

CROP PROTECTION

Modelo de Predicción de Riesgo de Daño de la Mosca Pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae)

CARLOS G. GARCÍA-GARCÍA, JOSÉ LÓPEZ-COLLADO, MARTHA E. NAVA-TABLADA, JUAN A. VILLANUEVA-JIMÉNEZ Y JORGE VERA-GRAZIANO

Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Apartado postal 421, C. postal 91700, Veracruz, Veracruz, México

Neotropical Entomology 35(5):677-688 (2006)

Risk Predictive Model for Damage Caused by the Spittlebug *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae)

ABSTRACT - This paper evaluated the risk that *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah populations reach the economic threshold in sugar cane fields in Veracruz, México. A risk deductive model was constructed to include the sequence of events leading to damaging populations, considered the top event or critical failure in the crop. Model events were identified and quantified, and model was validated on field conditions. The model components and their state values were identified as: temperature $\geq 28^{\circ}\text{C}$, precipitation $\geq 45\%$ during June and July, soil clay content $\geq 40\%$, infested adjoining fields, deficient weed control, wind dominance, crop phenology and variety, deficient chemical and biological control, and irrigation. Sensitivity analysis showed that the most important events triggering high densities of *A. postica* were high temperatures and precipitation, previous field infestation, nymph and weed presence. Event probability estimates were combined using Boolean algebra to compute the minimum, mean and maximum probabilities for the top event, yielding values of 0.417, 0.563, y 0.734 respectively. Model was tested in field, by selecting sugar cane fields having the model properties and compared to fields without these features. Fields were sampled in both conditions during 2004 year and high-risk fields had significantly ($F = 13, 4, \text{gl} = 1, 18, P = 0,0018$) higher densities ($2.4 \text{ adults m}^{-1}$) than low-risk plots ($0.4 \text{ adults m}^{-1}$) thus agreeing with the model forecast.

KEY WORDS: Sugar cane, fault tree analysis, system analysis, Monte Carlo simulation, preventive pest management

RESUMEN - Este trabajo cuantificó el riesgo de ocurrencia de poblaciones dañinas de *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah en caña de azúcar en Veracruz, México. Para esto se construyó un modelo deductivo, que consistió en la identificación, cuantificación y validación de la secuencia de eventos que conducen a densidades dañinas, considerada como una falla crítica en el cultivo. Se determinó que el estado de los componentes del sistema que favorecen a la plaga fueron: temperaturas $\geq 28^{\circ}\text{C}$, precipitación $\geq 45\%$ en junio y julio, contenido de arcillas en el suelo $\geq 40\%$, cultivos adyacentes infestados, precario control de maleza, dominancia de los vientos, fenología y variedad del cultivo, controles químicos y biológicos deficientes, y riegos. El análisis de sensibilidad señaló que altas temperaturas, altas precipitaciones, infestación en el año anterior, la presencia de ninfas y presencia de maleza son los eventos más importantes. Las probabilidades estimadas de los eventos se combinaron con álgebra Booleana para calcular la distribución de probabilidades de la falla crítica, que tuvo valores mínimo, promedio y máximo de 0,417, 0,563, y 0,734 respectivamente. El modelo se probó en campo en el año 2004 mediante la selección de parcelas que tuviesen las características señaladas por el modelo y comparando, mediante el muestreo de poblaciones de mosca pinta, con parcelas que no las tuviesen. Se encontró que las parcelas con alto riesgo de daño presentaron densidades significativamente ($F = 13, 4 \text{ con } \text{gl} = 1, 18, P = 0,0018$) mayores ($2,4 \text{ adultos m}^{-1}$) que parcelas de bajo riesgo ($0,4 \text{ adultos m}^{-1}$).

PALABRAS CLAVE: Caña de azúcar, árbol de fallas, análisis de sistemas, simulación MonteCarlo, manejo preventivo de plagas

El cultivo de caña de azúcar se considera de gran importancia económica para muchas familias que habitan en los trópicos y subtropicos de México; en este país se cultivan aproximadamente 610.000 ha con rendimiento promedio de campo en la zafra 2003-2004 de 74,6 t·ha⁻¹ y un precio promedio de \$32,6 US por tonelada (COAAZUCAR 2004, SAGARPA 2005). La mosca pinta, *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah puede disminuir el rendimiento hasta en 9 t·ha⁻¹ (De la Cruz *et al.* 2005). A pesar de la importancia de esta plaga, el control se realiza cuando se presentan densidades de adultos que podrían ser dañinas.

El análisis probabilístico de riesgos es una herramienta aplicada en diversas áreas de la ciencia y la tecnología en la toma de decisiones; permite identificar, evaluar y cuantificar los riesgos de eventos indeseables de una manera objetiva, comprensible y con un nivel de precisión aceptable; es considerada una herramienta de gran utilidad para el análisis y mejoramiento de sistemas complejos. Un árbol de fallas es un tipo de modelo deductivo en el análisis de riesgos para identificar combinaciones de eventos que conducen a una falla en un sistema.

El desarrollo y análisis de árboles de fallas se ha empleado en los proyectos de la NASA, plantas nucleares, plantas industriales, sistemas de seguridad, programas computacionales y en otras áreas; recientemente ha sido aplicado en el manejo de fuentes de contaminación difusa y en la industria petrolera (Aaron 2000, NASA 2000, Bedford & Cooke 2001). Vesely *et al.* (1981) mencionan que esta metodología puede ser aplicada a diversos sistemas, pues los principios en los que se basa son aplicables a cualquier sistema. Sus principales objetivos consisten en buscar sistemáticamente los eventos que llevan a la falla crítica de un sistema, representar visualmente el funcionamiento incorrecto, precisar los aspectos críticos de su comportamiento, proporcionar referencias para evaluarlo, y generar una base de datos para el análisis cuantitativo y cualitativo de la falla crítica identificada en dicho sistema (Vesely *et al.* 1981).

El análisis de riesgo fitosanitario, desde la perspectiva cuarentenaria es un procedimiento que permite identificar, evaluar y manejar el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de plagas de áreas contaminadas a áreas libres (Zimmermann *et al.* 2005). Por otra parte, el manejo preventivo de plagas tiene como propósito reducir el riesgo de ataque de insectos perjudiciales a los cultivos mediante técnicas que permitan anticipar la ocurrencia de densidades dañinas (Ellsbury *et al.* 2000). En este caso, se puede considerar como un evento indeseable que las poblaciones rebasen el nivel de daño económico, es decir, como una “falla” en los agroecosistemas. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo aplicar la metodología de árboles de fallas en el sistema mosca pinta – caña de azúcar para determinar y evaluar los eventos que conducen a densidades dañinas de esta plaga. Con esto se pretende contribuir al manejo preventivo de la plaga y determinar el riesgo de ocurrencia de densidades dañinas antes de que éstas aparezcan.

Materiales y Métodos

La construcción de los árboles de fallas se basó en revisión de literatura, reportes de dos ingenios azucareros (La Gloria y El Modelo), análisis histórico de datos meteorológicos, interpretación de publicaciones científicas (Auclair *et al.* 2005), comunicaciones personales y juicio profesional (A.P.H.I.S. 1996, Krayner von Krauss *et al.* 2004), y consistió de las siguientes etapas:

Límites del sistema. Se delimitó el sistema a estudiar, considerando a la parcela con caña de azúcar como el sistema de interés. El área de campo en esta investigación fue la zona de influencia de los ingenios azucareros La Gloria y El Modelo, Veracruz, México que cuentan con una superficie plantada con caña de azúcar de 12,611 ha y 11,049 ha, respectivamente. El clima es Aw₀(w)(e) de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1988).

