar, altura de planta, la

longitud de la raíz, peso fresco y seco de raíz y úmero de brotes. Por el hecho de que el número de hojas de la planta y área foliar total están directamente relacionados con actividades fotosintéticas que proporcionan energía para el crecimiento, la reducción de estos parámetros causa disminución en el crecimiento global, tallos delgados y menor biomasa en comparación con plantas sanas. Las infecciones por Begomovirus también afectaron el transporte de agua en el sistema suelo-planta-atmósfera.

Existen trabajos que muestran la respuesta diferencial de poblaciones de chile habanero a Begomovirus. Por ejemplo, Berny et al., (2013) **evaluaron en campo el comportamiento de cinco líneas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a begomovirus. Se observaron diferencias en la gravedad de los síntomas de virosis entre las diferentes líneas, sugiriendo susceptibilidad diferencial a los Begomovirus. Godínez et al. (2001) evaluaron 49 poblaciones de *Capsicum chinense* para enfermedades virales, de las cuales se seleccionaron siete para evaluar los mecanismos de resistencia a PHV usando biobalística durante tres meses. Se observó entre 40 y 90% de plantas infectadas y la severidad fue de 8 a 8.6 en una escala de 10 grados.**

En el presente trabajo se incluyen tres variedades, la variedad comercial Jaguar y las variedades experimentales H-224 y H-241. Jaguar es una variedad de polinización libre de chile habanero con número de registro CHL-008-101109 en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, fue desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de México, es tolerante a factores bióticos y adaptada a las condiciones ambientales adversas del trópico húmedo, como son la alta temperatura y humedad, y un incremento en su rendimiento de cultivo de hasta en un 36 por ciento (Tut et al., 2013); Por su parte H-224 y H-241 fueron colectadas las localidades de Chiná, Campeche y Tzucacab, Yucatán respectivamente, son dos poblaciones criollas de chile habanero naranja, que han sobresalido entre otras por presentar características agronómicas y buen rendimiento de frutos demostrando potencial para integrarse en un programa de mejoramiento genético, siendo variedades ideales para tolerar posibles enfermedades (Latorunerie et al.,2015).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico de tres variedades (Jaguar, H-224 y H-241) de chile habanero en función de las epidemias por Begomovirus.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Ubicación del experimento

El estudio consistió de dos fases: una fase de campo y una de laboratorio. La fase de campo se realizó de noviembre de 2015 a abril de 2016 en el área de producción hortícola del Instituto Tecnológico de Conkal, 21° 4' N y 89° 31' O. La fase de laboratorio se llevó a cabo de enero a mayo de 2017 en la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas del Centro de Investigación Científica de Yucatán.

2.3.2 Variedades de chile habanero a evaluar

Las variedades usadas en el presente estudio fueron Jaguar, H-241 y H-224. La variedad comercial Jaguar posee un peso de fruto con rango de 6.5-12 g, rendimiento de 18.3-36 ton ha $^{-1}$ y se caracteriza por ser una variedad adaptada a condiciones ambientales adversas como temperatura y humedad, además de presentar alta tolerancia a plagas y enfermedades virales, principales problemas de producción de zonas costeras del trópico y subtropico del país (Tut et al., 2009). Por otra parte, la variedad experimental H-241 fue colectada en Tzucacab, Yuc., posee un fruto verde jade semioscuro y cuando madura obtiene un color naranja. Es un material precoz y obtiene en promedio 169.6 g planta $^{-1}$; por su lado la variedad experimental H-224 fue colectada en China, Campeche. Este material es precoz y obtiene en promedio 421. 4 g planta $^{-1}$, obtiene alrededor de 56 frutos por planta, con peso individual de 7.1 g planta^{-1} por fruto (Latournerie et al., 2015). Las variedades H-241 y H-224 han pasado por cuatro ciclos de selección masal (Ramírez, 2017).

2.3.3 Establecimiento y manejo de la plantación

Para la siembra y la obtención de plántulas se utilizaron charolas de poliestireno con 200 cavidades, junto con un sustrato comercial (Cosmopeat). Las charolas fueron cubiertas con un plástico negro para favorecer la germinación, al germinar se le proporcionó el manejo adecuado a las necesidades de las plántulas con aplicaciones de fungicidas, insecticidas, fertilizante foliar y riego. El trasplante se realizó cuando la planta tenía una altura promedio de 15 cm. Antes del trasplante se aplicó un riego de fondo en los surcos. A los ocho días después del trasplante se inició con la fertilización a través del sistema de riego y el manejo agronómico del cultivo se hizo de acuerdo con el paquete tecnológico propuesto por Soria et al. (2002). Para el riego se instaló un sistema de cinta de riego de 20 cm entre goteros con un gasto de 1.1 $L.h^{-1}$. El diseño de siembra fue 30 cm entre plantas a lo largo de cada fila y 1.2 m entre filas (100 plantas por fila), se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La infestación con mosca blanca se realizó de manera natural.

