

# BARRERAS DE MAÍZ EN UNA ESTRATEGIA DE MANEJO INTEGRAL PARA CONTROLAR EPIDEMIAS DEL VIRUS MANCHA ANULAR DEL PAPAYO (PRSV-P)

## CORN BARRIERS IN AN INTEGRATED MANAGEMENT STRATEGY TO CONTROL EPIDEMICS OF PAPAYA RING SPOT VIRUS (PRSV-P)

Elías Hernández-Castro<sup>1</sup>, J. Antonio Villanueva-Jiménez<sup>2\*</sup>, J. Antonio Mora-Aguilera<sup>3</sup>, Cristian Nava-Díaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Corregidora No 55-b, Barrio de San Mateo, Chilpancingo, 39055. Guerrero, México. (ehernandezcastro@yahoo.com.mx), <sup>2</sup>Campus Veracruz. Colegio de Postgraduados, Km. 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, Municipio M. F. Altamirano, Veracruz. Apartado postal 421, 91700. Veracruz, México. (javj@colpos.mx). <sup>3</sup>Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, Estado de México. (aguilera@colpos.mx), (cnava@colpos.mx).

### RESUMEN

Las epidemias ocasionadas por el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-P) (*Carica papaya* L.) se han logrado retrasar mediante un sistema de manejo integral (MIP), aunque no se ha medido la efectividad individual de algunos componentes. Para ello se evaluó el establecimiento de barreras de maíz (*Zea mays* L.) en el control del PRSV-P en Veracruz, México. El MIP incluyó la protección del vivero con malla de polipropileno, 2743 plantas ha<sup>-1</sup>, la erradicación de plantas enfermas, la fertilización mineral y el control de arvenses. Los tratamientos fueron: manejo integral con barreras de maíz (MIP), manejo integral sin barreras (MIZ) y manejo regional (MR, 1600 plantas ha<sup>-1</sup>, con insecticidas, sin barreras ni eliminación de plantas enfermas). El modelo logístico explicó adecuadamente la incidencia en MIP, MIZ y MR, y la severidad en MIZ (R<sup>2</sup>=0.92 a 0.97); el exponencial y Gompertz explicaron la severidad (R<sup>2</sup>=0.92 y 0.98) en el MIP y MR. La mayor tasa epidémica se observó en el MR (0.054), mientras que el MIP la redujo en 42 % (0.031). Las barreras indujeron menor incidencia y severidad promedio (Y<sub>p</sub>-MIP= 18.4 y 7.1 %; Y<sub>p</sub>-MIZ= 23.4 y 11.7 %) y final (Y<sub>f</sub>-MIP= 81.0 y 35.7 %; Y<sub>f</sub>-MIZ= 94.11 y 43.0 %). La severidad máxima a 238 d después del trasplante (ddt) se observó en MR (69.0 %) y la menor en MIP (35.7 %). La ausencia de barreras incrementó las epidemias; en MR la máxima incidencia (100 %) y severidad (60 %) ocurrió 175 ddt, mientras que en MIP 238 ddt (incidencia 80 %, severidad 35 %). Las barreras mejoraron la sanidad del MIP en 14.0 % (Y<sub>f</sub>-MIP = 81.0 % < Y<sub>f</sub>-MIZ) y redujeron la severidad en 47.7 % (MIP<sub>audpc</sub> = 1,621.1 < MIZ<sub>audpc</sub> = 2,734.7).

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Febrero, 2009. Aprobado: Enero, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 339-349. 2010.

### ABSTRACT

The epidemics caused by papaya ring spot virus (PRSV-P) (*Carica papaya* L.) have been delayed by an integral management system (MIP), although the individual effectiveness of some components has not been measured. The establishment of corn (*Zea mays* L.) barriers was evaluated in the control of PRSV-P in Veracruz, Mexico. The MIP included the protection of the nursery with polypropylene mesh, 2743 plants ha<sup>-1</sup>, eradication of diseased plants, mineral fertilization and weed control. Treatments were: integral management with corn barriers (MIP), integral management without barriers (MIZ) and regional management (MR, 1600 plants ha<sup>-1</sup>, using insecticides, without barriers and elimination of diseased plants). The logistic model adequately explained the incidence in MIP, MIZ and MR, and severity (R<sup>2</sup>=0.92 to 0.97) in MIZ; the exponential and Gompertz models explained severity (R<sup>2</sup>=0.92 and 0.98) in MIP and MR. The highest epidemic rate was observed in MR (0.054), while MIP reduced it by 42 % (0.031). Barriers induced lower incidence and mean severity (Y<sub>p</sub>-MIP = 18.4 and 7.1 %; Y<sub>p</sub>-MIZ = 23.4 and 11.7 %) and final (Y<sub>f</sub>-MIP = 81.0 and 35.7 %; Y<sub>f</sub>-MIZ = 94.11 and 43.0 %). Maximum severity at 238 d after transplant (dat) was observed in MR (69.0 %) and the lowest in MIP (35.7 %). The absence of barriers increased the epidemics; in MR the maximum incidence (100 %) and severity (60 %) occurred 175 dat, while in MIP, 238 dat (incidence 80 %, severity 35 %). Barriers improved papaya health under MIP by 14 % (Y<sub>f</sub>-MIP = 81.0 % < Y<sub>f</sub>-MIZ) and reduced severity by 47.7 % (MIP<sub>audpc</sub> = 1621.1 < MIZ<sub>audpc</sub> = 2734.7). The MIP, with and without barriers, increased yield from 76.3 to 94.4 % with respect to MR.

**El MIP, con y sin barreras, aumentó el rendimiento de 76.3 a 94.4 % respecto al MR.**

**Palabras clave:** *Carica papaya*, *Zea mays*, control cultural.

## INTRODUCCIÓN

El papayo es un frutal de alta rentabilidad cultivado en zonas tropicales y subtropicales del Golfo de México y el Pacífico, principalmente en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Yucatán, Tabasco, Guerrero y Michoacán, con una superficie nacional cosechada de 20 945 ha y un valor de US\$ 246.3 millones (SIAP, 2008). Según FAOSTAT (2008), México ocupó el primer lugar como país exportador de papaya (*Carica papaya* L.) con US\$ 64.1 millones en 2005 y el segundo como productor mundial con 800 000 t en 2007.