Componentes relevantes del sistema. La identificación de los componentes relevantes del sistema se basó en el trabajo de López-Collado *et al.* (2003). Estos componentes fueron la temperatura, precipitación, humedad relativa, tipo de suelo, cultivos adyacentes, control de la maleza, vientos, tipo de variedad, fenología del cultivo, control químico, control biológico y la aplicación de los riegos. Se hizo una descripción de los componentes con base en observaciones de campo que consistieron en inspecciones oculares a 10 parcelas en las que se ha presentado la mosca pinta y 10 parcelas en las que no se ha presentado.

Para determinar la importancia relativa de estos componentes se aplicó una entrevista-temario basada en los valores de los componentes del sistema que inciden para que la mosca pinta se presente en el cultivo de la caña de azúcar. Ésta se aplicó a 63 personas involucradas directamente con el cultivo de la caña de azúcar, entre ellos inspectores de campo de ingenios azucareros, investigadores, asesores privados y productores. La entrevista-temario fue evaluada con una escala tipo Likert, considerando cuatro grados de importancia: poco importante, regular, importante y muy importante, a los que se les asignó un valor numérico de 1 a 4, respectivamente. De esta manera se cuantificó el juicio de los entrevistados acerca de la importancia de los componentes del sistema (Hernández *et al.* 1991). La descripción de los componentes también se basó en juicio profesional, entendiéndolo como los conocimientos, técnicas, experiencias y habilidades de un experto en un determinado tema, en entrevistas dirigidas hechas a personal técnico de ingenios azucareros y en la revisión de literatura. Cabe mencionar que estas fuentes de información se usaron de manera simultánea en varias etapas de la construcción de los árboles de fallas.

Selección y construcción de la falla crítica. Se consideró como una falla crítica las Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de julio, debido al daño que ocasiona la plaga al cultivo cuando las densidades del umbral operativo superan los seis adultos por cepa, que es el umbral operativo utilizado en los ingenios azucareros La Gloria y

El Modelo. El período en el cual se presenta la plaga es de junio a septiembre, siendo julio y agosto cuando se presentan las poblaciones más altas. De esta manera, una vez seleccionada la falla crítica, se determinaron los eventos que conducen a la ocurrencia de la misma, es decir, las rutas de falla. Durante la construcción del árbol de fallas, se identificaron los componentes del sistema, sus propiedades e interacciones, y se determinó su secuencia cronológica hasta llegar al evento indeseable.

Verificación. Consistió en el análisis sistemático de las fallas iniciales y de las interacciones de los eventos intermedios, lo cual se hizo a través de múltiples iteraciones.

Evaluación cualitativa. Se hizo describiendo cada una de las fallas iniciales y las interrelaciones que entre ellas ocurren en los árboles de fallas; tuvo la finalidad de obtener los conjuntos mínimos de fallas de los árboles, la importancia cualitativa de los componentes y la combinación de los conjuntos mínimos de fallas que pueden causar en común el evento crítico seleccionado.

Estimación de parámetros. Esta parte consistió en la asignación de valores de probabilidad a cada una de las fallas iniciales con el objeto de calcular la probabilidad del evento crítico, la importancia cuantitativa de los componentes y la distribución de probabilidad del evento crítico. Ésta se hizo definiendo intervalos de valores de probabilidad de ocurrencia, los cuales se obtuvieron con reportes de los ingenios, juicio profesional, observaciones de campo, revisión de literatura y la aplicación de la entrevista temario. Del intervalo definido, se tomó el valor medio para efectuar las operaciones booleanas, con la finalidad de simplificar los árboles de fallas y minimizar la redundancia en los traslapes de los valores. Esto se hizo tanto para las fallas iniciales como para los eventos intermedios. Las operaciones booleanas que se aplicaron fueron:

$P(A \text{ o } B)' = P(A) + P(B)$. Si los eventos son mutuamente excluyentes.

$P(A \text{ o } B)'' = P(A) + P(B) - P(A \text{ y } B)$. Si los eventos no son mutuamente excluyentes.

$P(A \text{ y } B)' = P(A) \cdot P(B)$. Si los eventos son mutuamente independientes.

$P(A \text{ y } B)'' = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B)$. Si los eventos son mutuamente interdependientes.

Por otra parte, se estimó la distribución de probabilidad del evento crítico elegido, usando simulación Monte Carlo (Law y Kelton 1991), con el objetivo de analizar el comportamiento de la falla crítica bajo diferentes valores de probabilidad, derivados de los intervalos estimados. La distribución de probabilidad se generó de la siguiente forma: a) Se estimó el valor del número de repeticiones del evento "falla", se generaron cuatro diferentes tamaños de muestra de valores aleatorios (10,000; 100,000; 500,000 y 1,000,000). En esta investigación se trabajó con un tamaño de muestra de 10,000 valores aleatorios, bajo el criterio de la estabilidad del valor de probabilidad del evento

seleccionado; b) Los valores de probabilidad P_i se calcularon para cada evento a partir de una distribución uniforme, con parámetros a , b , que corresponden a los límites inferior y superior de probabilidad de cada evento. Los valores de la distribución uniforme se generaron mediante el método de transformación inversa (Law & Kelton 1991); se utilizó la distribución uniforme, bajo el supuesto de equiprobabilidad en el intervalo estimado, esto se recomienda cuando se tiene un conocimiento incompleto del fenómeno bajo estudio (Vose 2000) y para dar mayor oportunidad a los eventos extremos de ocurrir, de manera que se obtienen estimadores conservativos (A.P.H.I.S. 1996). Los valores aleatorios utilizados provienen de un generador lineal congruencial (rand1) (Press *et al.* 1989). Estos valores se calcularon con el programa de cómputo BioStat (López-Collado 2003); c) Una vez que se generaron los valores de P_i , se realizaron las operaciones booleanas anotadas previamente, provenientes de los conjuntos mínimos de fallas para calcular el valor de P , que es la probabilidad del evento final; y d) La distribución de probabilidad del evento crítico se arregló en histogramas de frecuencia, de donde se obtuvo el valor modal. También se calcularon los valores de la media, mínimo y máximo, que corresponden al caso promedio, al mejor y al peor escenario, respectivamente.

Análisis de sensibilidad. Se hizo un análisis numérico de sensibilidad de los componentes del árbol de fallas, que consistió en estimar la probabilidad del evento final al aumentar a cada falla inicial 10% de su valor de probabilidad. Se calculó un Índice de Variación (I_v) de la siguiente manera:

$$I_v = \frac{Y_i - Y_w}{Y_w} \quad \text{donde:}$$

Y_i = probabilidad promedio de la falla final cuando se incrementó 10% el valor de probabilidad promedio del evento i

Y_w = probabilidad promedio del evento final, calculado con los valores promedios de todos los eventos.

Este índice sirvió para determinar la influencia en la probabilidad de la falla crítica cuando alguna de las fallas iniciales es modificada, y tiene la siguiente interpretación: si el valor absoluto de I_v es alto, esto indica que la influencia de dicha falla inicial en la probabilidad de ocurrencia de la falla final es considerable, y viceversa.