2.3.4 Evaluación del potencial de rendimiento de las variedades

Al inicio del cultivo en cada variedad se seleccionó un grupo de diez plantas de cada variedad a las que se les dio seguimiento durante todo el ciclo. Estas plantas fueron evaluadas en los componentes de rendimiento (número y peso de frutos) de todos los cortes. Los cortes se realizaron cada quince días. Al final del ciclo de cultivo, se obtuvo una muestra de cuatro plantas por variedad, mismas que se colocaron en bolsas de papel y secaron en un horno a 70° C durante 10 días, posteriormente se realizó el peso en seco de la biomasa mediante una balanza analítica.

2.3.5 Evaluación de Incidencia y Severidad.

Para evaluar la incidencia de la enfermedad, se registró semanalmente el número de plantas con síntomas de virosis a partir del día 30 ddt hasta el día 52 ddt, cuando la incidencia alcanzó el 100%. El porcentaje de plantas enfermas se obtuvo mediante la fórmula: Incidencia= [(Número de plantas o partes enfermas)*100)]/Total de plantas observadas.

En el caso de la severidad se utilizó la escala de González et al. (2011), con algunas modificaciones. La escala consistió en: grado 1 planta asintomática, grado 2 con enrollamiento leve de hojas, grado 3 con enrollamiento y presencia de hojas amarillas en las hojas apicales, grado 4 con grupos de manchas amarillas formando una red entre la base y el ápice de las hojas y protuberancias en la zona media apical, grado 5 con una acentuada disminución del tamaño de hojas, deformación foliar y enanismo y el grado 6 con severo enanismo, amarillamientos y distorsión severo de hojas. Con estos datos se construyeron curvas del progreso de la enfermedad (ABCPE) mediante el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden 1990) con la fórmula ABCPE= $^{n-1}\sum (y_i+y_{i+1})/2x\ (t_{i+1}-t_i)$.

2.3.6 Evaluación de variables fisiológicas

Para las variables fisiológicas se evaluaron únicamente dos grupos de plantas de cada variedad: plantas con severidad grado 1 y plantas con severidad grado 6. Para el intercambio de gases se usaron tres plantas por tratamiento. Cada planta fue una repetición. Las mediciones se llevaron a cabo a las 7:00 am con un medidor de gases en infrarrojo portátil LI-COR LI6400. La concentración de CO_2 atmosférico se mantuvo en 400 µmol m^{-1} de aire y la densidad de flujo de fotones para la fotosíntesis se estableció en 1500 m^{-1} s^{-1}. Las variables evaluadas fueron las siguientes: Tasa de asimilación neta de carbono, fotosíntesis, conductancia estomática, concentración intercelular de CO_2, transpiración y uso eficiente del agua. También se evaluó la florescencia a través del Junior Pam y se tomaron medidas del conteo de clorofila con el Spad Minolta.

2.3.7 Efecto de las infecciones de Begomovirus en la producción de biomasa y rendimiento de frutos

Para evaluar el efecto de los begomovirus en la disminución de la biomasa y rendimiento del cultivo, a los 50 ddt se seleccionaron cuatro plantas de cada variedad (tratamiento) que presentaran las infecciones de Begomovirus en severidad 1, severidad 3 y severidad 6.

Las plantas obtenidas completas se seccionaron por hoja, tallo y raíz y se colocaron en bolsas de papel para ser secadas en un horno a 70° C durante 10 días, posteriormente se realizó el peso en seco mediante una balanza analítica. Para el caso de los frutos, se tomaron las dos últimas cosechas y se seleccionaron todos los frutos en madurez y en crecimiento. Los frutos se contabilizaron y pesaron en una báscula de 600 g marca ADAM modelo CQT601.

