

MODELOS PARA PREDECIR PÉRDIDAS por VIRUS EN JITOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

MODELS FOR PREDICTING CROP LOSSES by VIRUS IN TOMATO (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

**Sergio Ramírez Rojas^{1*}, Felipe de Jesús Osuna Canizales¹, Jaime Canul Ku¹,
Faustino García Pérez¹, Gustavo Mora Aguilera²**

¹INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. Km 0.5 carretera Zacatepec-Galeana, Zacatepec, Mor. CP 62780. Correo-e: sergioinifap@yahoo.com.mx, fosuna@colpos.mx, canulku2001@yahoo.com, garcia.faustino@yahoo.com.mx

²Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km 31 carretera México – Texcoco. CP 56230, Montecillo, Estado de México.

*Autor para correspondencia.

RESUMEN

El jitomate es la principal hortaliza de Morelos y los virus son su principal problema fitosanitario, por lo cual se desarrollaron modelos de predicción de pérdidas de este cultivo y se validaron en cinco parcelas comerciales. Estos se desarrollaron con datos de experimentos conducidos en tres fechas de siembra; en cada experimento se evaluaron cuatro métodos de control de virosis con cuatro repeticiones. Los datos de severidad del daño y de altura de planta se tomaron cada 15 días después del trasplante. Los modelos de predicción se obtuvieron mediante el procedimiento GLM de SAS, utilizando los datos de los tres experimentos obtenidos. Como variable independiente se

utilizó el índice de daño; el rendimiento y las pérdidas, como variables dependientes. Los modelos con mayor coeficiente de determinación ($r^2 \geq 0.96$) y significancia ($P \geq 0.0001$), correspondieron a la etapa Fenológica 2, de las tres fechas de siembra. Para validar los modelos, se utilizó la altura de planta, la severidad y el rendimiento de cinco parcelas comerciales, se realizaron análisis de regresión lineal de los rendimientos de las parcelas y los rendimientos estimados por los modelos obtenidos en las tres fechas de siembra. Los modelos que resultaron con mayor r^2 (0.98) y significancia ($P \geq 0.0006$) fueron los de la Etapa fenológica 3.

Palabras clave: Modelos de predicción, rendimiento, pérdidas de cosecha, *Lycopersicon esculentum*, virus del jitomate.

ABSTRACT

Tomato yield and loss forecast models were developed and validated in five commercial production plots in Morelos State, México, during 2004. These models were fueled with data from three experiments led in three different dates; in each experiment four control tactics were evaluated (treatments), with four replications. Virus damage severity data (here on "severity") and data about plant's eight were registered every 15th day after transplanting. The forecasting models were obtained by analyzing the results through the SAS's GLM procedure, utilizing data of the three experiments in six tomato phenologic stages. The useful independent variable was the damage index (the product of the *severity* per the plant's height); the independent variables were the yield and losses. Models with the bigger determination coefficient r^2 (0.96) and significance P (0.0001), corresponded to the 2nd phenologic stage in the three planting dates. In order to measure reliability of the models obtained from those experiments, plant eight and severity in six phenologic stages data were used, plus the total yield in five commercial plots. Actual yield linear regression analysis of the commercial plots and that estimated with our models were made for the three sowing dates. Models resulting with the highest r^2 (0.98) and significance ($p \geq 0.0006$) were those of the 3th phenologic stage in the three planting dates.

Key words: Modeling, forecasting, yield, *Lycopersicum esculentum*, crop loss.

INTRODUCCIÓN

Hasta 1987, el jitomate fue la hortaliza más importante en el estado de Morelos (Bustamante *et al.*, 1999), posteriormente, en la producción de esta solanácea se hizo evidente el efecto de una enfermedad viral llamada "chino del

jitomate" (Oniki *et al.*, 1998); cuyo daño es severo en otoño-invierno. En este complejo viral se encuentran involucrados geminivirus (Takanami *et al.*, 1998), en especial *Pepper Huasteco Yellow Vein Virus* (PHYVV) y los virus de ARN, en particular *Tomato Spotted Wilt Tospovirus* (TSWV), *Tobacco Mosaic tobamovirus* (TMV), *Cucumber Mosaic Cucumovirus* (CMV), *Tobacco Etch Potyvirus* (TEV) y *Alfalfa Mosaic Alfamovirus* (AMV) (Ramírez *et al.*, 2001).

A la fecha se han utilizado varios modelos para describir, explicar y predecir rendimientos y pérdidas de producción debidas a daños causados por hongos (Wright y Gaunt, 1992; Teng y Gaunt, 1980). Estudios de estimación de pérdidas de producción atribuidas a una infección viral no se han abordados extensamente (McKirdy *et al.*, 2002). La principal dificultad para ello es la naturaleza sistémica de la infección. En enfermedades con infección no sistémica, como las causadas por muchos hongos, el daño puede medirse en términos de severidad y asociar ésta a un nivel de producción. La medida de severidad que se emplea en este caso es cuantitativa y relaciona el área dañada con respecto al total de un órgano o tejido vegetal.