Aplicación del modelo en condiciones de campo. Se realizó un muestreo de adultos y ninfas, tomando como unidad de muestreo 1 ha, la cual se subdividió en nueve cuadrantes. Por cada cuadrante se tomó un metro lineal de surco y se contabilizaron los individuos encontrados. Lo anterior se hizo en 20 parcelas plantadas con caña de azúcar, de las cuales 10 han presentado cada año mosca pinta en altas densidades, y en las otras 10 se han presentado incidencias mínimas. Estas parcelas se seleccionaron tomando como base los resultados del muestreo periódico que realiza el personal técnico de los ingenios azucareros La Gloria y El

Modelo. En esta etapa se cotejó si las rutas de falla planteada en el árbol coincidía con las condiciones físicas e históricas de las parcelas, es decir, en esta fase se esperaba que si una parcela presentaba los eventos del árbol de fallas, entonces debería de tener altas densidades de mosca pinta. El muestreo para determinar las densidades poblacionales se realizó posterior a la determinación de su riesgo de ocurrencia. Las densidades poblacionales se compararon mediante una prueba de F con $gl = 1, 18$ (López-Collado 2004).

Resultados y Discusión

Límites del sistema. El sistema de interés se compone de una parcela con caña de azúcar, en la cual se identificaron sus componentes e interacciones entre ellos, mismos que se muestran en la Fig. 1.

El estado de los componentes considerados fueron: altas temperaturas, precipitación constante, alta humedad relativa, suelos con altos contenidos de arcilla, no remoción del suelo, cultivos adyacentes infestados con mosca pinta, nulo control de maleza, vientos favorables a la mosca pinta, la variedad susceptible, la fenología del cultivo susceptible, el control químico deficiente o nulo, el control biológico deficiente o nulo y la aplicación de los riegos. En este modelo no fue incluida la humedad relativa, aunque si bien está altamente relacionada con la presencia de la plaga, su influencia depende de la precipitación y la temperatura.

Componentes relevantes del sistema. Los componentes más sobresalientes del sistema corresponden a aquellos con los cuales la mosca pinta tiene una relación directa. Los entrevistados indican que las altas precipitaciones, las altas temperaturas y no controlar maleza son los componentes del sistema que más influyen para que la mosca pinta se presente, con valores de las respuestas de 74.6%, 69.8% y 63.4%, respectivamente. A seguir se describen cada uno de ellos.

Precipitación. El inicio de la temporada de lluvias es el evento que marca la pauta para que los huevecillos diapáusicos eclosionen y así dar origen al estado ninfal de la mosca pinta. Independientemente de la condición hídrica de la región cañera que se trate, ya sea de riego o de temporal, la temporada de lluvias es fundamental para que se presente la mosca pinta (Flores 1994, Sujii *et al.* 1995, Enríquez *et al.* 1999).

Temperatura. Flores (1994) señala a la temperatura como el segundo componente que favorece la presencia de la mosca pinta e indican que su presencia coincide con las más altas temperaturas del año, que ocurren al final de la estación de primavera y en el verano. La importancia de este componente es debida a su relación directa con el desarrollo y crecimiento embriológico del huevecillo, la ninfa y el estado adulto, ya que la mosca pinta es un organismo poiquilotérmico.

Humedad relativa. Los resultados de la entrevista-temario señalan a la humedad relativa en el aire como otro componente importante que afecta la presencia de la mosca pinta, ya que ésta se relaciona positivamente con las más altas poblaciones de la mosca pinta.

Maleza. Las gramíneas o Poáceas silvestres son las hospederas naturales de la mosca pinta. Las principales especies reportadas como sus hospederas son: zacate Pangola *Digitaria decumbens* Stent, zacate Alemán *Echinochloa polystachia* (H.B.K.) Hitch., zacate Johnson *Sorghum halepense* (L.) Pers., zacate Merkeron *Pennisetum purpureum* Schum., zacate Privilegio *Panicum maximum* Jacq., zacate Señal *Brachiaria decumbens* Stapf, y otros como *Cynodon plectostachyum* Pilger. y *Axonopus* sp., (Enríquez *et al.* 1999). Las áreas de cultivo de la caña de azúcar originalmente eran potreros naturales, mismos que se transformaron al uso agrícola, por lo cual se observan gramíneas en estas áreas (García 1984). La maleza se puede encontrar en el interior del cultivo, o bien, en las orillas de

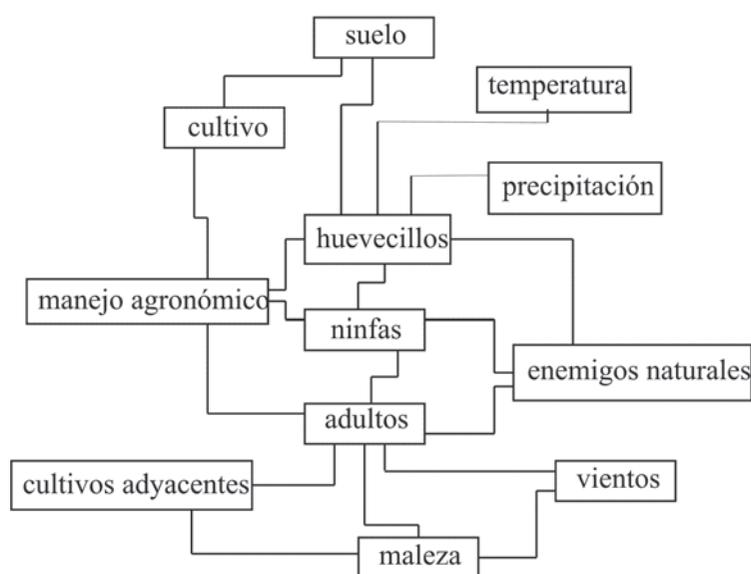


Fig. 1. Componentes del sistema mosca pinta – caña de azúcar. (modificado de López-Collado *et al.* 2003).

las parcelas. Las gramíneas se observan generalmente en las orillas, ya que dentro de la parcela, una vez que el cultivo alcanza los 80 cm de altura, dificulta que los rayos solares penetren al fondo del surco, y por tanto difícilmente crecen otras plantas. Además, se aplica el control manual y químico durante los cuatro primeros meses de crecimiento del cultivo en plantilla, socas y resocas, con los ingredientes activos: ametrina, atrazina, dicamba, glifosato, paraquat, ácido 2, 4-D, entre otros. Con lo cual es mínima la presencia de maleza en el interior del cultivo (Domínguez *et al.* 2004).

Huevecillo diapáusico. Es el estado biológico de la mosca pinta que le permite presentarse de un año a otro, ya que mediante su hibernación o diapausa asegura su supervivencia hasta que se den las condiciones apropiadas para eclosionar. Flores (1994) indica que los huevecillos diapúsicos se encuentran con mayor frecuencia en las resocas. En éstas, el suelo inmediato a la cepa no es removido, lo que proporciona condiciones propicias a los huevecillos; en las parcelas infestadas, de un año a otro las poblaciones aumentan, caso contrario ocurre en socas y plantilla. Asimismo, este autor indica que los huevecillos sobreviven mejor en suelos arcillosos.