2.3.8 Análisis molecular de presencia de Begomovirus en las plantas

En las tres variedades se seleccionaron plantas con grados de daños 1, 3 y 6. En cada caso se colectaron 4 muestras de 0.5 gr de hoja, cada muestra representó una repetición. Las hojas se tomaron de los estratos inferiores y superiores de la planta. Inmediatamente de colectadas las muestras de follaje, se colocaron en papel aluminio y bolsas de plástico con cierre hermético, para ser trasladadas en una nevera con hielo al laboratorio de la Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas del Centro de Investigación Científica de Yucatán, donde se conservaron en un ultra congelador a -82ºC.

El ADN se extrajo de las muestras recolectadas, mediante el Método CTAB, utilizando buffer CTAB: Tris-HCl 100 mM pH 8, EDTA 20 mM pH 8, NaCl 1.4 M, reactivo CTAB, Bromuro de cetiltrimetilamonio, 2% y β-mercaptoetanol 10 Mm, PVPP (polivinilpolipirrolidona), cloroformo;alcohol-isoamilico 24:1, isopropanol grado reactivo, acetato de sodio 3 M pH 5.2, tanol al 70 % y RNAsa 10mg/ml.

Cada muestra de follaje (0.01 g de tejido congelado en nitrógeno líquido) se maceró en un mortero y se le adicionó una pizca de PVPP. Se transfirió a un tubo eppendorf de 1.7 mL y se adicionó 1 mL de CTAB previamente calentado a 65ºC. Se mezcló homogéneamente e incubó a 65ºC por 40 min. Al término se centrifugó durante 20 min a 13000 rpm a 4ºC. El sobrenadante se recuperó en un tubo eppendorf de 1.7 mL y se le adicionó 600 µl de la mezcla cloroformo;alcohol-isoamilico 24:1. Nuevamente se centrifugó por 20 min a 13000 rpm a 4ºC, se pasó 700 µl del sobrenadante a un nuevo tubo eppendorf, se le adicionó 900 µl de isopropanol y 100 µl de acetato de sodio 3M pH 5.2 y se incubó a -20 ºC por 40 min. Posteriormente se centrifugó por 10 min a 13000 rpm a 4ºC, se

decantó el sobrenadante y se lavó la pastilla 2 veces con etanol al 70%. La pastilla se dejó secar y se suspendió con 50 µl de RNAsa 1:50 e incubó a 37ºC durante 30 min. Las muestras fueron conservadas en congelación a -20ºC hasta su lectura en PCR.

2.3.9 Amplificación del DNA viral por PCR.

El DNA total de extractos de plantas se usó como molde para las reacciones de PCR. La amplificación del DNA viral fue realizada de acuerdo al método ya descrito (Mullis, 1990), para lo cual se empleó un termociclador TECHNE, las reacciones de desnaturalización, alineamiento y polimerización fueron realizadas por 35 ciclos a temperaturas de 94°C por 1 min, 55°C por 2 min y 72°C por 3 min. El volumen total de la reacción fue de 25 µl, conteniendo 2.5 µl de buffer, 270 µL de dNTPs. Se utilizaron los primers 1154, 324 y 889 con 54 µl de cada uno. La enzima utilizada para la polimerización fue la Taq polimerasa de la marca BIOLINE con 1.25 unidades, 13.25 de H_20 destilada y 1 µl de DNA. Para analizar el DNA en electroforésis de agarosa 1.0% se usaron muestras de 24 µL de cada reacción. Se utilizaron dos testigos positivos con fragmentos de begomovirus y como testigo negativo se usó agua destilada. Los productos amplificados de reacción de PCR fueron detectados por electroforesis en gel de agarosa al 1.5%, los fragmentos fueron visualizados con Bromuro de Etidio.

2.3.10 Análisis de Datos

El experimento de campo se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Para el análisis de comportamiento de las epidemias (incidencia y severidad) de Begomovirus a través de la evaluación de área bajo la curva del progreso de las epidemias (ABCPE) y evaluar la severidad final se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Para las variables agronómicas (número de frutos, peso de fruto, y biomasa seca) y fisiológicas, se realizaron análisis de varianza y comparación múltiple de medias Duncan ($p \leq 0.05$) por medio del paquete estadístico Infostat 2008.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Potencial productivo de las variedades

La biomasa seca total de plantas en las tres variedades no mostró diferencia significativa. Sin embargo, en relación con los componentes del rendimiento, se observó diferencia significativa entre las variedades. La variedad Jaguar mostró el mismo potencial productivo (número de frutos y producción de frutos) que la variedad H-241, pero significativamente mayor que la variedad H-224 (Cuadro 1).