El control químico se ha usado preponderantemente en el control fitosanitario del papayo, pero el uso intensivo e irracional de plaguicidas ha causado daños irreversibles al medio y a la salud de productores y consumidores, ha generado resistencia en las plagas y eliminado sus enemigos naturales (Perring *et al.*, 1999). Por ello se requiere desarrollar una agricultura sostenible que use métodos de control de bajo impacto ambiental, con menores costos de producción (Dolinski y Lacey, 2007). El manejo integral del papayo (MIP) es una propuesta de manejo sostenible del cultivo (GIP, 1992) para reducir el daño causado por el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-P), el cual es transmitido de manera no persistente por varias especies de áfidos (Hemiptera: Aphididae) (Kalleshwaraswamy y Krishna-Kumar, 2008). El PRSV-P es la principal limitante parasítica en el mundo, merma la producción hasta en 80 % y reduce el ciclo perenne del papayo a sólo un año (GIP, 1995). Las pérdidas se relacionan con la edad de la planta al momento de la infección y la velocidad de la dispersión viral (Hernández-Castro *et al.*, 2003). Los daños durante la etapa juvenil anulan totalmente su producción comercial. Sin embargo, si se mantiene baja la incidencia y severidad del daño de cuatro a siete meses después del trasplante hasta iniciar la etapa de crecimiento del fruto, la plantación conserva vigor para producir frutos con volumen y calidad aceptables, y generará utilidades aceptables (Hernández-Castro *et al.*, 2004).

El MIP combina tácticas culturales, químicas y físicas para retrasar la aparición de la epidemia, reducir

**Key words:** *Carica papaya*, *Zea mays*, cultural control.

## INTRODUCTION

Papaya is a highly profitable fruit tree cultivated in tropical and subtropical zones of the Gulf of México and the Pacific, principally in the states of Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Yucatan, Tabasco, Guerrero and Michoacan, with a harvested national surface of 20 945 ha and a value of US\$ 246.3 million (SIAP, 2008). According to FAOSTAT (2008), México occupied first place in papaya (*Carica papaya* L.) exports with US\$ 64.1 million in 2005 and second place as world producer with 800 000 t in 2007.

Chemical control has been used extensively in the phytosanitary control of papaya, but the intensive and irrational use of pesticides has caused irreversible damage to the environment and health of producers and consumers, has generated resistance in pests and eliminated their natural enemies (Perring *et al.*, 1999). Therefore, it is necessary to develop a sustainable agriculture that uses control methods of low environmental impact, with lower production costs (Dolinski and Lacey, 2007). The integral management of papaya (MIP) is a proposal of sustainable crop management (GIP, 1992) to reduce the damage caused by the papaya ring spot virus (PRSV-P), which is transmitted non-persistently by various species of aphids (Hemiptera: Aphididae) (Kalleshwaraswamy and Krishna-Kumar, 2008). The PRSV-P is the principal parasitic limitation in the world, reducing production by as much as 80 % and reducing the perennial cycle of the papaya to just one year (GIP, 1995). Losses are related to the age of the plant at the moment of infection and the speed of viral dispersion (Hernández-Castro *et al.*, 2003). Damages occurring during the early vegetative stage totally reduce its commercial production. However, if incidence and severity are maintained low for four to seven months after transplant until the onset of fruit growth, the orchard will preserve vigor to produce fruits with acceptable volume and quality, and will generate acceptable profits (Hernández-Castro *et al.*, 2004).

MIP combines cultural, chemical and physical tactics to delay the appearance of the epidemics, reducing the severity caused by the PRSV-P and increasing productivity (GIP, 1994). The tactics are as follows: protection of the nursery with

la severidad causada por el PRSV-P y aumentar la productividad (GIP, 1994). Las tácticas son: protección del vivero con malla de polipropileno (Agribón 17<sup>®</sup>), alta densidad de plantación (2800 plantas ha<sup>-1</sup>), erradicación temprana de plantas con síntomas iniciales del PRSV-P, establecimiento de barreras intercaladas de maíz (*Zea mays* L.) y barreras de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) alrededor de la parcela. Los resultados obtenidos con el MIP han permitido reducir el PRSV-P, mejorar la productividad y aumentar la calidad de fruta (GIP, 1995). El aporte individual de la eliminación de plantas enfermas ha sido estudiado por Hernández-Castro *et al.* (2004), las densidades por Mora-Aguilera *et al.* (1996) y Rivas-Valencia *et al.* (2003), la protección del vivero con mallas de polipropileno y antiáfido por Hernández-Castro *et al.* (2005a), la aspersión de aceite mineral (citrolina) y la de extractos vegetales (*Azadirachta indica* A. Juss.) por Pérez-Madrigal *et al.* (2000) y Hernández-Castro *et al.* (2003; 2005b). Sin embargo, no se ha estudiado el efecto de las barreras de maíz usadas como cultivo trampa para limpiar el estilete de los áfidos infestados con este virus no-persistente, antes de que se alimenten de las plantas de papayo cercanas (Delgadillo, 2000). Se han obtenido resultados promisorios con barreras vegetales de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.), girasol (*Helianthus annuus* L.) y maíz en el manejo de enfermedades virales transmitidas por éstos y otros insectos en diversas hortalizas (Pozo, 1994; Delgadillo, 2000). Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto individual en el sistema MIP de la incorporación de barreras intercaladas de maíz en la severidad e incidencia finales del PRSV-P y el rendimiento al término de los tres primeros meses del inicio de la etapa reproductiva de una plantación de papayo en Veracruz, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el ejido Miralejos (19° 04' 82.52" N, 96° 41' 62.62" O), Municipio de Soledad de Doblado, Veracruz, México, a 183 m de altitud, con un clima Aw0 (García, 1981), precipitación media anual de 887 mm y temperatura media anual de 25 °C (INEGI, 1995). El vivero se estableció con semilla certificada cultivar Maradol roja. El trasplante se realizó seis semanas después de la germinación. Las plantaciones se desarrollaron de junio de 1999 a marzo de 2000. La erradicación se inició al detectar las primeras plantas con síntomas del PRSV-P (moteado, mosaicos y manchas aceitosas) y se detuvo al