Ninfa. La ninfa se encuentra en las raíces superficiales de la planta. De manera general se considera que no causa daño al cultivo (Flores 1994).

Adulto. El adulto es el estado biológico que causa daño al cultivo. Se alimenta de la savia en las hojas, al introducir con su estilete una toxina diastática-oxidante al parénquima y al mesófilo que destruye la clorofila, genera una necrosis parcial de los tejidos foliares. La planta adquiere un aspecto parecido al de marchitez por estrés hídrico (Flores 1994).

Suelo. El suelo sirve a los huevecillos de sustrato, tanto en su forma normal como diapúsica. En suelos de textura arcillosa y ligeramente ácidos prospera mejor la mosca pinta, ya que retiene mayores cantidades de humedad (Flores 1994).

Viento. Los vientos representan potencialmente la forma de dispersión del estado adulto. Debido a que el área cañera es "compacta", este componente del sistema debe ser considerado. Sin embargo, el efecto de este factor parece ser reducido, pues Utrera *et al.* (2004), mencionan que la dispersión de los adultos es limitada en este cultivo, ya que se desplazan distancias cortas, entre 1 m y 5 m, y que el viento no afecta significativamente el desplazamiento de esta plaga.

Enemigos naturales. Los enemigos naturales de huevecillos y ninfas de la mosca pinta reportados son miembros de las familias Reduviidae (*Sinea* sp.) y Syrphidae (*Salpingogaster nigra* Schiner), y el nematodo de la familia Mermithidae (*Hexamermis* sp.) (Flores 1994). Medina *et al.* (1993), reportan a hormigas depredadores generalistas alimentándose de huevecillos y ninfas de primer estadio de *Aeneolamia* sp. en pastos de sabana en Colombia, de los géneros *Solenopsis* sp., *Wasmannia* sp., *Pheidole* sp., *Paratrechina* sp., *Camponotus* sp., y en la especie *Ectatomma ruidum* Roger. En la década de 1960 se criaron y liberaron los hemipteros *Zellus rubidus* Leper y *Castolus plagiaticollis* Stål., sin que se haya tenido efecto en el control de la mosca pinta, pues su establecimiento en campo no

prosperó (IMPA 1984). El control microbiológico se realiza principalmente con el entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin para el control del adulto; en la zona de estudio las condiciones climáticas no le favorecen (Rodríguez 1999).

Manejo agronómico. Son prácticas dirigidas a incrementar el crecimiento y desarrollo del cultivo, y relacionadas con el control de la mosca pinta, como la preparación del suelo (subsoleo, barbecho, cruza, surcado y rayado después de la cosecha), siembra o resiembra, fertilización, riego, quema y requema, destronque de las cepas, eliminación de residuos de la cosecha, control de maleza, plagas y enfermedades (IMPA 1984).

Evaluación cualitativa del árbol de fallas para el evento crítico "Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio". Consistió en sintetizar la información obtenida para delimitar y describir las fallas iniciales y los eventos intermedios que deben ocurrir para que se presente el evento crítico seleccionado, lo que proporcionó una idea previa acerca de la importancia cualitativa de los componentes y cómo se dan las interacciones entre los componentes del sistema.

Se definió el evento "Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio", como densidades mayores a 6.0 adultos por cepa, que corresponde al umbral operacional de daño para el área de interés. Este evento se alcanza cuando se tienen dos eventos previos no mutuamente excluyentes: 'Condiciones Favorables en la Parcela' O 'Inmigración de Adultos' (Fig. 2).

Si las 'Condiciones Son Favorables en la Parcela', esto es debido a las 'Condiciones Ambientales', la 'Evidencia de la Presencia de la Plaga' y a las 'Condiciones Agronómicas'; conectados estos tres eventos con Y, considerados como eventos independientes.

En el caso de las 'Condiciones Ambientales', la combinación de la 'Temperatura' y la 'Precipitación' favorecen la presencia de la mosca pinta; ambas fallas iniciales son independientes. El período crítico dentro del intervalo que se presenta la mosca pinta son los meses de julio y agosto, ya que la temperatura alcanza sus intervalos máximos de 26°C a 32°C, y del total de la precipitación que ocurre a lo largo del año, en estos dos meses se concentra 42%.

El segundo evento intermedio inherente a las altas densidades de adultos es la 'Evidencia de la Presencia de la Plaga', que puede ser por que hubo 'Infestación el Año Anterior' O por la 'Presencia de Ninfas'. Dichas fallas iniciales están intrínsecamente relacionadas, ya que se ha observado que en una parcela en donde se ha presentado la mosca pinta, la probabilidad de que la plaga se presente al siguiente año es relativamente alta.

Aunado a las 'Condiciones Ambientales' y a la 'Evidencia de la Presencia de la Plaga', conectada con Y, las 'Condiciones Agronómicas' (Fig. 3) contribuyen considerablemente a la presencia de la plaga; las interacciones entre los eventos intermedios y fallas iniciales de este ramal son considerados como no mutuamente excluyentes. Éstas incluyen el 'Manejo Agronómico Convencional' O 'Control Químico Deficiente'; ambos