Cuadro 1. **Comparación de medias de biomasa seca total y componentes del rendimiento en tres variedades de chile habanero.**

Variedad	Biomasa seca total (g/planta)	Número de frutos (frutos/planta)	Rendimiento de frutos (g/planta)
Jaguar	166.6 ± 05.6 a	149.7 ± 25.9 a	1281.3 ± 220.3 a
H-241	165.6 ± 28.8 a	121.2 ± 11.4 ab	929.7 ± 88.8 ab
H-224	120.2 ± 17.1 a	71.7 ± 13.7 b	599.2 ± 97.3 b

Los datos son medias ± error estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

Los resultados en rendimiento de fruto observados en la variedad Jaguar indican que este material tiene buen potencial productivo. En general se ha observado a campo abierto rendimientos de alrededor de 1 kg planta. Por ejemplo, Huez *et al.*, (2013) documentó rendimiento de fruto promedio de 1.19-1.3 kg planta $^{-1}$ en una evaluación realizada con *C. chinense* con diferentes concentraciones de Nitrógeno.

En el caso de las variedades H-224 y H-241 generadas por selección masal de poblaciones criollas de *C. chinense* de la Península de Yucatán, se ha mostrado el potencial productivo comparado con otros materiales criollos (Latournerie *et al*., 2015). En evaluaciones de campo de estos materiales,

Quintal *et al*. (2012) reportaron rendimientos de 550 g planta $^{-1}$ para la variedad H-224, estos rendimientos son más bajos que los obtenido en el presente estudio.

2.4.2 Comportamiento de las epidemias de Begomovirus

La intensidad de las epidemias de Begomovirus se evaluó de manera visual mediante el registro de la incidencia y severidad de los síntomas en las plantas. Al respecto, no se observó diferencia (Duncan > 0.05) en las áreas bajo la curva de progreso de la incidencia y de la severidad. Tampoco se observó diferencia significativa entre variedades en la incidencia final (Cuadro 2). Sin embargo, la severidad final fue significativamente menor en la variedad Jaguar. Esto indica que la intensidad final de síntomas de virosis en la variedad comercial jaguar fue menor que en las variedades H-224 y H-241.

Cuadro 2. **Comparación de medias de las variables área bajo las curva (ABC) de la incidencia y severidad, así como los valores finales de incidencia y severidad de epidemias de Begomovirus en chile habanero.**

VARIEDAD	ABCP Incidencia	Incidencia Final	ABCP Severidad	Severidad Final
JAGUAR	134.8 ± 14.1 a	97.77 ± 1.5 a	209.9± 21.9 a	5.5 b
H-241	127.2 ± 14.9 a	99.54 ± 0.4 a	240.2± 12.2 a	6.0 a
H-224	105.7 ± 12.0 a	98.21 ± 1.7 a	240.0± 21.0 a	5.8 a

Medias ± error estándar con letras repetidas en cada columna no son significativamente diferentes (Duncan, 0.05). La severidad final se analizó con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

La incidencia y severidad muestran la intensidad de las epidemias en los cultivos. En los resultados se observó que las epidemias afectaron de manera similar a las tres variedades. Sin embargo, hubo mejor respuesta de la variedad Jaguar en la severidad final. Esta variedad tuvo menor grado de daño

al final del ciclo del cultivo. Otros trabajos también han reportado respuesta diferencial de materiales de chile habanero a virosis, por ejemplo, Berny et al. (2013) evaluando diversas líneas de chile habanero, observaron variación en intensidad de las infecciones virales. Por su parte Ballina et al. (2013), en un experimento para evaluar la resistencia al complejo *B. tabaci*-Begomovirus en 18 genotipos de *C. annuum*, observaron incidencias promedios entre13-69%. Estos resultados demostraron una variación en las respuesta a Begomovirus en los genotipos de *C. annuum*.

2.4.3 Efecto de las epidemias de Begomovirus en variables fisiológicas

Los cambios en las variables fisiológicas por efecto de los Begomovirus fueron evaluados en las tres variedades, para tal caso se tomaron dos grupos de plantas en cada variedad, un grupo correspondía a plantas asintomáticas (Grado 1 en la escala de severidad) y otro a plantas severamente afectadas (Grado 6 en la escala de severidad) con Begomovirus. En este contexto, en las tres variedades la fotosíntesis, la conductancia y la transpiración disminuyeron significativamente en plantas severamente dañadas con Begomovirus. En contraste, el carbón intercelular fue estadísticamente inferior en las plantas de jaguar, tanto en sanas como en enfermas. Además, se observó que el uso eficiente de agua sólo disminuyó significativamente por efecto de las infecciones en plantas de la variedad Jaguar.