polypropylene mesh (Agribón 17<sup>®</sup>), high orchard density (2800 plants ha<sup>-1</sup>), early eradication of plants with initial symptoms of PRSV-P, establishment of intercropping corn (*Zea mays* L.) barriers and sorrel (*Hibiscus sabdariffa* L.) barriers around the plot. Results obtained with the MIP have allowed to reduce PRSV-P, improve productivity and increase fruit quality (GIP, 1995). The individual contribution of the elimination of diseased plants has been studied by Hernández-Castro *et al.* (2004), different densities by Mora-Aguilera *et al.* (1996) and Rivas-Valencia *et al.* (2003), nursery protection with polypropylene and anti-aphid mesh by Hernández-Castro *et al.* (2005a), spraying of mineral oil (citrolina) and vegetable extracts (*Azadirachta indica* A. Juss.) by Pérez-Madrigal *et al.* (2000) and Hernández-Castro *et al.* (2003; 2005b). However, studies have not been made on the effect of corn barriers used as trap crops to clean aphids stylets infested with this non-persistent virus, before they feed on nearby papaya plants (Delgadillo, 2000). Promising results have been obtained with plant barriers of sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.), sunflower (*Helianthus annuus* L.) and corn in the management of viral diseases transmitted by these and other insects in diverse vegetables (Pozo, 1994; Delgadillo, 2000). Therefore, the objective was to evaluate the individual effect of incorporating intercropped corn barriers to the MIP system on the final severity and incidence of PRSV-P, as well as yield at the end of the first three months of the papaya reproductive stage in an orchard in Veracruz, Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in the ejido Miralejos (19° 04' 82.52" N, 96° 41' 62.62" W), Municipality of Soledad de Doblado, Veracruz, Mexico, at 183 m altitude, with an Aw0 climate (García, 1981), mean annual rainfall of 887 mm and mean annual temperature of 25 °C (INEGI, 1995). The nursery was established with certified seed cultivar Red Maradol. Transplanting was made six weeks after germination. Orchard went on from June of 1999 to March of 2000. The eradication was initiated upon detecting the first plants with symptoms of PRSV-P (mottling, mosaics and oily spots) and was finished at the beginning of fruit set, four months after transplanting. In preliminary work it was confirmed by means of ELISA tests, the presence of PRSV-P in papaya orchards of the ejido Miralejos, showing consistently typical symptoms of the disease indicated in Table 1 (Hernández-Castro *et al.*, 2005a).

inicio del amarre de frutos, cuatro meses después del trasplante. En trabajos preliminares se corroboró mediante ELISA que el PRSV-P presente en plantaciones de papaya en el ejido Miralejos, mostraba consistentemente los síntomas típicos de la enfermedad indicados en el Cuadro 1 (Hernández-Castro *et al.*, 2005a).

Los tratamientos fueron: 1) MIP, vivero cubierto con malla de polipropileno (Agribón-17<sup>®</sup>); 2743 plantas ha<sup>-1</sup>; fertilización química al suelo y follaje según análisis químicos de suelo y tejidos, control químico y cultural de arvenses; una barrera de un surco de maíz variedad CP-562 con una planta cada 20 cm, intercalada cada cuatro hileras de papayo, sembrada en la fecha de trasplante del papayo, y una segunda barrera sembrada 95 d después, una vez cosechada la primera; 2) el manejo integral del papayo sin barreras (MIZ) incluyó las tácticas descritas para el MIP, excepto por las barreras de maíz; 3) el manejo regional (MR), practicado por los productores de papayo en la región Centro de Veracruz, incluyó 1600 plantas ha<sup>-1</sup>, aspersión de insecticidas para controlar áfidos vectores del PRSV-P, fertilización química en el suelo y follaje con bases empíricas, control químico y mecánico de arvenses.

El diseño experimental fue bloques completos aleatorizados con seis repeticiones: una parcela con 120 plantas de papayo distribuidas en dos grupos, cada uno con cuatro hileras y 15 plantas a 1.8 × 1.8 m entre plantas e hileras. Entre cada grupo de 60 plantas se dejó una calle de 2.7 m de ancho (0.90 m adicionales), donde se colocó la barrera de maíz. La intensidad del PRSV-P se evaluó como incidencia y severidad a intervalos de 7 d. La incidencia de la enfermedad en cada repetición se calculó con la fórmula  $I (\%) = (n/N) \times 100$ , donde, I es la incidencia de la enfermedad

The treatments were as follows: 1) MIP, nursery covered with polypropylene mesh (Agribón-17<sup>®</sup>); 2743 plants ha<sup>-1</sup>; chemical fertilization to the soil and foliage according to chemical analyses of soil and tissues, chemical and cultural weed control; a corn barrier of one row, variety CP-562 sowing one plant every 20 cm, and intercropped every four rows of papaya, sown on the same date of papaya transplant, and a second barrier sown 95 d afterward, once the first one had been harvested; 2) integral management of papaya without barriers (MIZ) included those tactics described for MIP, except for the corn barriers; 3) regional management (MR), similar to that practiced by papaya growers in the Central region of Veracruz, which included 1600 plants ha<sup>-1</sup>, insecticides spraying to control aphid vectors of PRSV-P, chemical fertilization in the soil and foliage with empirical bases, chemical and mechanical weed control.

The experimental design was a completely randomized block with six replicates: each plot with 120 papaya plants distributed in two groups, each one with four rows and 15 plants at 1.8 × 1.8 m between plants and rows. Between each group of 60 plants, a wider row of 2.7 m width (additional 0.90 m) was left, in which the corn barrier was established. The PRSV-P intensity was evaluated as incidence and severity at intervals of 7 d. Disease incidence in each replicate was calculated with the formula  $I (\%) = (n/N) \times 100$ , where I is the incidence of the disease expressed in percentage; n is the number of diseased plants per replicate on a specific date; N is the total number of plants per replicate. Disease severity per replicate was calculated with a nominal scale of six values (Table 1). The middle point percentage of each scale class was used to calculate the average severity per replicate per

**Cuadro 1. Escala nominal de seis valores para evaluar la severidad de síntomas inducidos por el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-P) en el cv. Maradol roja.**

**Table 1. Nominal scale of six values to evaluate severity of symptoms induced by papaya ring spot virus (PRSV-P) in cv. Red Maradol.**

Descripción de síntomas y severidad	Clase nominal <sup>†</sup>	Severidad (%)
Planta sin síntomas	1	0 - 10
Ennegrecimiento y distorsión de nervaduras, manchas de apariencia aceitosa poco definidas o extensivas en nervadura, pecíolo y tallo	2	11 - 20
Clorosis y mosaico en algunas hojas nuevas, manchas de apariencia aceitosa, bien definidas y extensivas sobre nervadura, pecíolo y tallo	3	21 - 40
Clorosis en la mayoría de hojas nuevas, amarillamiento y distorsión del cogollo, deformación de hojas, presencia de manchas circulares concéntricas en frutos	4	41 - 60
Reducción de lámina foliar, clorosis y mosaico en todas las hojas, plantas débiles; frutos escasos, deformados con manchas circulares concéntricas	5	61 - 80
Plantas achaparradas, con pocos frutos y follaje; plantas muertas	6	81 - 100

<sup>†</sup> Escala modificada de Hernández *et al.* (2000) ♦ Scale modified from Hernández *et al.* (2000).

expresada en porcentaje;  $n$  es el número de plantas enfermas por repetición en una fecha determinada;  $N$  es el total de plantas por repetición. La severidad de la enfermedad por repetición se calculó con una escala nominal de seis valores (Cuadro 1). El punto medio porcentual de cada clase de la escala se utilizó para calcular la severidad promedio por repetición por fecha al aplicar la fórmula  $IS = (\Sigma(X*n)) / N$ , donde,  $IS$  es el índice de severidad en porcentaje;  $X$  es la severidad de la enfermedad en porcentaje;  $n$  es el número de plantas enfermas por repetición en una fecha determinada;  $N$  es el total de plantas por repetición.