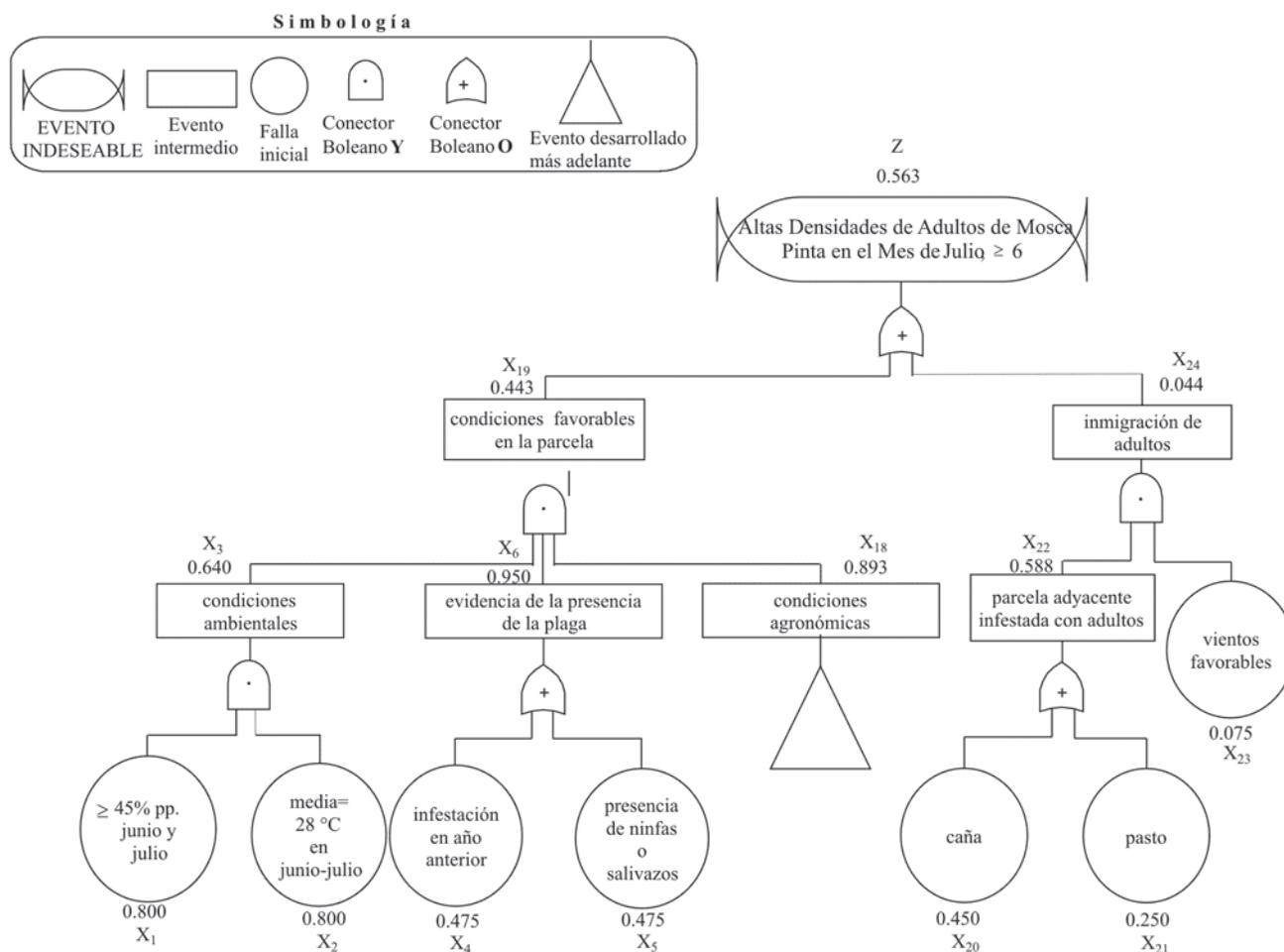


Fig. 2. Árbol de fallas para el evento crítico “Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio”. Los valores asociados a los eventos corresponden a las probabilidades estimadas de ocurrencia, y las letras representan los eventos.

eventos intermedios considerados como no mutuamente excluyentes. El ‘Manejo Agronómico Convencional’ está integrado por ‘Caña Apropiaada para el Ataque’ (‘Variedad Susceptible’ como MEX-69-290 y CP-72-2086 O ‘Presencia de Resocas Mayor a Tres’ O ‘Desarrollo del Cultivo Menor de Seis Meses’), O ‘Prevalencia de Maleza’ (‘en los Bordes de la Parcela’ O ‘Dentro del Cultivo’). En caso de que el ‘Control Químico Sea Deficiente’, puede deberse a que ‘Falla la Aplicación’ O a que ‘No Hubo Aplicación’.

Para el caso de que las ‘Variedades Sean Susceptibles’, sólo se menciona empíricamente que son más susceptibles de ataque las variedades de hoja angosta (Flores 1994). En países como Brasil, Costa Rica, Venezuela y Guatemala se cuenta con variedades resistentes a esta plaga. En pastos se han realizado mayores esfuerzos de investigación y se cuenta con variedades resistentes al ataque de otras especies de mosca pinta por tolerancia y antibiosis (Sotelo *et al.* 1993, Cardona *et al.* 2004). Diferentes responsables del manejo de plagas mencionan que las variedades MEX-69-290 y CP-72-2086 ocupan aproximadamente 50 y 15%, respectivamente de la superficie plantada con caña de azúcar

en la zona de estudio. Esto sugiere que la predisposición al ataque puede deberse a la gran distribución de esta variedad en el área.

En cuanto a la ‘Presencia de Resocas’, su número varía de dos a siete, siendo más frecuente de dos a cinco (Dominguez *et al.* 2004). Ello es favorable para la plaga, ya que no se remueve el suelo que rodea a la cepa.

Debido a que en el área de estudio se presentan diferentes estados de desarrollo del cultivo y a que las ‘Plantaciones Menores de Seis Meses de Desarrollo’ son más susceptibles de ser atacadas (Flores 1994). Entonces para el evento crítico seleccionado en el mes de julio, 70% de las plantaciones de caña de azúcar fueron igual o menores a seis meses. Es decir, susceptibles de sufrir mayores daños.

El factor ‘Presencia de Maleza’ ocurre con bastante frecuencia en el cultivo y se debe a una planificación deficiente. Se considera que la maleza causa un daño mínimo al cultivo por encontrarse en su mayoría en los bordes de la parcela; sin embargo, éstas representan focos de infestación para el cultivo.

Otro evento intermedio que compone a ‘Condiciones Agronómicas’, es el ‘Control Químico Deficiente’; éste se