En enfermedades virales no se puede generar este tipo de medición y se reemplaza por escalas arbitrarias de tipo nominal, los cuales no permiten realizar correlaciones con producción. En general, la ausencia de una variable de severidad cuantitativa se ha subsanado, en virus, con el cálculo de variables compuestas que estimen el efecto de una infección en términos de daño. En el primer caso se ha empleado la combinación de valores de escalas nominales con una medida de vigor de la planta, como altura (Mora *et al.*, 1990) o la duración total de una infección sistémica (Mora *et al.*, 1989; Mora *et al.*, 2005). En ambos casos se emplea información de intensidad de enfermedad y producción por planta. El efecto de la duración de la infección sistémica en

plantas, indirectamente se ha demostrado con estudios de cubiertas flotantes (Alamilla et al., 1999), lo que justifica el uso de este principio para elaborar modelos de estimación de pérdidas. Los modelos con este tipo de variables han permitido caracterizar el efecto del Watermelon mosaic 2 *potyvirus* (WMV-2), un *potyvirus* y una mezcla de virus de un *geminivirus* y un *potyvirus* en la producción de *Citrus lanatus*, *Vicia faba* y *Capsicum annum*, respectivamente (Mora et al., 2005). La importancia de estos estudios permiten establecer los períodos críticos de una infección con efectos en el vigor y, en consecuencia, en la producción. Esto es relevante, ya que el manejo de este tipo de enfermedades es complejo y se requiere comprender los períodos de protección, en caso de control de vectores y fechas potenciales de siembra. En el jitomate, los productores de Morelos no disponen de variedades resistentes a esta enfermedad, por lo que para su control realizan hasta 20 aplicaciones de agroquímicos a intervalos cortos y muchas veces mezclando varios de ellos (Oniki et al., 1998). Si se dispone de información que ayude a optimizar el control, con respecto a potenciales pérdidas de producción, se podrá mejorar la sustentabilidad del cultivo.

La estimación confiable de pérdidas es un elemento indispensable para el desarrollo eficiente de un programa de investigación agrícola que considere la protección vegetal como un componente del manejo del cultivo, facilite la identificación de la importancia de las enfermedades y genere información detallada sobre pérdidas, para fijar umbrales que ayuden a decidir cuándo aplicar medidas de control (Yang et al., 1991; Campbell y Madden, 1990). Por lo anterior, se planteó el objetivo de desarrollar un modelo que ayude a predecir los rendimientos de jitomate y, en consecuencia, las pérdidas debidas a la severidad del chino del jitomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El experimento se estableció en el ciclo otoño-invierno 2004, en el Campo Experimental Zacatepec en el estado de Morelos, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) el cual se ubica a 18° 42' de latitud norte y a 99° 10' de longitud oeste, a una altitud de 917. El clima es cálido subhúmedo con invierno poco definido. Los suelos son de tipo vertisol; el terreno donde se estableció este experimento previamente se sembró con sorgo (*Sorghum bicolor* Moench).

Establecimiento de almácigo

Se utilizó semilla de jitomate cultivar Yaqui (Seminis®), de hábito de crecimiento determinado. La siembra se realizó en charolas de poliestireno con 200 cavidades (34 por 67 cm), utilizando como sustrato bagazo de caña de azúcar mezclado con fertilizante químico triple 17 (nitrogeno-fosfato-potasio) a una proporción de 50:1. Todo el desarrollo de la plántula fue bajo cubierta de malla de filamento plano tipo rashel de Polisac®, donde se mantuvo aislada de potenciales insectos vectores.

Las plántulas se regaron diariamente con agua, a la cual se le aplicó una solución nutritiva adicional consistente en 90 g de nitrato de amonio (33.5 %), 70 g de superfosfato triple (46 %) y 100 g de cloruro de potasio (60 %) por cada 200 L de agua.

Después de 15 días de la siembra se aplicó, metalaxil (2 g/L de agua), y a los 28 días se aplicó imidacloprid (0.7 mL/L de agua), con el fin de evitar enfermedades de la raíz y prevenir contra insectos.