Los datos fueron transformados con:  $\log$  (intensidad),  $\log$  ( $1/(1-intensidad)$ ),  $\log$  (intensidad/(1-intensidad)) y  $-\log(-\log$  (intensidad)) para calcular el ajuste de la incidencia o severidad en el tiempo a los modelos exponencial, monomolecular, logístico y Gompertz (Campbell y Madden, 1990). Para evitar pérdida de datos con logaritmo de cero, a los datos porcentuales de incidencia y severidad se sumó 0.5 y dividió en  $100+1$  (Haldane, 1955). El modelo matemático con mayor ajuste fue seleccionado con base en el mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ), menor suma de cuadrados del error y dispersión aleatoria de valores residuales contra predichos. La comparación entre las tasas de severidad se realizó con base en el modelo logístico.

La intensidad de epidemias se determinó mediante el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (*abcpe*), calculada con el método de integración trapezoidal (Campbell y Maden, 1990). El tiempo de inicio de la epidemia ( $Y_o$ ), la intensidad promedio ( $Y_p$ ) y la intensidad final ( $Y_f$ ) se usaron para comparar las epidemias mediante análisis de varianza con el procedimiento GLM. Las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para calcular el rendimiento se usó la fórmula:  $R = (nf*pf)*np$ , donde,  $R$  es el rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ );  $nf$  es el número de frutos amarrados por planta;  $pf$  es el peso de frutos (kg);  $np$  es la densidad final de plantas  $ha^{-1}$  al inicio de la cosecha. Con los datos de rendimiento se hizo un análisis de varianza y una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los análisis estadísticos se hicieron con SAS v 9.1 (SAS, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas que promediaron las seis repeticiones del progreso de la incidencia y severidad en el MIP se ajustaron 100 % a los modelos logístico y exponencial. Con el MIZ, 83 % de las curvas de incidencia se ajustaron al modelo logístico y 17 % al exponencial, mientras que 66 % de las curvas de severidad fueron descritas por el modelo logístico y 34 % por el exponencial. Con el MR, todas las curvas de incidencia y severidad fueron descritas por los modelos logístico y Gompertz. Sin embargo, los modelos que mejor

date, applying the formula  $IS = (\Sigma(X*n)) / N$ , where  $IS$  is the index of severity in percentage;  $X$  is the severity of the disease in percentage;  $n$  is the number of diseased plants per replicate on a determined date;  $N$  is the total of plants per replicate.

The data were transformed with:  $\log$  (intensity),  $\log$  ( $1/(1-intensity)$ ),  $\log$  (intensity/(1-intensity)) and  $-\log(-\log$  (intensity)) to calculate the fitting of the incidence or severity in time to the exponential, monomolecular, logistic and Gompertz models (Campbell and Madden, 1990). To avoid loss of data with logarithm of zero, 0.5 was added to the percent data of incidence and severity, and was divided by  $100+1$  (Haldane, 1955). The mathematical model with the best fit was selected based on the highest coefficient of determination ( $R^2$ ), lowest sum of squares of the error and random dispersal of residual values against predicted ones. The comparison among severity rates was made based on the logistic model.

The intensity of epidemics was determined through the area under the disease progress curve (*audpc*), calculated with the trapezoidal integration method (Campbell and Madden, 1990). The starting time of the epidemic ( $Y_o$ ), average intensity ( $Y_p$ ) and final intensity ( $Y_f$ ) were used to compare the epidemics through analysis of variance with the GLM procedure, followed by means comparison with Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Yield was calculated with the formula  $R = (nf*pf)*np$ , where  $R$  is the yield ( $kg\ ha^{-1}$ );  $nf$  is the number of fruits formed per plant;  $pf$  represents fruits weight (kg);  $np$  is the final density of plants  $ha^{-1}$  at the start of harvest. With yield data, an analysis of variance and a Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) were performed. The statistical analyses were done with SAS v 9.1 (SAS, 2004).

## RESULTS AND DISCUSSION

All curves averaging six replicates of incidence and severity progress in MIP, fitted 100 % to the logistic and exponential models. With MIZ, 83 % of incidence curves fitted the logistic and 17 % the exponential model, while 66% of the severity curves were described by the logistic and 34 % the exponential model. With MR, all of the curves of incidence and severity were described by the logistic and Gompertz models. However, the models that best fitted each epidemic presented an  $R^2 \geq 0.84$ , a sum of squares of the error  $\leq 18.903$  (Table 2) and a random dispersion of residual against predicted values.

The logistic model served as a base to compare the incidence of PRSV-P in MIP, MIZ and MR (Table 2). The highest mean infection rate of incidence was present in MR (0.054) and the lowest in MIP

ajustaron cada epidemia presentaron un  $R^2 \geq 0.84$ , una suma de cuadrados del error  $\leq 18.903$  (Cuadro 2) y una dispersión aleatoria de los valores residuales contra predichos.

El modelo logístico sirvió de base para comparar la incidencia del PRSV-P en el MIP, MIZ y MR (Cuadro 2). La tasa de infección promedio más alta de incidencia se presentó en el MR (0.054) y la menor en el MIP (0.031). La estrategia de manejo integral del papayo complementada con barreras vegetales (MIP) disminuyó la tasa de infección del PRSV-P en 42 %, comparada con el MR. Los valores de las tasas de infección coincidieron con los reportados por Mora-Aguilera *et al.* (1993) en Veracruz (0.021 a 0.082), quienes observaron que el modelo logístico explicó la incidencia en 38 % de las 60 epidemias del PRSV-P.