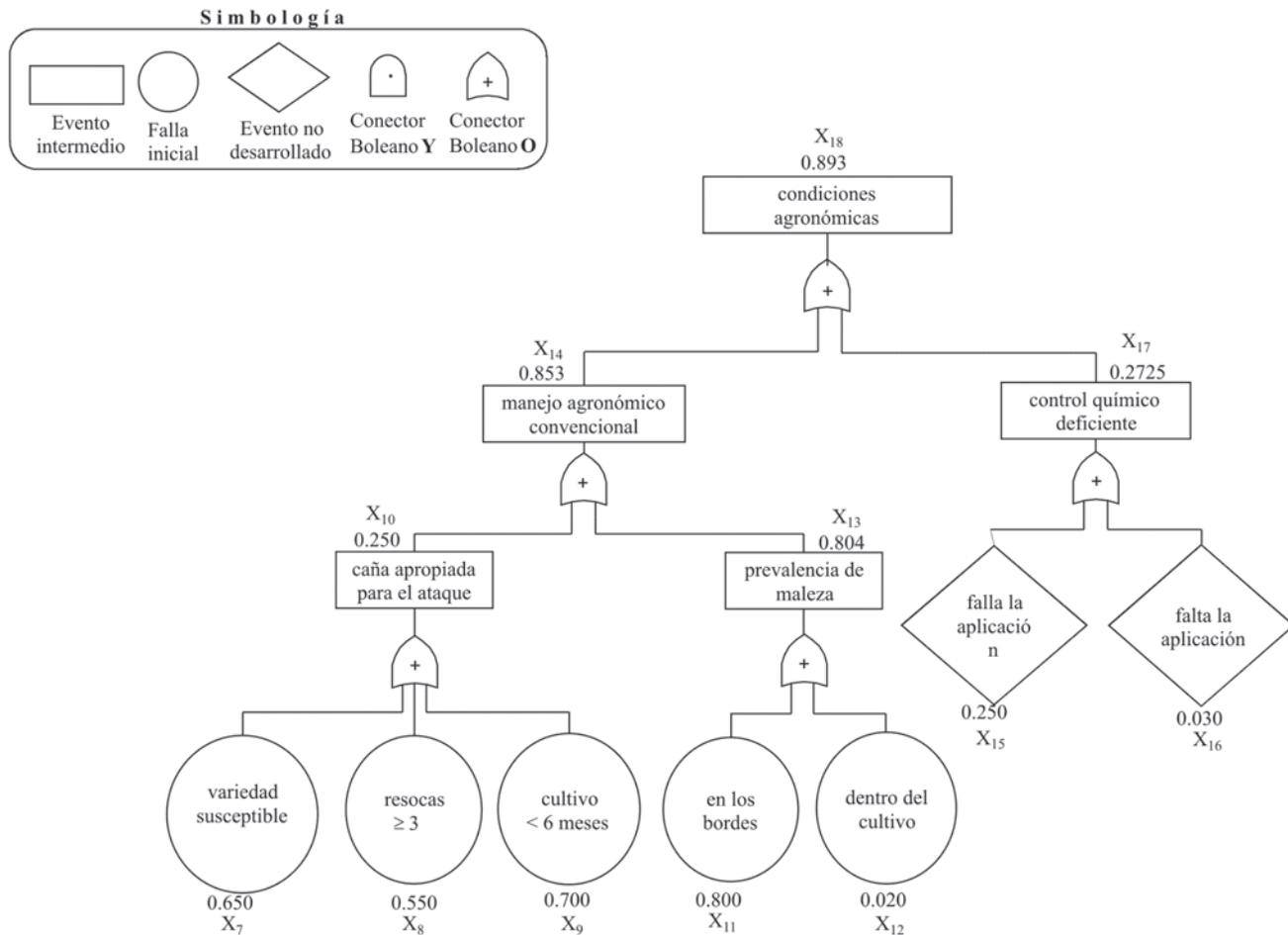


Fig. 3. Las “condiciones agronómicas” del árbol de fallas para el evento crítico “Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio”.

refiere a dos eventos no desarrollados, que son: ‘Falla en la aplicación’, O ‘no se realizó dicha aplicación’. Estos eventos no fueron desarrollados, ya que se consideró que su análisis no mejoraría el poder predictivo de este modelo. Las fallas en la aplicación del control químico pueden deberse a múltiples factores, siendo los más importantes: el *ingrediente activo utilizado* referido a una elección deficiente del mismo, ya que son escasos los ingredientes activos autorizados por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas en México, y no se cuenta con estudios periódicos y regionales de efectividad biológica. Además, en el *momento en que se realiza la aplicación*, los factores ambientales como *temperatura*, *punto de rocío*, *velocidad y dirección del viento*, modifican la efectividad de la aplicación; estos afectan diversos componentes del control químico como la evaporación de la mezcla, el exceso de humedad sobre las hojas de la planta, la amplia cortina de la deriva, entre otros. La *forma de aplicación* debe considerar la biología y hábitos del insecto para dirigir el producto a los sitios en donde se encuentra el estado biológico de interés de la plaga. El *tamaño de las parcelas* influye al ser superficies pequeñas (1 a 4 ha), se

dificulta la aplicación aérea porque los linderos entre parcelas son pequeños y demarcados con árboles. Las *dosis subletales*, la *cantidad de mezcla aplicada* y la que alcanza a la plaga influyen en el control de la mosca pinta. En esta zona la mayoría de la aplicación se realiza en forma aérea con avioneta, aplicándose entre 40% y 50% de la superficie cultivada. Los casos en los que no se realiza el control químico son mínimos, o bien se aplica fuera de tiempo.

Las altas densidades del adultos en el mes de julio también pueden deberse a ‘Inmigración de Adultos’. Este evento intermedio está integrado por ‘Parcela Adyacente Infestada y Vientos Favorables’ a la mosca pinta, conectados con Y, siendo considerados como eventos independientes. Los adultos de mosca pinta pueden provenir de alguna ‘Parcela Adyacente Infestada con Caña’ O ‘Parcela Adyacente Infestada con Pastos’; estas dos fallas iniciales consideradas como no mutuamente excluyentes, es decir, su ocurrencia no está condicionada entre ellas. Se sabe que la dispersión de adultos de una parcela a otra es limitada (Utrera *et al.* 2004), debido a los hábitos sedentarios de la mosca pinta, por lo que a este evento se le asignó una probabilidad de ocurrencia baja. Sin embargo, la zona de

estudio es un área donde la mayoría de las parcelas de caña de azúcar colindan entre sí, intercaladas con pequeñas áreas de agostadero con pastos. Por tanto, a pesar de que la mosca pinta no se desplaza grandes distancias, los pastos representan focos de infestación para la caña de azúcar, por ser su hospedante natural. La mosca pinta presenta una distribución espacial en agregados, que combinada con las distancias de su desplazamiento indica que los focos de infestación crecen paulatinamente en una temporada y de un año a otro.

Estimación de parámetros. Se calcularon los intervalos de probabilidad de ocurrencia de cada falla inicial. Los valores de probabilidad que aparecen en la parte inferior de las fallas iniciales corresponden al valor promedio de probabilidad del intervalo asignado, mientras que los valores que aparecen en los eventos intermedios y en la falla final de los árboles de fallas corresponden al resultado de la operación booleana aplicada.

Las 'Altas Precipitaciones' concentradas en una época del año y las altas temperaturas de dicha época, son las dos fallas iniciales consideradas como 'Condiciones Ambientales Favorables' (Flores 1994, Peck 1999, López-Collado *et al.* 2003). Cuando estos dos componentes se presentan combinados en los meses de mayo a septiembre, ocurre la eclosión de los huevecillos, y consecuentemente la presencia de ninfas y adultos.

El clima en la zona de estudio presenta lluvia estacional con la siguiente distribución: junio 20%, julio 25%, agosto 17% y septiembre 15%, estos valores se obtuvieron de los registros de precipitación del período 1993 a 2004 de la estación meteorológica del ingenio La Gloria. El análisis de frecuencias del período antes mencionado, indica que la probabilidad de que la cantidad de lluvia sea de 300 mm (± 20) o más (la cual ocurre en los meses de junio y julio) es de 0.80. Se estima que esta cantidad de lluvia en el período antes indicado, promueve la presencia de la mosca pinta.

En cuanto a Altas Temperaturas, se registraron temperaturas promedio mensual mínimas de 25.8°C y máximas de 28.1°C, con promedio de 27.1°C en el período de mayo a agosto. En el análisis de frecuencias, la probabilidad de ocurrencia de estas temperaturas en este período de tiempo fue de 0.70 a 0.90.

Si se cuenta con 'Evidencia de la Presencia de la Plaga', puede ser por dos eventos básicos intrínsecamente relacionados; hubo 'Infestación el Año Anterior' O existe 'Presencia de Ninfas'. La probabilidad para ambos eventos se determinó indirectamente en función de la superficie en la que se aplican anualmente insecticidas, la cual es de alrededor de 50%, y en el supuesto que para el mes de julio se presenta el traslape entre la primera y segunda generación de la plaga, así como la multiplicidad de edades, por lo cual las poblaciones de ninfas son altas. Dicha probabilidad es entre 0.45 y 0.50, tanto para 'Infestación el Año Anterior' como para la 'Presencia de Ninfas'.

Para el caso del factor 'Variedad Susceptible' (MEX-69-290 y CP-72-2086), aproximadamente 65% de la superficie de abasto tiene estas variedades (50% y 15%,

respectivamente). Por lo cual la probabilidad de que esta falla inicial ocurra es de 0.65.

En cuanto al 'Número de Resocas', se encontró que están presentes en intervalos de dos a cinco, aunque puede haber parcelas con más de cinco resocas. Considerando que 77% de la superficie está plantada con resocas y que el número de resocas máximo recomendable es hasta cinco (García 1984), se dividió la cantidad de hectáreas plantadas con resocas entre el número de resocas recomendable (5), además las plantaciones con caña de azúcar con resocas mayores a tres tiene cierta predisposición al ataque de la mosca pinta, por lo que se calculó que en 45% del área de estudio (10.979.4 ha) hay parcelas con más de tres resocas. Cabe considerar que 10% de parcelas cuentan con seis y ocho resocas, por lo que la probabilidad para esta falla inicial se calculó en 0.55.