Trasplante

El trasplante se realizó con plántulas de 30 días; la distancia entre surcos y entre plantas fue de 1.20 y 0.5 m,

respectivamente. Antes del trasplante se aplicó, en banda, la fórmula de fertilización 100-100-50 por hectárea. A los treinta días del trasplante y antes de la escarda, se fertilizó de nuevo con la fórmula 50-50-0. Los riegos por gravedad se realizaron cada ocho días.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, en donde las parcelas grandes consistieron en las tres fechas de siembra (11-octubre, 10-noviembre y 8-diciembre de 2004) y las parcelas chicas fueron las medidas de control contra el chino del jitomate. Cada parcela chica consistió de cuatro surcos de 6 de largo y la unidad experimental fueron los dos surcos centrales, eliminando las cabeceras (una planta de cada extremo del surco). Los tratamientos de control de vectores fueron: a) testigo, sin control de mosquita blanca; b) control tradicional con agroquímicos (aplicación de imidacloprid en plántula, metidation después del trasplante, imidacloprid, metidation, esfenvalerato y fenpropatrin 20, 30, 40 y 50 días después del trasplante); c) control mejorado (tres aplicaciones de imidacloprid: a la semilla, a los 15 días de la siembra y dos días antes del trasplante; metidation 20 días después del trasplante y permethrin a los 30 y 40 días después del trasplante); d) control mejorado agribón (igual que el anterior pero, además, cubierto con agribón durante los 30 días inmediatos posteriores al trasplante). El propósito de estos tratamientos fue inducir distintas intensidades de enfermedad por parcela para detectar diferencias en la producción.

Variables de respuesta evaluadas

Medición de la enfermedad

Como ya se dijo, la severidad se empleó como variable independiente en la generación de los modelos. Para este fin, se midió la severidad promedio del daño del chino del jitomate en cada una de las

parcelas, cada 15 días a partir del trasplante y correspondiendo con los estados fenológicos: crecimiento vegetativo, floración media, fructificación media, fin de fructificación media, inicio de maduración e inicio de cosecha. Un total de 10 plantas por parcela se evaluaron, utilizando la siguiente escala nominal: 6= planta sana, 5= síntomas leves de mosaico, 4= mosaico y deformación leve de las hojas, 3= planta muy deformada, 2= planta con escasa área foliar y achaparrada y 1= planta con muy pobre desarrollo (Oniki et al., 1998). La presencia de geminivirus se confirmó mediante la prueba de PCR con iniciadores generales para geminivirus (Wyatt y Brown, 1996), y con iniciadores específicos para PHV y *Pepper golden mosaic virus* (PepGMV) (Torres-Pacheco et al., 1996) aplicados a cada una de las muestras de plantas tomadas después de 40 días del trasplante. Las muestras se colectaron de ocho plantas por parcela experimental. Los virus de ARN: TSWV, TMV, CMV, TEV y AMV se detectaron utilizando pruebas serológicas en plantas seleccionadas en un muestreo aleatorio; los antisueros utilizados fueron de Agdia®, específicos para TSWV, TMV, CMV, TEV y AMV.

Rendimiento

El rendimiento se obtuvo cosechando la parcela útil (22 plantas de los dos surcos centrales) en un total de 16 parcelas para la primera y segunda fechas. Para la tercera se cosechó un total de 12 parcelas, ya que se eliminó el tratamiento mejorado agribón, debido a que el agribón propició una alta incidencia de ácaros que no se controlaron oportunamente. Los frutos podridos o de menos de 50 g de peso no se incluyeron en la producción total. La producción de cada tratamiento se transformó a toneladas por hectárea. En la primera fecha se realizaron siete cortes de fruto, en la segunda seis y en la tercera cuatro. Estas diferencias en número de cortes se debieron a las distintas intensidades de epidemia para cada fecha de cultivo.

Desarrollo del modelo y su evaluación

Para detectar diferencias de rendimiento y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) entre las tres fechas de siembra (parcelas grandes) y los cuatro tratamientos (parcelas chicas), se utilizó el procedimiento ANOVA de SAS (SAS Institute, 1998). La significancia del ANOVA implicó la comparación de medias entre fechas y medidas de control, usando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

Dado que existieron diferencias estadísticas significativas en producción y ABCPE para las tres fechas de siembra y los cuatro tratamientos, se generaron modelos de predicción para cada una de ellas. La relación cuantitativa entre la producción por parcela de cada fecha y las variables independientes severidad y la variable combinada "severidad por altura de planta" se obtuvo con el procedimiento GLM de SAS. En la generación de los modelos de pérdidas, éstas se estimaron utilizando el rendimiento máximo obtenido en los experimentos, aplicando la siguiente fórmula: $100 - [(Prod/55) \times 100]$, donde 100= %, Prod= producción de cada experimento y 55= producción máxima obtenida en los experimentos. En la generación de modelos se evaluó su capacidad de predicción con base en una sola etapa fenológica (modelo de punto simple) o varias etapas fenológicas (modelos de punto múltiple). Para este fin se estimaron los incrementos absolutos, tanto de la severidad como de la variable compuesta.

Los modelos candidatos para la fase de validación se seleccionaron considerando el coeficiente de determinación, la significancia del modelo y de los parámetros estimados.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el procedimiento GLM del programa SAS® (SAS Institute, 1998).