Las tasas de severidad para el modelo logístico con mayor ajuste fueron 0.023 con MIP, 0.026 con MIZ (Cuadro 2) y 0.029 con MR, lo cual muestra cómo el MIP disminuyó la severidad en 11.53 % y 20.68 % comparado con el MIZ y MR. Estos resultados confirman los obtenidos por Hernández-Castro *et al.* (2004), quienes encontraron las menores tasas de severidad en una estrategia de manejo integral del papayo que incluyó barreras vegetales de maíz y erradicación temprana de plantas enfermas por el PRSV-P en Veracruz.

El MR presentó una severidad tipo Gompertz explicada por una serie de infecciones derivadas de las primeras plantas enfermas, con una tasa máxima en la mitad de la curva de la epidemia y una severidad final de 69 %. Al aplicar un manejo integral del

(0.031). The integrated management strategy of papaya complemented with plant barriers (MIP) reduced the infection rate of PRSV-P by 42 %, with respect to MR. The infection rate values coincided with those reported by Mora-Aguilera *et al.* (1993) in Veracruz (0.021 to 0.082), who observed that the logistic model explained the incidence in 38 % of 60 PRSV-P epidemics.

The severity rates for the logistic model with best fit were 0.023 with MIP, 0.026 with MIZ (Table 2) and 0.029 with MR, which shows how MIP decreased severity by 11.53 % and 20.68 % with respect to MIZ and MR. These results confirm those obtained by Hernández-Castro *et al.* (2004), who found the lowest severity rates in an integral management strategy of papaya which included corn barriers and early eradication of plants infected by PRSV-P in Veracruz.

The MR presented a Gompertz type severity explained by a series of infections derived from the first diseased plants, with a maximum rate in the middle of the epidemic curve and a final severity of 69 %. When an integral management was applied to the papaya without corn barriers (MIZ), the severity curve form was modified to a logistic model, implying a delay in the expression of the severity of the first diseased plants, while its final severity was intermediate (46 %), that is, plants presented damage 26 % lower with respect to MR. The greatest change of form in the severity curve was observed upon adding corn barriers to the integral management (MIP), which resulted in a late exponential epidemic, with a series of infections that increased geometrically,

**Cuadro 2. Modelos epidemiológicos que caracterizan el progreso de la incidencia y severidad del virus mancha anular del papayo (PRSV-P) en las técnicas de manejo integral del papayo con barreras de maíz (MIP), manejo integral sin barreras de maíz (MIZ) y manejo regional (MR) en Soledad de Doblado, Veracruz, México.**

**Table 2. Epidemiological models characterizing the progress of papaya ring spot virus (PRSV-P) incidence and severity under integral management of papaya with corn barriers (MIP), integral management without corn barriers (MIZ) and regional management (MR) techniques in Soledad de Doblado, Veracruz, México.**

Tratamiento	Intensidad	R <sup>2</sup>	Modelo <sup>a</sup>	Ecuación	Suma de cuadrados del error
MIP	Incidencia	0.92	Logístico	$\ln(y/(1-y)) = 0.031 \tau - 6.672$	14.793
MIZ	Incidencia	0.92	Logístico	$\ln(y/(1-y)) = 0.035 \tau - 6.751$	18.903
MR	Incidencia	0.97	Logístico	$\ln(y/(1-y)) = 0.054 \tau - 6.386$	11.664
MIP	Severidad	0.84	Exponencial	$\ln(y) = \ln(-6.416) + 0.021 \tau$	14.433
MIZ	Severidad	0.92	Logístico	$\ln(y/(1-y)) = 0.026 \tau - 6.334$	9.384
MR	Severidad	0.98	Gompertz	$-\ln(-\ln(y)) = 0.013 \tau - 1.926$	0.618

Se presenta la epidemia promedio de seis repeticiones ♦ The epidemic shown is an average from six replications.

papayo sin barreras de maíz (MIZ) se modifica la forma de la curva de severidad a un modelo logístico, lo que implica un retraso en la expresión de la severidad de las primeras plantas enfermas, mientras que su severidad final fue media (46 %), es decir, las plantas presentaron un daño 26 % menor, comparada con el MR. El mayor cambio de forma en la curva de severidad se observó al adicionar barreras de maíz al manejo integral (MIP), que resultó en una epidemia exponencial tardía, con una serie de infecciones que incrementaron de manera geométrica, a más de cuatro meses del trasplante y que sólo alcanzaron 35 % de severidad, es decir 34 % menos que el MR.

El análisis de varianza y la comparación de medias de los parámetros epidemiológicos y variables de incidencia y severidad del PRSV-P en los tres tratamientos de manejo del cultivo se observan en el Cuadro 3. Los valores de las variables de incidencia y severidad ( $Y_o$ ,  $Y_f$ ,  $Y_p$  y  $abcpe$ ) para el MIP y MIZ contrastaron significativamente con los registrados en el MR. Además, el MIP presentó valores significativamente menores de incidencia y severidad final, promedio y  $abcpe$  en relación al manejo integral sin barreras. Con el manejo integral (MIP o MIZ) se logró retrasar el inicio de la epidemia hasta los 72 ddt, mientras que en el MR la enfermedad inició a los 42 ddt. Aun cuando en los tratamientos de manejo integral las epidemias iniciaron de forma casi simultánea (Figura 1), las barreras de maíz indujeron una respuesta consistente a través del tiempo, lo que se reflejó en epidemias más lentas a partir de los

more than four months after transplant and that only reached 35 % severity, that is, 34 % lower than MR.

Analysis of variance and means comparison of the epidemiological parameters and variables of incidence and severity of PRSV-P for the three crop management treatments are observed in Table 3. Values of incidence and severity ( $Y_o$ ,  $Y_f$ ,  $Y_p$  and  $abcpe$ ) variables for MIP and MIZ contrasted significantly with those registered in MR. Furthermore, MIP presented values significantly lower on final and mean incidence and severity, and  $abcpe$  in relation to integral management without barriers. With integral management (MIP or MIZ) it was possible to delay the onset of the epidemic until 72 dat, whereas in MR the disease began at 42 dat. Even when in the integral management treatments the epidemics started almost simultaneously (Figure 1), corn barriers induced a consistent response across time, reflected in slower epidemics after 147 dat. In MR, the totality of plants became infected two months before the end of the experiment (Figure 1), while in the integral management systems only 81 % to 94 % of the plants had fallen ill at the end of the experiment (238 dat) (Table 3).