En lo referido al 'Desarrollo del Cultivo', las regiones cañeras presentan un crecimiento escalonado, dado por sus características de operación. La zafra comienza en la segunda mitad de noviembre y finaliza en la primera mitad de abril, operando en promedio 150 días (cinco meses). Con base en los reportes de las zafras del Comité de la Agroindustria Azucarera, se considera que se cosechan 10, 20, 20, 20, 20 y 10% de la superficie, en noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, respectivamente. Para el período crítico elegido (julio), alrededor de 70% de las plantaciones tienen menos de seis meses de desarrollo, por lo cual la probabilidad de que esta falla se presente es de 0.70.

La 'Presencia de Maleza' en los bordes es muy frecuente, su valor de probabilidad se estimó entre 0.75 a 0.80. De acuerdo con Bianco (1982), la mosca pinta se distribuye espacialmente en agregados. Por otro lado, el mayor número de especies de maleza presente en el cultivo de caña de azúcar son de la familia Poaceae.

Para el evento 'Control Químico Deficiente' se tienen dos eventos no desarrollados: 'Falla la Aplicación' O 'Falta la Aplicación'. Para que la aplicación falle deben incidir varios factores que ya se mencionaron en la evaluación cualitativa, entonces la probabilidad de que esto ocurra es entre 0.20 a 0.30. Por lo cual, para la superficie aplicada en algunas ocasiones se hacen dos y hasta tres aplicaciones de insecticidas por temporada. Esto último debido al traslape entre generaciones y al factor de multiedades de la plaga. Por otra parte, no aplicar plaguicidas es poco frecuente, presentándose principalmente en superficies pequeñas y en donde el productor no cuenta con los insumos disponibles. De esta información, se estima que la probabilidad de ocurrencia de este evento es muy baja, con valores entre 0.01 y 0.05.

En cuanto al evento intermedio 'Inmigración de Adultos', la mayoría de las parcelas con caña de azúcar colindan entre sí, la probabilidad de que la parcela colindante con caña de azúcar esté infestada con adultos de mosca pinta es de 0.40 a 0.50. Estos valores se basan en la superficie a la que se aplica tratamiento para el control de la mosca pinta, la cual fluctúa entre 40 a 50% del total del área. Además, en dicho mes del año las poblaciones de la plaga alcanzan sus poblaciones más altas por los fenómenos de multiplicidad de edades y traslape intergeneracional. Por otro lado, se

encuentran pequeñas áreas de agostadero y potreros con pastos distribuidos en toda la zona de estudio, con mayor frecuencia presentes hacia la parte colindante con los municipios de Actopan y Alto Lucero, en donde la ganadería se practica de manera extensiva. Además de ello, Actopan tiene una superficie considerable con cultivo de arroz, otra Poáceas. Esto sirve para estimar la probabilidad de infestación de la mosca pinta en parcelas con pasto, la cual fue entre 0.20 a 0.30. Las condiciones para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de la mosca pinta se consideran mejores que en caña de azúcar, ya que las Poáceas son hospederas naturales de la plaga, lo que representa focos de infestación para el cultivo de la caña de azúcar. Además, esta zona cuenta con riego, por lo cual a lo largo del año la presencia de humedad es continua en el suelo, factor que favorece a la plaga.

Los 'Vientos', de manera general no son importantes en la dispersión de adultos de esta plaga de una parcela a otra (Utrera *et al.* 2004); sin embargo, se debe considerar que su velocidad y dirección influyen, aunque de manera reducida en su dispersión. Por lo que, la probabilidad de que los adultos sean dispersados por los vientos es relativamente baja, es decir de 0.05 a 0.10.

Enseguida se presentan las operaciones booleanas realizadas para estimar el valor del evento crítico "Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio", también denominado Z (Fig. 2). Los cálculos se hicieron para cada conjunto mínimo de fallas hasta llegar al evento crítico elegido o Z, como sigue:

$$\begin{aligned} P(X_3) &= P(X_1) \cdot P(X_2) = 0,640 \\ P(X_6) &= P(X_4) + P(X_5) = 0,950 \\ P(X_{10}) &= P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) = 0,250 \\ P(X_{13}) &= \{P(X_{11}) + P(X_{12})\} - \{P(X_{11}) \cdot P(X_{12})\} = 0,804 \\ P(X_{14}) &= \{P(X_{10}) + P(X_{13})\} - \{P(X_{10}) \cdot P(X_{13})\} = 0,853 \\ P(X_{17}) &= \{P(X_{15}) + P(X_{16})\} - \{P(X_{15}) \cdot P(X_{16})\} = 0,2725 \\ P(X_{18}) &= \{P(X_{14}) + P(X_{17})\} - \{P(X_{14}) \cdot P(X_{17})\} = 0,893 \\ P(X_{22}) &= \{P(X_{20}) + P(X_{21})\} - \{P(X_{20}) \cdot P(X_{21})\} = 0,588 \\ P(X_{24}) &= P(X_{22}) \cdot P(X_{23}) = 0,044 \\ P(Z) &= \{P(X_{19}) + P(X_{24})\} - \{P(X_{19}) \cdot P(X_{24})\} = 0,563 \end{aligned}$$

Simulación Monte Carlo. Se determinó el mejor tamaño de muestra, encontrándose que en los tamaños de muestra de valores aleatorios probados (10.000; 100.000; 500.000 y 1.000.000), sus medias no presentaron variaciones considerables. Por lo cual, se trabajó con un tamaño de muestra de 10.000 valores aleatorios.

En la simulación realizada para el evento crítico "Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio", se encontró que la probabilidad promedio de ocurrencia de esta falla crítica fue cercana a 0.562, como se observa en la Fig. 4.

En la Tabla 1 se presentan los valores de probabilidad de los principales parámetros de este análisis de variabilidad. El valor promedio de que este evento ocurra es de 0,563, el valor mínimo encontrado (0,417) corresponde al escenario con la probabilidad de ocurrencia más baja; mientras que el valor máximo (0,734) representa el peor escenario. El valor modal y la mediana también están alrededor del valor estimado de probabilidad.

Los valores promedio, moda y mediana están alrededor de la probabilidad final del árbol de fallas (0,563) y alrededor del porcentaje de superficie de la zona a la cual se le aplican tratamientos con insecticidas para el control de la mosca pinta (50%), lo que sugiere que los intervalos estimados para cada parámetro y las interacciones entre ellos representan razonablemente los eventos que ocurren en el sistema real.

Análisis de sensibilidad. Indica cuáles parámetros o componentes del sistema, al ser modificados influyen de manera significativa en el resultado final del modelo. En sistemas físicos, como complejos industriales, los componentes pueden ser modificados o reemplazados. En un sistema biológico no todos los componentes del sistema pueden modificarse, particularmente la temperatura y la precipitación.