Establecimiento de las parcelas para validar los modelos

En el Campo Experimental de Zacatepec, Mor., se establecieron cinco parcelas de jitomate de 2000 m² cada una, en cinco fechas de siembra (21 de junio, 3 de agosto, 7 de octubre y 14 de noviembre de 2004, y 21 de mayo de 2005). En las cinco parcelas se usó el cultivar Yaqui, el mismo que se utilizó en los experimentos para desarrollar los modelos de predicción. El manejo del almácigo y el trasplante fueron similares a los del experimento diseñado para generar el modelo. La plantación fue equivalente a la del tratamiento mejorado agribón en lo que respecta al manejo de vectores potenciales. También se confirmó la presencia de los mismos virus previamente asociados al chino del jitomate en el experimento inicial. En cada etapa fenológica se tomaron datos de severidad, así como la altura de planta. La severidad se estimó utilizando la misma escala de los experimentos. La producción considerada para validar los modelos fue la obtenida de la parcela total en cinco cortes, exceptuando frutos dañados por el gusano del fruto y hongos; también se eliminaron los frutos de menos de 40 g.

Validación de los modelos

Para validar los modelos previamente generados y seleccionados por cada etapa fenológica se utilizó la producción total de las cinco parcelas comerciales. Se realizaron análisis de regresión lineal de la producción real, contra la producción estimada por los modelos. En este caso, en el modelo se sustituyó la variable independiente por el valor de la variable completa medida en cada etapa fenológica. Una medida de la precisión y exactitud de cada modelo se obtuvo con el coeficiente de determinación (r^2) y la pendiente (b_1), además del cuadrado medio del error de la correlación de la producción estimada por cada modelo para las distintas fechas de siembra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el experimento de la primera fecha de siembra, las epidemias iniciaron después de 2, 10, 28 y 44 días del trasplante para los tratamientos testigo, tradicional, mejorado y mejorado agribón, respectivamente.

En el de la segunda fecha, las epidemias iniciaron después de 2-3 días del trasplante, para los tratamientos testigo, tradicional y mejorado. En el tratamiento mejorado agribón, las epidemias iniciaron a los 28 días.

En el de la tercera fecha, las cuatro epidemias iniciaron después de 2-3 días del trasplante. La severidad final del chino fue total en el tratamiento testigo de las tres fechas de siembra. La menor incidencia final se observó en el método de control mejorado agribón (Figura 1).

En los tres experimentos, el tratamiento testigo mostró una ABCPE de 6.55, 4.96 y 1.6 veces mayor que la del tratamiento mejorado agribón. En cambio, el rendimiento, en las tres fechas, fue 4.9, 4.6 y 1.9 veces mayor en el tratamiento mejorado agribón que en el testigo (Cuadro 1), lo cual coincide con los resultados de Buchenau (1975); Schneider *et al.* (1976) y Carver y Griffiths (1981), al explicar las pérdidas por *Puccinia* sp, en trigo; por *Cercospora* sp, en chícharo de vaca (*Vigna* sp) y por *Oidium* sp, en cebada, respectivamente, utilizando el ABCPE como modelo de predicción.

La mayor ABCPE representa el mayor daño por el chino del jitomate y la menor producción, lo cual también coincide con Khan *et al.* (1997), al generar un modelo que muestra relación lineal negativa entre el rendimiento de trigo y el daño de roya de la hoja.

En el experimento de la primera fecha de siembra las epidemias iniciaron

después de 2, 10, 28 y 44 días del trasplante, para los tratamientos testigo, tradicional, mejorado y mejorado agribón, respectivamente (Figura 1). Se observó que el agríbón retrasó la aparición de síntomas por virus en la planta, lo cual coincide con lo obtenido por Alamilla *et al.* (1999), en un experimento con sandía establecido en el estado de Veracruz.