The disease behavior agrees with previous findings by Mora-Aguilera *et al.* (1993) in the Central Coastal region of Veracruz. These authors report an average final incidence of 82 % at 209 dat, which has been responsible for the change in the fruit tree management from a bi or tri-annual system to an annual one, which has implied an increment in

**Cuadro 3. Análisis de varianza y comparación de medias de la incidencia y severidad de epidemias del virus de la mancha anular del papayo (PRSV-P) en los sistemas de manejo integral del papayo con barreras de maíz (MIP), manejo integral sin barreras de maíz (MIZ) y manejo regional (MR) en Soledad de Doblado, Veracruz, México.**

**Table 3. Analysis of variance and means comparison of incidence and severity of papaya ring spot virus (PRSV-P) epidemics under the integral management of papaya with corn barriers (MIP), integral management without corn barriers (MIZ) and regional management (MR) systems in Soledad de Doblado, Veracruz, Mexico.**

Tratamientos	Incidencia				Severidad			
	$Y_o$ (ddt)	$Y_f$ (%)	$abcpe$ (% d <sup>-1</sup> )	$Y_p$ (%)	$Y_o$ (ddt)	$Y_f$ (%)	$abcpe$ (% d <sup>-1</sup> )	$Y_p$ (%)
MIP	96.83 a <sup>†</sup>	80.96 c	4228.80 c	18.41 c	108.50 a	35.66 c	1621.10 c	7.12 c
MIZ	79.33 a	94.11 b	5411.70 b	23.43 b	107.33 a	43.00 b	2734.70 b	11.77 b
MR	49.00 b	100.00 a	11766.40 a	49.45 a	49.00 b	69.00 a	7002.00 a	29.56 a

$Y_o$  = inicio de epidemias (ddt = d después del trasplante);  $Y_f$  = incidencia final;  $abcpe$  = área bajo la curva de progreso de la enfermedad,  $Y_p$  = incidencia promedio. Promedio de seis repeticiones.  $\diamond Y_o$  = beginning of epidemics (ddt = d after transplant);  $Y_f$  = final incidence;  $abcpe$  = area under the disease progress curve;  $Y_p$  = average incidence. Average from six replications.

<sup>†</sup> Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.0001$ )  $\diamond$  Means with different letter in a column are statistically different ( $p \leq 0.0001$ ).

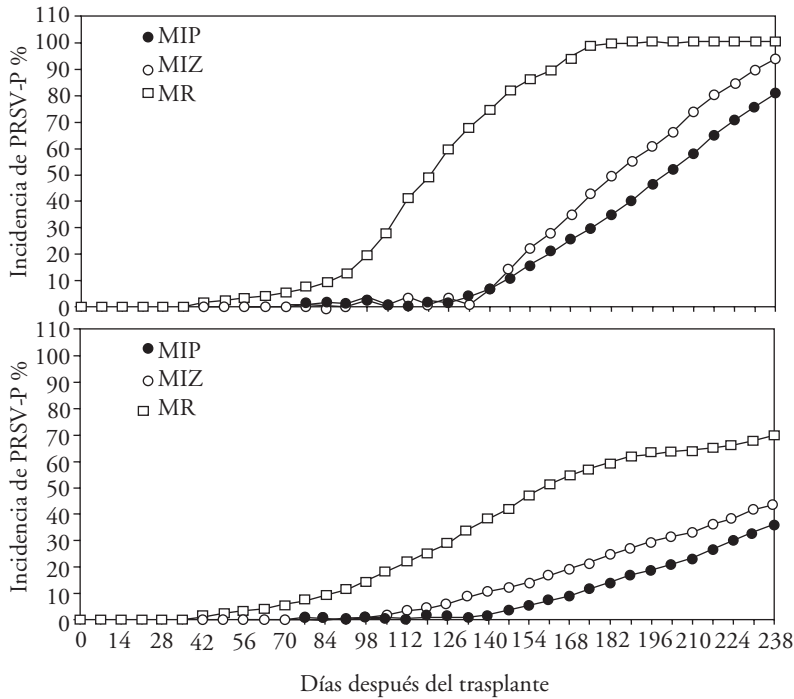


Figura 1. Desarrollo de la incidencia y severidad promedio del virus mancha anular del papayo (PRSV-P) en una plantación de papayo cv Maradol roja con manejo integral del cultivo complementado con barreras vegetales (MIP), manejo integral sin barreras (MIZ) y manejo regional (MR) en Soledad de Doblado, Veracruz, México.

Figure 1. Development of incidence and mean severity of papaya ring spot virus (PRSV-P) in a papaya orchard cv. Red Maradol with integral management of the crop complemented with plant barriers (MIP), integral management without barriers (MIZ) and regional management (MR) in Soledad de Doblado, Veracruz, México.

147 ddt. En el MR, la totalidad de plantas enfermó dos meses antes de terminar el experimento (Figura 1), mientras que en los sistemas de manejo integral sólo habían enfermado de 81 a 94 % de las plantas al finalizar el mismo (238 ddt) (Cuadro 3).

El comportamiento de la enfermedad concuerda con lo encontrado previamente por Mora-Aguilera *et al.* (1993) en la región Central Costera de Veracruz, quienes reportaron una incidencia final promedio de 82 % a los 209 ddt, la cual ha sido la responsable del cambio de manejo del frutal de un sistema bi o tri-anual a un anual, lo que ha implicado un aumento en los costos de producción. Sin embargo, la velocidad de las epidemias e incidencia final fueron más bajas que las reportadas por Rivas-Valencia *et al.* (2003), quienes evaluaron las mismas variables epidemiológicas en cuatro variedades de papaya bajo manejo integral con barreras vegetales, altas densidades de plantación, erradicación temprana de plantas enfermas, aspersión con citrolina y vivero protegido, en Nueva Italia, Michoacán, México. Este tipo de epidemias recurrentemente hacen que las huertas de papayo tengan que ser eliminadas a pocos meses de haberse establecido, con pérdidas totales para el productor.

Al comparar el MIP y MIZ, se observó que las barreras vegetales contribuyeron a mejorar la eficiencia del MIP en 13.97 % y redujeron la severidad final a 35.66 %, lo cual equivale a tener plantas más

production costs. However, epidemics velocity and final incidence were lower than those reported by Rivas-Valencia *et al.* (2003), who evaluated the same epidemiological variables in four varieties of papaya under integral management with plant barriers, high planting densities, early eradication of diseased plants, spraying with citrolina oil and protected nursery, in Nueva Italia, Michoacán, México. This type of epidemics recurrently makes the need to eliminate papaya orchards only a few months after being established, meaning total losses for the producer.