Cuadro 3. **Comparación de medias ± error estándar de variables fisiológicas en plantas de chile habanero sanas y con síntomas severos de Begomovirus.**

	Variedad		
Severidad	**H-224**	**H-241**	**Jaguar**
	Fotosíntesis (µmol m^{-2} s^{-1})		
Grado 1	18.7±0.48 a	17.7±0.57 a	12.6±0.72 a
Grado 6	9.6±0.36 b	7.4±0.21 b	7.80±0.33 b
	Conductancia (µmol m^{-2} s^{-1})		
Grado 1	0.45±0.020 a	0.43±0.012 a	0.19±0.014 a
Grado 6	0.18±0.008 b	0.15±0.007 b	0.12±0.006 b
	Carbón intercelular (µmol m^{-2} s^{-1})		
Grado 1	287±1.1 a	290±2.7 a	251±2.9 a
Grado 6	281±2.7 a	287±3.4 a	262±3.7 a
	Transpiración (mmol m^{-2} s^{-1})		
Grado 1	6.6±0.17 a	6.9±0.11 a	4.1±0.22 a
Grado 6	3.8±0.13 b	3.3±0.13 b	3.1±0.14 b
	Uso eficiente del agua (µmol m^{-2} s^{-1}/mmol m^{-2} s^{-1})		
Grado 1	2.8±0.03 a	2.6±0.07 a	2.9±0.05 a
Grado 6	2.6±0.08 a	2.3±0.07 a	2.5±0.07 b

Medias ± error estándar con letras repetidas en cada columna no son significativamente diferentes (Duncan, 0.05). Grado 1= planta asintomática, Grado 6= severo enanismo, amarillamientos y distorsión severo de hojas.

En el presente estudio se observa que las infecciones severas de Begomovirus directamente afectan el intercambio de gases en la planta. Balanchandram et al., (1994) reporta en plantaciones de *Nicotiana tabacum* una disminución significativa en la fotosíntesis como consecuencia de la

infección por el Virus del mosaico del tabaco. La fotosíntesis fue en promedio mayor en las plantas sanas que en las plantas con síntomas de virus. Estos resultados son similares a los reportados por Cabrera et al., (2010) quienes describieron que la aparición de síntomas de mosaicos se debe a una reducción en la producción de clorofila, dado por la destrucción de cloroplastos debido al efecto del virus. Pazarlar et al., (2013) observaron pérdida de pigmentos por la infección viral por disminución de la eficiencia en la producción de hidratos de carbono durante la fotosíntesis. Chia et al., (1999) reportó una disminución en la tasa fotosintética en plantas de *Oncidium* al inocularle el virus con una disminución en rangos de 16.69 y 13.21 µmol m^{-2} s^{-1}, respectivamente.

Las variables conductancia estomática y transpiración disminuyeron significativamente en todas las variedades por efecto de las infecciones con Begomovirus. A diferencia, la eficacia intrínseca del uso del agua no fue afectada en H-224 y H-241, la variedad Jaguar redujo su uso eficiente del agua. Datos similares reporta Sampol et al., (2003) con reducciones de conductancia y transpiración en el efecto de la fotosíntesis en hojas de vid infectada con virus y también De ping *guo* et al., (2005) reportó reducciones en la tasa fotosintética y clorofila en el tallo de mostaza, al infectarse con el virus del mosaico del nabo.

2.4.4 Efecto de la intensidad de las epidemias en la producción de biomasa y frutos

El efecto de la intensidad de las epidemias no fue significativo en el peso seco del follaje. Sin embargo, las variables peso seco del tallo y peso seco de raíz disminuyeron significativamente conforme aumentó el grado de severidad de las epidemias.

El número de frutos no disminuyó significativamente por la severidad de la enfermedad en las variedades Jaguar y H-241. En contraste, en la variedad H-224 el número de frutos disminuyó dramáticamente en plantas con daños severos por Begomovirus. Con respecto al rendimiento de frutos (g $planta^{-1}$), la variedad Jaguar no tuvo disminución significativa en esta variable cuando la severidad de la enfermedad incrementó. En contraste, en las variedades H-241 y H-224 se observó disminución significativa en la producción de frutos por efecto de la severidad de la enfermedad, (Cuadro 4). Esto se confirma con los estudios de Balachandran et al., (1997), quienes encontraron

reducciones de variables como crecimiento y rendimiento en plantas sometidas a infecciones por virus y otros estreses bióticos debido al mal funcionamiento de la fisiología de la planta por ocasionados por estos.