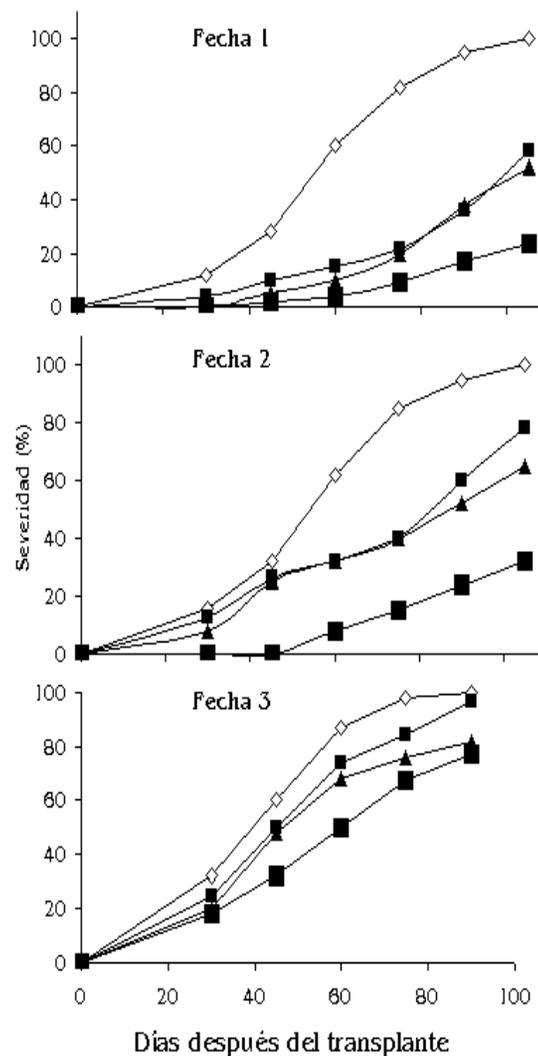


Figura 1. Severidad acumulada de virosis en jitomate, en tres fechas de siembra y cuatro medidas de control: testigo (◇-◇), tradicional (■-■), mejorado (▲-▲) y mejorado agribón (■-■).

En el experimento de la segunda fecha de siembra, las epidemias iniciaron después de 2-3 días del transplante, para los tratamientos testigo, tradicional y mejorado; en el tratamiento mejorado agribón las epidemias iniciaron después de 28 días (Figura 1). También se observó que el agribón retrasó la aparición de los síntomas por virus y el uso de agroquímicos no influyó en su retraso. En el experimento de la tercera fecha, las cuatro epidemias iniciaron después de 2 días del transplante.

La severidad final del chino fue total en el tratamiento testigo de las tres fechas de siembra. La aparición de síntomas por virus en el tratamiento mejorado agribón se explica por la gran cantidad de mosquita blanca que se presenta durante el transplante y la colocación del agribón; algunas mosquitas logran entrar por pequeñas roturas en las cubiertas y son las causantes de la aparición de los síntomas. Esta información es importante para definir fechas óptimas de siembra de este cultivo.

Dado que hubo diferencias estadísticas significativas entre rendimientos y ABCPE en las tres fechas de

siembra y en cada uno de los tratamientos (Cuadro 2), fue necesario generar modelos de predicción de rendimiento mediante análisis de regresión lineal simple.

El índice de daño de cada etapa de crecimiento, tratamiento y la fecha de siembra, se analizó con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 1998), donde las variables dependientes fueron el rendimiento y las pérdidas en las tres fechas de siembra y las cuatro medidas de control (Cuadro 3). Los modelos de regresión lineal que mejor explican los rendimientos y las pérdidas no mejoraron significativamente los valores de r^2 , al utilizar la regresión stepwise de SAS. La relación cuantitativa entre el rendimiento por parcela experimental de cada fecha de siembra y el índice de vigor se obtuvo por regresión lineal, utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 1998).

Se utilizó el modelo de punto crítico para determinar la etapa fenológica crítica, de acuerdo con el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.96$) y su confiabilidad ($p = 0.0001$), obtenidos en cada una de las tres fechas de siembra.

Cuadro 2. *Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y rendimiento de jitomate bajo cuatro métodos de control del chino del jitomate en tres fechas de siembra. Zacatepec, Mor. 2004.

Fechas	Tratamiento	ABCPE*	Rendimiento (t ha ⁻¹)*
11-Oct-2004	Testigo	4891 A	11.06 D
	Tradicional	2285 B	37.30 C
	Mejorado	1528 C	47.67 B
	Mejorado+agribón	746 D	54.22 A
10-Nov-2004	Testigo	4985 A	7.12 D
	Tradicional	3286 B	18.42 C
	Mejorado	3003 C	25.60 B
	Mejorado+agribón	1005 D	32.77 A
8-Dic-2004	Testigo	5083 A	3.95 D
	Tradicional	4374 B	11.62 B
	Mejorado	3948 B	17.37 A
	Mejorado+agribón	3114 C	7.67 C

Los valores con al menos una letra en común son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

Cuadro 3. Modelos de punto crítico para la estimación de rendimientos y pérdidas basados en el índice de daño del chino del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) en seis etapas fenológicas y tres fechas de siembra con el cultivar Yaqui. Zacatepec, Mor., 2004.