When comparing MIP and MIZ, it was observed that the plant barriers contributed to improving the efficiency of MIP by 13.97 % and reduced final severity to 35.66 %, which is equivalent to having more vigorous plants due to severity reduced by half in plots with integral management compared with those of regional management. Not having agronomic management tactics that favorably affect health and productivity of the crop, such as plant barriers, nursery protection and the use of high densities in MR, caused a quicker disease development with higher intensity and to obtain the lowest yield (21 153 kg ha<sup>-1</sup>) (Table 4).

Aphids vectoring PRSV-P do not colonize in papaya plants (Villanueva-Jiménez and Peña-Martínez, 1991), thus the amount of viral infections



vigorosas por presentar una severidad reducida a la mitad en parcelas de manejo integral comparadas con las de manejo regional. El no contar con tácticas de manejo agronómico que incidan favorablemente en la sanidad y la productividad del cultivo, como son la presencia de barreras vegetales, protección del vivero y uso de densidades altas, causaron que en el MR la enfermedad desarrollara con mayor rapidez e intensidad y obtuviera el menor rendimiento (21 153 kg ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 4).

Los áfidos transmisores del PRSV-P no colonizan en plantas de papayo (Villanueva-Jiménez y Peña-Martínez, 1991), por lo que la cantidad de infecciones virales depende de que el insecto sea portador del virus y del número de pruebas de alimentación que éste realice en papayo antes de identificar a su hospedero más cercano para establecerse en él (Mora-Aguilera *et al.*, 1993, Rabara *et al.*, 1996). Estos resultados confirman la utilidad de usar barreras de especies vegetales que permitan interferir con la tasa de dispersión del virus, al promover la limpieza del estilete de los vectores y modificar su comportamiento de vuelo, sin que estas plantas se constituyan en hospedantes del virus, como señalan GIP (1994), Opina y Tomines (1996), y Shelton y Badenes-Perez (2006). Además, el MIP es un sistema que favorece la rentabilidad, debido a que las barreras vegetales y la alta densidad de plantación contribuyen positivamente a su sanidad y productividad, con rendimientos 76.3 a 94.4 % superiores a los logrados con el manejo regional aplicado por productores de la zona Centro de Veracruz. Hernández-Castro *et al.* (2006) compararon la información económica de tres parcelas bajo MIP, con las de manejo regional en experimentos similares al presente en la región Central Costera de Veracruz de 1998 a 2001. La relación beneficio/costo de las parcelas con manejo regional, si bien fueron buenas (1.58 a 1.89), fueron inferiores a las que incorporan el manejo integral (2.62 a 3.69).

Debido a que las barreras vegetales deben estar presentes desde el transplante y hasta el amarre de frutos, se requiere adaptar esta práctica cultural a cada condición agroecológica, al considerar las distancias entre barreras, la frecuencia del intercalado, el desfase de siembra para el mantenimiento continuo de las mismas y la densidad de siembra. Además, se sugiere evaluar otras gramíneas como el sorgo (*Sorghum vulgare* L.) para grano, forraje o escobero, que ofrecen amplias posibilidades de funcionar

**Cuadro 4. Estimación del rendimiento de una plantación de papayo (*Carica papaya*) cv. Maradol roja, en manejo integral del papayo con barreras de maíz (MIP), manejo integral del papayo sin barreras de maíz (MIZ) y manejo regional (MR) en Soledad de Doblado, Veracruz, México.**

**Table 4. Estimated yield of papaya orchards (*Carica papaya*) cv. Red Maradol, under integral management of papaya with corn barriers (MIP), integral management of papaya without corn barriers (MIZ) and regional management (MR) in Soledad de Doblado, Veracruz, México.**

Tratamientos	Núm. promedio de frutos por planta	Peso promedio de frutos (kg)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
MR	4.1	2.2	21 153 b <sup>†</sup>
MIP	6.8	2.1	41 121 a
MIZ	5.1	2.0	38 178 a

<sup>†</sup> El rendimiento se calculó con el número de frutos y el peso promedio de los frutos al primer corte ♦ Yield was calculated using the number of fruits and the average weight of fruits at the first cut.

<sup>‡</sup> Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Means with different letter in a column are statistically different ( $p \leq 0.05$ ).

depends on the insect being carrier of the virus and the number of feeding tests it makes in the papaya plant before identifying its closest host in which to establish itself (Mora-Aguilera *et al.*, 1993, Rabara *et al.*, 1996). These results confirm the usefulness of plant barriers to allow interfering on the dispersion rate of the virus, by promoting the cleanliness of vectors stylet and modifying their flight behavior, preventing these plants from becoming virus hosts, as indicated by GIP (1994), Opina and Tomines (1996), and Shelton and Badenes-Perez (2006). Furthermore, MIP is a system that favors profitability, because plant barriers and high planting density contribute positively to its health and productivity, with yields 76.3 to 94.4 % higher than those achieved with regional management applied by growers of the Central zone of Veracruz. Hernández-Castro *et al.* (2006) compared the economic information of three plots under MIP with those of regional management in experiments similar to the present one in the Central Coastal region of Veracruz from 1998 to 2001. The benefit/cost relationship of plots with regional management, although good (1.58 to 1.89), was inferior to those that incorporated integral management (2.62 to 3.69).

como barreras en la estrategia MIP y contribuir a su diversificación y eficiencia.

## CONCLUSIONES

La estrategia de manejo integral del papayo complementada con barreras de maíz (MIP) disminuyó la tasa de infección del PRSV-P en 42 % y la severidad final en 20.68 % respecto al manejo regional (MR). Asimismo, promovió mayor cantidad de plantas sanas y de mayor vigor respecto al manejo integral que carecía de barreras de maíz (MIZ). La presencia de barreras de maíz permitió retrasar la enfermedad, con incidencias de 80 % y severidad de 35 % a los 238 ddt, mientras que en el manejo regional se presentó una mayor tasa epidémica, con 100% de incidencia y 60 % de severidad alcanzada a los 175 ddt. Además, el MIP incrementó el rendimiento en 94.40 % respecto al MR.