Cuadro 4. Efecto de los begomovirus en la producción de biomasa de follaje, tallo, raíz y en el número y peso de frutos de plantas de chile habanero con diferentes grados de severidad.

	Variedad		
Severidad	H-224	H-241	Jaguar
		Follaje (g/planta)	
Grado 1	38.7 ± 5.5 a	54.9 ± 11.4 a	55.9 ± 2.9 a
Grado 3	32.4 ± 3.4 a	39.4 ± 5.4 a	50.7 ± 8.5 a
Grado 6	25.3 ± 5.9 a	39.2 ± 8.8 a	47.8 ± 10.8 a
		Tallo (g/planta)	
Grado 1	67.8 ± 10.8 a	89.9 ± 15.0 a	88.7 ± 3.9 a
Grado 3	39.1 ± 11.5 ab	49.9 ± 4.6 ab	66.0 ± 13.6 ab
Grado 6	24.3 ± 4.5 b	38.4 ± 11.7 b	48.3 ± 11.1 b
		Raíz (g/planta)	
Grado 1	13.7 ± 1.2 a	20.8 ± 3.0 a	22.0 ± 1.8 a
Grado 3	6.0 ± 1.1 b	10.1 ± 2.3 b	16.2 ± 2.9 ab
Grado 6	4.0 ± 0.7 b	8.0 ± 1.8 b	8.7 ± 1.3 b
		Número de frutos (frutos/planta)	
Grado 1	80.5 ± 22.4 a	91.3 ± 28.5 a	136.5 ± 25.4 a
Grado 3	85.6 ± 05.9 a	103.0 ± 17.7 a	119.5 ± 16.3 a
Grado 6	17.7 ± 11.1 b	74.2 ± 27.4 a	119.0 ± 33.3 a
		Rendimiento de frutos (g/planta)	
Grado 1	344.4 ± 78.1 a	479.2 ± 174.8 a	571.5 ± 63.5 a
Grado 3	396.2 ± 56.5 a	402.5 ± 43.8 a	474.5 ± 30.9 a
Grado 6	73.7 ± 50.1 b	282.6 ± 105.6 b	476.2 ± 120.8 a

Medias ± error estándar con letras repetidas en cada columna no son significativamente diferentes

(Duncan, 0.05). Grado 1= planta asintomática, Grado 3= con enrollamiento y presencia de hojas amarillas en las hojas apicales, Grado 6= severo enanismo, amarillamientos y distorsión severo de hojas.

El daño por la presencia de Begomovirus no tuvo efecto en la biomasa seca de follaje, esto probablemente se deba a que el virus se concentra en las hojas, por lo que en éstas hay un mayor contenido de almidón, dando lugar a un aumento del área foliar para compensar la reducción de la tasa fotosintética, evidenciándose con mayor cantidad de hojas. Resultados similares fueron reportados por Funayama et al., (1997), al observar una mayor tasa de crecimiento relativo y mayor producción de hojas en plantas infectadas con geminivirus en plantas de *Eupatorium makinoi* .

En el caso de la biomasa de tallo, esta variable disminuyó significativamente en plantas con grado severo de daño en las tres variedades. Respecto al peso seco de la raíz, las tres variedades obtuvieron mayores valores en esta variable en el grado 1, comparado con aquellas con grado de daño 3 y 6. Estos resultados son similares a otros que indican que las infecciones por begomovirus causan reducciones en la biomasa de raíz y el tallo (Pazarlar et al., 2013; Fries et al., 1996).

Para la variable rendimiento de frutos (g planta^{-1}), en las variedades H-224 y H-241 se observó una disminución significativa en esta variable en plantas con grado de daño 6 comparado con aquellas que presentaron grado de daño 1 o 3. En contraste, la variedad Jaguar no presentó disminución en el rendimiento por efecto de las infecciones con Begomovirus. Berny et al. (2013) en un estudio realizado con 5 genotipos de chile habanero, observó mayor rendimiento de frutos en el genotipo de mayor resistencia a virosis, debido a que el funcionamiento fisiológico de la planta era mejor en estos.