Variable y fecha de siembra	Etapas fenológica	Modelo $Y = b_0 + b_1(d)$	r^2 (significancia)	CME
11/10/2004				
Rendimiento	1	$Y = 9.50 + 0.082(d)$	0.89 (0.0001)	33.60
	2	$Y = 4.48 + 0.095(d)$	0.96 (0.0001)	12.65
	3	$Y = -1.80 + 0.11(d)$	0.94 (0.0001)	19.70
	4	$Y = -7.22 + 0.13(d)$	0.76 (0.0001)	73.54
	5	$Y = -25.55 + 0.23(d)$	0.58 (0.0007)	131.52
	6	$Y = -57.26 + 0.46(d)$	0.63 (0.0003)	115.21
Pérdida	1	$Y = 82.72 - 0.15(d)$	0.89 (0.0001)	111.09
	2	$Y = 91.85 - 0.17(d)$	0.96 (0.0001)	41.81
	3	$Y = 103.28 - 0.19(d)$	0.94 (0.0001)	65.13
	4	$Y = 113.13 - 0.24(d)$	0.76 (0.0001)	243.13
	5	$Y = 146.46 - 0.41(d)$	0.58 (0.0007)	434.80
	6	$Y = 204.10 - 0.84(d)$	0.63 (0.0003)	380.86
10/11/2004				
Rendimiento	1	$Y = 3.85 + 0.10(d)$	0.923 (0.0001)	7.57
	2	$Y = -0.08 + 0.12(d)$	0.96 (0.0001)	4.09
	3	$Y = -6.96 + 0.14(d)$	0.88 (0.0001)	12.38
	4	$Y = -18.38 + 0.20(d)$	0.85 (0.0001)	15.21
	5	$Y = -29.85 + 0.27(d)$	0.62 (0.0003)	38.87
	6	$Y = -67.81 + 0.52(d)$	0.40 (0.0083)	61.41
Pérdidas	1	$Y = 89.003 - 0.29(d)$	0.93 (0.0001)	61.86
	2	$Y = 100.24 - 0.33(d)$	0.96 (0.0001)	33.40
	3	$Y = 119.88 - 0.41(d)$	0.88 (0.0001)	101.12
	4	$Y = 152.52 - 0.58(d)$	0.85 (0.0001)	124.23
	5	$Y = 185.29 - 0.77(d)$	0.62 (0.0003)	317.34
	6	$Y = 293.74 - 1.47(d)$	0.40 (0.0083)	501.33
08/12/2004				
Rendimiento	1	$Y = -2.88 + 0.18(d)$	0.91 (0.0001)	3.09
	2	$Y = -5.13 + 0.19(d)$	0.99 (0.0001)	0.46
	3	$Y = -8.66 + 0.20(d)$	0.97 (0.0001)	1.17
	4	$Y = -19.19 + 0.24(d)$	0.87 (0.0001)	4.57
	5	$Y = -29.26 + 0.26(d)$	0.92 (0.0001)	2.85
Pérdidas	1	$Y = 114.38 - 0.89(d)$	0.91 (0.0001)	77.41
	2	$Y = 125.66 - 0.95(d)$	0.99 (0.0001)	11.50
	3	$Y = 143.28 - 1.01(d)$	0.97 (0.0001)	29.44
	4	$Y = 195.93 - 1.19(d)$	0.87(0.0001)	114.47
	5	$Y = 246.29 - 1.32(d)$	0.92 (0.0001)	71.28

^a El rendimiento se obtuvo cosechando la parcela útil (22 plantas de los dos surcos centrales) en un total de 16 parcelas para la primera y segunda fechas. Para la tercera, se cosechó un total de 12 parcelas; las pérdidas se estimaron utilizando el rendimiento máximo de los experimentos.

^b Las etapas fenológicas consideradas fueron: 1 = crecimiento vegetativo, 2 = floración media, 3 = fructificación media, 4 = fin de fructificación, 5 = inicio de maduración y 6 = inicio de cosecha.

^c El índice de daño (d) se estimó multiplicando la severidad por la altura de planta, en cm, por cada etapa fenológica.

Cuadro 4. Fecha de siembra, altura de planta, severidad, índice de daño (d), rendimiento de parcelas comerciales de jitomate cultivar Yaqui y rendimiento estimado ($t\ ha^{-1}$) con los modelos de predicción de las Fechas 1, 2, y 3. Zacatepec, Mor., 2005-2006.