## LITERATURA CITADA

- Campbell, C. L., and L. V. Madden. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons. New York, USA. 532 p.
- Delgadillo S. F. 2000. Criterios para el control de virus en hortalizas. In: Bautista M., N., A. D. Suárez V., y O. Morales G. (eds). Temas Selectos en Fitosanidad de Hortalizas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. pp: 134-140.
- Dolinski, C., and L. A. Lacey. 2007. Microbial control of arthropod pests of tropical tree fruits. Neotropical Entomol. 36: 161-179.
- FAOSTAT. 2008. FAO Statistical Databases & Data-sets. Food and Agriculture Organization of the United Nations. faostat.fao.org. (Consultado: junio, 2008).
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 244 p.
- GIP (Grupo Interdisciplinario del Papayo: L. Arenas, C. Ávila, E. Cárdenas, J. Etchevers, C. Flores, E. García, V. González, L. Matheis, A. Mora, G. Mora, D. Nieto, D. Riestra, D. Téliz, J. Velázquez, y J. Villanueva). 1992. La virosis del papayo en Veracruz: etiología y control. In: Memoria de la Quinta Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz. INIFAP. Veracruz, México. pp: 62-71.
- GIP (Grupo Interdisciplinario del Papayo: H. Andrade, C. Ávila, E. García, A. Mora, D. Nieto, D. Téliz, y J. Villanueva). 1994. La mancha anular del papayo en Veracruz, México y su manejo integral. In: Memoria de la Séptima Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz. INIFAP. Veracruz, México. pp: 87-92.
- GIP (Grupo Interdisciplinario del Papayo: C. Flores-Revilla, E. García, D. Nieto-Ángel, D. Téliz-Ortiz, and J. A. Villanueva-Jiménez). 1995. Integrated management of papaya in México. Acta Hort. 370: 151-158.

Because plant barriers should be present from transplant up to fruit set, it is necessary to adapt this cultural practice to each agroecological condition, considering appropriate distances between barriers, frequency of intercropping, the sowing gap of both crops in relation to their continuous maintenance and planting density. In addition, an evaluation of other grasses such as sorghum (*Sorghum vulgare* L.) for grain, forage or broom is suggested, which offer great possibilities of serving as barriers in the MIP strategy and contributing to their diversification and efficiency.

## CONCLUSIONS

The strategy of integral management of papaya complemented with corn barriers (MIP) reduced the infection rate of PRSV-P by 42 % and final severity by 20.68 % with respect to regional management (MR). In addition, it promoted a higher amount of healthy plants with greater vigor compared to the integral management without corn barriers (MIZ). The presence of corn barriers made it possible to delay the disease, with incidences of 80 % and severity of 35 % at 238 dat, whereas regional management had a higher epidemic rate, with 100 % incidence and 60 % severity at 175 dat. Furthermore, MIP increased yield by 94.40 % with respect to MR.

—End of the English version—

-----\*-----

- Haldane, J. B. S. 1955. The estimation and significance of the logarithm of a ratio of frequencies. Ann. Human Genet. 20: 309-314.
- Hernández C. E., D. Riestra, E. García P., L. D. Ortega y R. Mosqueda V. 2000. Respuesta del virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) en tres sistemas de manejo. Rev. Manejo Integrado de Plagas 58: 20-27.
- 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-Aguilera. 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., N. E. D. Marín-Lara, y J. A. Villanueva-Jiménez. 2005a. Malla de polipropileno para prevenir los

- daños del virus de la mancha anular en semilleros de papayo (*Carica papaya* L.) cv. Maradol roja. Manejo Integrado de Plagas y Agroecol. 74: 59-64.
- Hernández-Castro, E., V. Utrera L., J. A. Villanueva-Jiménez, D. A., Rodríguez-Lagunes, y M. M. Ojeda-Ramírez. 2005b. Extractos de neem en el comportamiento de *Aphis nerii* y la transmisión del virus de la mancha anular del papayo. J. Agric. Univ. Puerto Rico 89: 75-84.
- Hernández-Castro, E., J. Reta-Mendiola, A. L. Del Ángel-Pérez, J. A. Villanueva-Jiménez, y D. Riestra-Díaz. 2006. Comparación productiva, económica y energética de dos estrategias de manejo en el cultivo de papayo cv Maradol roja, en la zona Central de Veracruz. In: Restrepo H., J. F., C. I. Muñoz V, y M. A. Murillo T. (eds). VI Seminario Internacional de Frutas Tropicales. Manizales, Colombia. 12 p.
- INEGI. 1995. Enciclopedia de los Municipios: Veracruz. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Historia. México, D.F. 269 p.
- Kalleshwaraswamy, C. M., and N. K. Krishna-Kumar. 2008. Transmission efficiency of papaya ringspot virus by three aphid species. Phytopathology 98: 541-546.
- Mora-Aguilera, G., D. Nieto-Angel, D. Teliz, and C. L. Campbell. 1993. Development of a prediction model for papaya ringspot in Veracruz, Mexico. Plant Dis. 77: 1205-1211.
- Mora-Aguilera, G., D. Nieto-Angel, C. L. Campbell, D. Téliz, and E. Garcia. 1996. Multivariate comparison of papaya ringspot epidemics. Phytopathology. 86: 70-78.
- Opina, O. S., and R. L. Tomines. 1996. Management of papaya Ringspot by isolation and intercropping of papaya. Philip. Phytopathol. 32: 51-56.
- Pérez Madrigal, J. E., D. Riestra D., R. Mosqueda V., D. A. Rodríguez L., J. A. Villanueva-Jiménez, E. García P., y E. Hernández C. 2000. Extractos acuosos de nim *Azadirachta indica* A. Juss en el manejo integrado del papayo *Carica papaya* L. Rev. Chapingo Serie Hort. 6: 81-89.
- Perring, T. M., N. M. Gruenhagen, and C. A. Farrar. 1999. Management of plant viral diseases through chemical control of insect vectors. Ann. Rev. Entomol. 44: 457-481.
- Pozo C. O. 1994. El tratamiento integrado de virosis en el cultivo de chile. Rev. Univ. Cristóbal Colón 11: 65-91.
- Rabara, R. C., L. D. Valencia, A. C. Sumalde, N. B. Bajet, and V. N. Villegas. 1996. Correlation between aphid abundance and ringspot virus disease incidence in papaya. Philip. J. Crop Sci. 21: 58-60.
- Rivas-Valencia, P., G. Mora-Aguilera, D. Teliz-Ortiz, and A. Mora-Aguilera. 2003. Influence of cultivars and plant densities on epiphytotic of papaya (*Carica papaya* L.) ringspot. Rev. Mex. Fitopatol. 21: 109-116.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide, Volumes 1-7. SAS Publishing, USA. 5180 p.
- Shelton, A. M., and F. R. Badenes-Perez. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management. Ann. Rev. Entomol. 51: 285-308.
- SIAP. 2008. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. www.siap.sagarpa.gob.mx. (Consultado: junio, 2008).
- Villanueva-Jiménez, J. A., y R. Peña-Martínez. 1991. Áfidos (Homoptera: Aphididae) colectados en trampas amarillas de agua en la planicie costera de Veracruz, México. Agrociencia Serie Protección Vegetal 2: 7-20.