2.4.5 Análisis molecular de presencia de Begomovirus en plantas dañadas

Se analizó muestras de ADN de hojas correspondientes a plantas de las tres variedades de chile habanero con síntomas virales típicos para confirmar la presencia de Begomovirus. La electroforesis en gel mediante PCR confirmó la presencia de Begomovirus en plantas sintomáticas

de las tres variedades de chile Habanero evaluadas. La presencia de Begomovirus se determinó por resultado positivo en la prueba de ADN viral con 800 y 600 pares de bases (Figura 1).

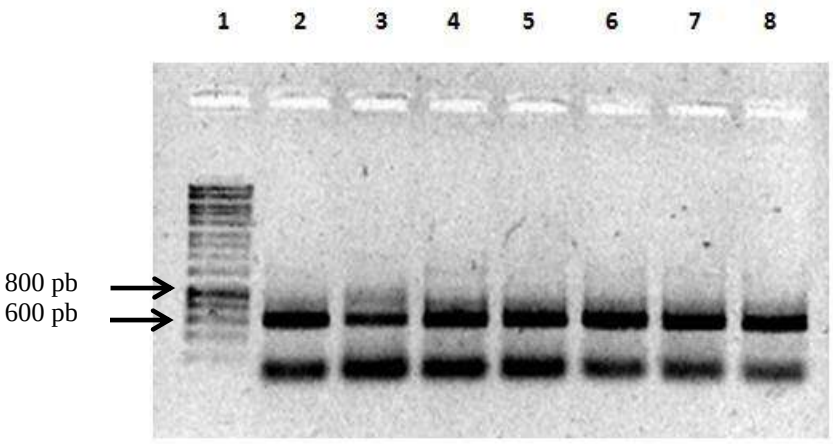


Figura 1. Electroforesis en gel de agarosa de la PCR de ADN viral. Carril 1 corresponde a marcadores moleculares Hiperladder I, carriles 2 – 3 corresponde a la variedad H-224, Carriles 4 - 7 corresponde a la variedad Jaguar, y carril 8 corresponde a la variedad H-241.

2.5 CONCLUSIÓN

El potencial productivo de la variedad H-241 fue similar al de la variedad Jaguar. Las epidemias de Begomovirus tuvieron un comportamiento similar en las tres variedades de chile habanero estudiadas, sin embargo, la variedad Jaguar presentó menor severidad final. La mayoría de las variables fisiológicas disminuyeron significativamente por efecto de las infecciones de Begomovirus en las tres variedades. Los componentes del rendimiento en la variedad H-224 disminuyeron en más de 70% por efecto de las infecciones de Begomovirus, mientras que en las variedades H-241 y Jaguar el efecto no fue de alta magnitud.

2.6 LITERATURA CITADA

Balachandran, S.; Osmond, C. B. and Makino, A. 1994. Effects of Two Strains of Tobacco MosaicVirus on Photosynthetic Characteristics and Nitrogen Partitioning in Leaves of *Nicotiana tabacum* cv Xanthi during Photoacclimation under Two Nitrogen Nutrition Regimes. Plant Physiol. 1043-1050.

Balachandran, S.; Hurr, V.M.; Kelley, S.E.; Osmond, C.B.; Robinson, S.A; Rohozinski J. and G.G.R. Seaton. 1997. Concepts of plant biotic stress. Some insights into stress physiology of virus-infected plants, from the perspective of photosynthesis. Plant Physiol. 100: 203–213.

Ballina, G. H. S.; Latournerie, M. L.; Ruiz, S.E.; Pérez, G. A. and Rosado, L.G. 2013. Morphological characterization of Capsicum annuum L. accesiones from southern México and their response to the *Bemisia tabaci*- Begomovirus complex. Chil. J. Agr. Res. 73(4):329-338.

Berny, M. J.; Abdala R. L.; Durán y .A and Tut P. F. 2013. Variation in insect pest and virus resistance among habanero peppers (C*apsicum chinense* jacq.) in Yucatán, México. Agrociencia. 47(5): 471-482.

Brown J. K. 1991. Whitefly-transmitted geminiviruses in the Americas and the Caribbean Basin. FAO. Plant Prot. 39: 5–23.

Brown J. K. 1997. The biology and molecular epidemiology of the Geminiviridae subgroup III. In: Stacey G, Keen NT, eds. Plant Microbiol. 3:125–95.