Fecha de siembra y etapa fenológica	Altura (cm)	Severidad	d	$t\ ha^{-1}$	Modelo fecha 1	Modelo fecha 2	Modelo fecha 3
Junio de 2005							
Etapas fenológicas							
Crecimiento vegetativo 1	65	6.0	390		41.48	42.85	67.32
Floración media 2	90	5.5	495		51.50	59.32	88.92
Fructificación media 3	98	5.0	490		52.10	61.64	89.34
Fin de fructificación 4	105	4.8	504		58.30	82.42	101.17
Inicio de maduración 5	<u>112</u>	4.4	493		87.79	103.2	98.66
Inicio de cosecha 6	<u>115</u>	4.0	460	54.90	154.34	171.39	
Agosto de 2005							
Etapas fenológicas							
Crecimiento vegetativo 1	67	5.0	335		36.97	<u>37.85</u>	57.42
Floración media 2	80	4.5	360		38.68	43.12	63.27
Fructificación media 3	92	4.0	368		38.68	44.56	64.94
Fin de fructificación 4	95	3.8	361		39.71	53.82	67.45
Inicio de maduración 5	98	3.5	343		53.34	62.76	59.92
Inicio de cosecha 6	102	3.0	306	39.45	83.50	91.31	
Octubre de 2005							
Etapas fenológicas							
Crecimiento vegetativo 1	74	5.6	414		43.48	<u>45.29</u>	71.72
Floración media 2	95	5.0	475		49.60	59.92	85.12
Fructificación media 3	102	4.6	469		49.81	58.72	85.16
Fin de fructificación 4	105	4.1	430		48.75	67.72	84.13
Inicio de maduración 5	105	3.7	388		63.80	75.04	71.75
Inicio de cosecha 6	110	3.6	396	52.30	124.90	138.11	
Noviembre de 2005							
Etapas fenológicas							
Crecimiento vegetativo 1	62	4.7	291		33.39	32.99	49.57
Floración media 2	75	4.0	300		32.98	35.92	51.97
Fructificación media 3	88	4.0	352		36.92	42.32	61.74
Fin de fructificación 4	90	3.8	342		37.24	50.02	62.89
Inicio de maduración 5	95	3.5	332		50.92	59.92	57.19
Inicio de cosecha 6	100	3.3	330	38.60	94.54	103.74	
Mayo de 2006							
Etapas fenológicas							
Crecimiento vegetativo 1	70	5.5	385		41.07	47.8	66.42
Floración media 2	85	5.0	425		44.85	42.35	75.62
Fructificación media 3	89	4.7	418		44.21	50.92	75
Fin de fructificación 4	96	4.5	432		48.94	50.02	84.49
Inicio de maduración 5	100	4.0	400		66.45	78.15	74.74
Inicio de cosecha 6	102	4.0	408	47.80	130.42	144.35	

Cuadro 5. Pendientes (b_1), coeficientes de determinación (r^2) y confiabilidad (Prob) de los modelos generados al correlacionar el rendimiento real de cinco parcelas comerciales de jitomate, con los rendimientos estimados utilizando los modelos de predicción, generados en tres fechas de siembra y seis etapas fenológicas. Zacatepec, Mor., 2005-2006

Etapa fenológica	Modelos de fecha 1		Modelos de fecha 2		Modelos de fecha 3	
	b_1 (Prob)	r^2 (Prob)	b_1 (Prob)	r^2 (Prob)	b_1 (Prob)	r^2 (Prob)
Crecimiento vegetativo	1.64	0.81 (0.0357)	0.95	0.77 (0.036)	0.75	0.81 (0.036)
Floración media	0.93	0.95 (0.0049)	0.60	0.93 (0.006)	0.46	0.94 (0.0049)
Fructificación media	1.10	0.98 (0.0006)	0.86	0.98 (0.006)	0.60	0.98 (0.0006)
Fin de fructificación	0.83	0.91 (0.0122)	0.42	0.67 (0.088)	0.46	0.91 (0.01)
Inicio de maduración	0.45	0.77 (0.034)	0.37	0.77 (0.048)	0.39	0.77 (0.048)
Inicio de cosecha	0.24	0.88 (0.0186)	0.21	0.87 (0.018)		

Con el modelo de punto crítico se determinaron los modelos que sirvieron para estimar los rendimientos y las pérdidas por etapa fenológica.

En la primera y segunda fechas de siembra el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento mejorado + (agribón), el cual tuvo el menor índice de severidad y los menores valores de ABCPE; sin embargo, en la tercera fecha de siembra este tratamiento tuvo el tercer menor rendimiento (Cuadro 2).

Las condiciones microclimáticas que prevalecieron en esta fecha de siembra fueron determinantes para ese resultado, ya que dentro del túnel formado con agribón las temperaturas registradas se elevaron arriba de 40 °C y, seguramente, afectaron el vigor de las plantas. A esta situación se sumó la presencia de una alta población de ácaros después del primer corte, la cual no se controló a tiempo.

Se utilizó el índice de daño en virtud de que la altura o la severidad por sí solas no explican el rendimiento (Mora, 1990), aunque en experimentos de trigo afectado por Barley yellow dwarf virus (BYDV) hubo una relación lineal consistente entre la

incidencia de BYDV y la pérdida de peso del grano de trigo (McKirdy *et al.*, 2002).

Los modelos de predicción seleccionados fueron de punto crítico, por tener más alto coeficiente de determinación r^2 (0.96), significancia P (0.0001) y menor cuadrado medio del error. El parámetro b_1 siempre fue significativo independientemente del estado fenológico, mientras que b_0 fue no significativo en algunos casos (Cuadro 3).

Al validar los modelos obtenidos en las parcelas comerciales, mediante análisis de regresión lineal de la producción real contra la producción estimada por los modelos, se obtuvo la mayor r^2 (0.98) y significancia P (0.0006) fueron los de la Etapa fenológica 3 (fructificación media) de las tres fechas de siembra (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

Los modelos desarrollados en la Etapa fenológica 2 (floración media) de las tres fechas de siembra, tuvieron la mayor capacidad de predicción por su alto coeficiente de determinación y confiabilidad.

Los modelos de predicción de rendimientos que tuvieron mayor confiabilidad de predicción correspondieron a la Etapa fenológica 3 (fructificación media) en las tres fechas de siembra.

Los modelos de estimación de pérdidas indican que la etapa fenológica crítica del jitomate es la del inicio de la

floración (35 a 50 días después del transplante).

Al realizar la validación de los modelos, los más altos coeficientes de determinación y confiabilidad se obtuvieron en la Etapa fenológica 3, lo cual es indicativo de una alta capacidad de predicción de rendimientos y pérdidas.

LITERATURA CITADA

Alamilla, H. P. T., Ortega, A. L. D., Mora, A. G. y Chávez, B. J. M. 1999. Cubiertas flotantes como barreras contra insectos vectores de virus en sandía en Veracruz, México. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 51(2): 1-9.

Buchenau, G. W. 1975. Relationship between yield loss and area under the wheat stem rust and leaf rust progress curves. *Phytopathology* 65:1317-1318.

Bustamante, O. J. D., González, H. V. A., Livera, M., Zavaleta, M. E. 1999. Cambios fisiológicos y microclimáticos inducidos en jitomate por una cubierta flotante. *Agrociencia* 33:31-39.

Campbell, C. L. and Madden, L. V. 1990. *Introduction to plant disease epidemiology*. Wiley, New York, NY, USA. 532 p.

Khan, M. A., Trevathan, L. E. y Robbins, J. T. 1997. Quantitative relationship between leaf rust and wheat yield in Mississippi. *Plant Dis.* 81:769-772

McKirdy, S. J., Jones, R. A. C. y Nutter, F. W. 2002. Quantification of yield losses caused by barley yellow dwarf virus in wheat and oats. *Plant Dis.* 86:769-773.

Mora, A. G., Téliz, D., Ávila, C. y Durán, F. 1989. Desarrollo preliminar de un modelo de predicción del virus de la mancha anular del papayo en Veracruz. *In: Memorias del XVI Congreso Nacional de Fitopatología*. Montecillo, México. P. 70.

Mora, A. G., Téliz, D., Rodríguez, P., Villanueva, J. y Mora, A. A. 1990. Componentes principales y regresión múltiple en el desarrollo de un modelo de predicción de un complejo viral del chile (*Capsicum annum*). *In: Memorias del XVII Congreso Nacional de Fitopatología*. Culiacán, Sinaloa. México. P. 39.

Mora, A. G., March, G., Marinelli, A. y Michereff S. 2005. *Epidemiología. Fundamentos y Aplicaciones en Patosistemas Agrícolas*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina.

Oniki, M., Ramírez, R. S. and Takanami, Y. 1998. Occurrence of tomato virus disease "chino" in Morelos State, México. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.* 64(4):412.

Ramírez, R. S., Salazar, P. A. y Nakagome, T. 2001. *Manual de plagas y enfermedades del jitomate, tomate de cáscara y cebolla en el estado de Morelos*. SAGARPA-INIFAP-CEZACA. Zacatepec, Morelos, México. 119 p.

SAS, Institute. 1998. *SAS/SAT User's Guide*. Versión 6.09. SAS Institute, Cary. NC, USA. pp: 100-120.

Schneider, R. W., Williams, R. J. and Sinclair, J. B. 1976. *Cercorpora* leaf spot of cowpea: models for estimating yield loss. *Phytopathology* 66:384-388.

Takanami, Y., Ramírez, R. S. and Oniki M. 1998. Detection of geminivirus from several plants in Morelos State, México. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.* 64(6):589.

Teng, P. S. and Gaunt, R., E. 1980. Modelling systems of disease and yield loss in cereals. *Agric. Syst.* 6:131-154.

Torres-Pacheco, I., Garzón-Tiznado, J. A., Brow, J. K., Becerra-Flora, A. and Rivera-Bustamante, R. F. 1996. Detection and distribution of geminiviruses in Mexico and the Southern United States. *Phytopathology* 86:1186-1192.

Wright, A. C. and Gaunt, R. E. 1992. Disease-yield relationships in barley. Yield, dry matter accumulation and yield-loss models. *Plant Pathology* 41:676-687.

Wyatt, S. D. and Brown, J. K. 1996. Detection of subgroup III geminivirus isolates in leaf extracts by degenerate primers and polymerase chain reaction. *Phytopathology* 86:1288-1293.

Yang, X. B., Tschanz, A. T., Dowler, W. M. and Wang, T. C. 1991. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 81:1420-1426.