Cabrera, D.; González, J. E.; Portal, O. y Hernández, R. 2010. Influencia del virus del mosaico de la malanga sobre el contenido de clorofilas en *xanthosoma nigrum* (vell.) genotipo inivit 95-1. Rev. Protección Veg. 5(3): 194-196.

Campbell, C.L. and Madden, L. V. 1990 Introduction to plant disease epidemiology. New York : Wiley. 532.

Chia, T. H. J. 1999. Photosynthetic capacity in *Oncidium* (Orchidaceae) plants after virus eradication. Environmental and Experimental Botany. 42:11–16.

De Ping Guo, Y.; Jian-Ping, Z.; Hui, L.; Yan, P.; Qiao-Mei, W.; Ji-Shuang, C. and Gui-Zhen, R. 2015. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (Brassica juncea var. tsatsai) after turnip mosaic virus infection. Plant Science. 57–63.

Fries, N. and Maillet, S. 1996. Influence of cucumber mosaic virus infection on the intraspecific competitive ability and fitness of purslane *(Portulaca oleracea).* New Phytol. 132: 103-111.

Funayama, S.; Kouki, H. and Tetsukazu, Y. 1997. Effects of virus infection and growth irradiance onfitn ess components and photosynthetic properties of *Eupatorium makinoi* (compositae). Am. J. Bot. 84(6):823–829.

Funayama, S.; Kintake, S. and Ichiro, T. 1997. Photosynthetic properties of leaves of *Eupatorium makino*infected by a geminivirus. Photosyn. Res**.** 53: 253–261.

González, J.; Espino, M.; Torres, I. and Guevara, R. 2011. Quantification of virus syndrome in chili peppers. Afr. J. Biotechnol. 10 (27): 5236-5250.

Goodman, R.N.; Kiral Z. and Zaitlin M. 1967. The biochemistry and physiology of infections plant disease.D.Van Nostrand Company, Inc Princeton. 354.

Huez, L. M.; López E. J.; Jiménez L. J.; Rueda P. E.; Garza O. S. y Huez, M. J A. 2013. Productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* jacq.) bajo condiciones de invernadero en la costa de Hermosillo. Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. 282-286.

Latournerie, M. L.; López V. J. S.; Castañón N. G.; Mijangos C.J.O.; Espadas V. G.; Pérez G. A. y Ruiz, S.E. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.). Agroproductividad. 8:24-29.

Leal, N. and Lastra R. 1984. Altered metabolism of tomato plants infected with tomato yellow mosaic Physiol. Mol. Plant Pathol**.** 24:1-7.

Méndez, L. J.; Torres, P.I.; Fauquet, C.M. and Rivera, B.R. 2003. Interactions between geminiviruses in a naturally occurring mixture: Pepper huasteco virus and Peppergolden *mosaic* virus. Phytopathology. 93: 270–277.

Mullis, K. B. 1990. The unusual origin if the polymerase chain reaction. Scientific American. 56-60.

Pazarlar, S.; Gumus, M. and Oztekin, G.B. 2013. The Effects of *Tobacco mosaic virus* Infection on Growthand Physiological Parameters in Some Pepper Varieties (*Capsicum annuum* L.). Not Bot Horti Agrobo. 41(2): 427-433.

Polston, J. E. and Anderson P. K. 1995. The emergence of Whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the Western Hemisphere. Plant Dis. 81:1358–1369.

Quintal, O.W.; Pérez G. A.; Latournerie M. L.; May L.C.; Ruiz S.E, y Martínez, C. A. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero. Rev. Fitotec. Mex. 35: 155 – 160.

Ramírez, E. A. N. 2017. Respuesta a la selección en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y su descripción varietal. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical. Instituto Tecnológico de Conkal. 54.

Sampol, B.; Bota, J.; Riera, D.; Medrano, H. y Flexas, J. 2003. Analysis of the virus-induced inhibitionof photosynthesis in malmsey grapevines. New Phytologist. 403–412.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Chile habanero de la Península de Yucatán. Disponible en: http://www.siap.gob.mx

Soria, F.M.J; Trejo R. J.A.; Tun S. J. M.; y Terán, S. R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jack). Instituto Tecnológico de Mérida 2:3–74.

Tut, P. F. J.; Santamaría, B. F.; Zavala, L. M. J y Berny, M. T. J. C. 2013. Características de materiales mejorados de chile habanero para la Península de Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochá. Centro de Investigación Regional Sureste. Mérida, Yucatán, México. 38.