Por otra parte, el análisis de sensibilidad numérico indica que al incrementar 10% el valor de probabilidad de cada una de las fallas iniciales, en la salida final del modelo se observó que la 'Precipitación' y la 'Temperatura' son los dos componentes que más influyen en el mismo, seguidos de 'Infestación en el Año Anterior', la 'Presencia de Ninfas' y la 'Presencia de Maleza' (Fig. 5). De las cinco fallas iniciales mencionadas, las dos primeras son fenómenos meteorológicos no manejables. En el caso de las tres fallas iniciales restantes, las cuales están intrínsecamente relacionadas entre sí, pueden ser controladas con un buen plan de manejo, tanto del cultivo como de la plaga, dirigido a la ruptura de su ciclo biológico, y por tanto a disminuir de un año a otro en los puntos de contagio, las poblaciones de la mosca pinta. Lo anterior contrasta con las prácticas actuales de manejo de esta plaga, enfocadas principalmente al control del adulto.

De acuerdo a los resultados del análisis de sensibilidad, los componentes del sistema que pueden controlarse, en el caso de parcelas con alta probabilidad de incidencia de mosca pinta son: infestación en el año anterior, presencia de ninfas

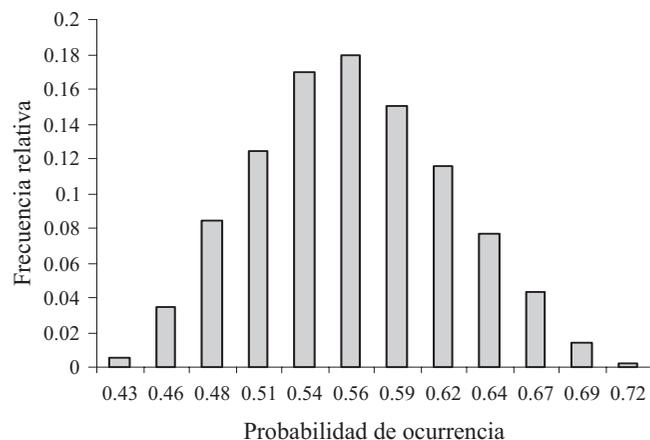


Fig. 4. Distribución de probabilidad del evento crítico "Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio".

Tabla 1. Valores de probabilidad de ocurrencia del evento crítico “Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio” para algunos parámetros.

Parámetro	Estimador
Media	0,563
Moda	0,562
Mediana	0,561
Máximo	0,734
Mínimo	0,417

y presencia de maleza en los bordes de las parcelas. Se recomienda determinar los focos de infestación a través de mapas de superficie de respuesta en el área de estudio. La base de datos generada puede ser constantemente actualizada con muestreos de la plaga y observaciones de campo para que los árboles de fallas funcionen como indicadores del estado del sistema con respecto a la mosca pinta. Esto requiere usar herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, los cuales se han aplicado, por ejemplo, para el análisis de riesgo de la palomilla del nopal *Cactoblastis cactorum* Berg y en el manejo integrado de plagas en general (Ellsbury *et al.* 2000, Zimmermann *et al.* 2005).

De esta manera, las actividades a desarrollar en un plan de manejo preventivo de la plaga, estarían dirigidas hacia áreas específicas, para reducir de manera significativa los costos de operación en el control de dicha plaga, la cantidad

de insumos utilizados y en general aumentar los rendimientos del cultivo de interés.

Establecer un sistema de detección y manejo preventivo, con el apoyo del muestreo de huevecillos invernantes y la aplicación de prácticas culturales que reducen las densidades poblacionales de huevecillos, podría manejar las parcelas o zonas infestadas sin llegar al nivel de daño económico. Además, se sugiere explorar otras tácticas contra los otros estados biológicos de la mosca pinta, ya sea a través de agentes de control biológico-microbiológico, o bien tratando de disolver la “saliva” con la que se protege el estado ninfal; de esta manera no pasaría al estado adulto, que es el que causa el daño al cultivo. Como recurso alterno, se deben realizar estudios de efectividad biológica de insecticidas químicos sintéticos con características más adecuadas a la biología de la plaga, sus potenciales enemigos naturales y al sistema de cultivo.

Aplicación del modelo en condiciones de campo. Los resultados del muestreo de adultos, realizado en los diez lotes seleccionados con alta incidencia de mosca pinta, indican que el modelo predice satisfactoriamente ($F = 13,4$ con $gl = 1, 18, P = 0,0018$), ya que en parcelas con alta incidencia se encontraron 2,4 adultos m^{-1} , mientras que en parcelas de bajo riesgo se encontraron 0,4 adultos m^{-1} (Fig. 6). Como se nota, las parcelas seleccionadas como potenciales de tener altas densidades sí presentaron altas densidades mientras que las predichas con bajas densidades no presentaron densidades arriba del umbral económico.

De manera general, los árboles de fallas representan

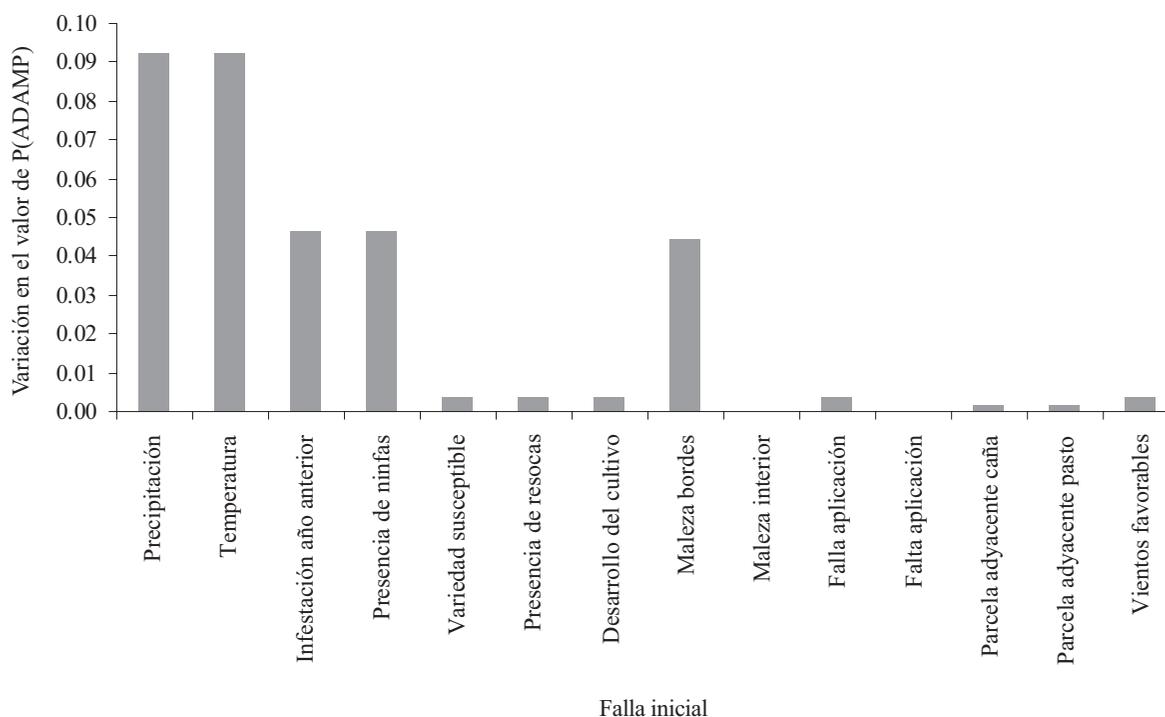


Fig. 5. Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo al cambiar en 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial. Evento crítico “Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio”.

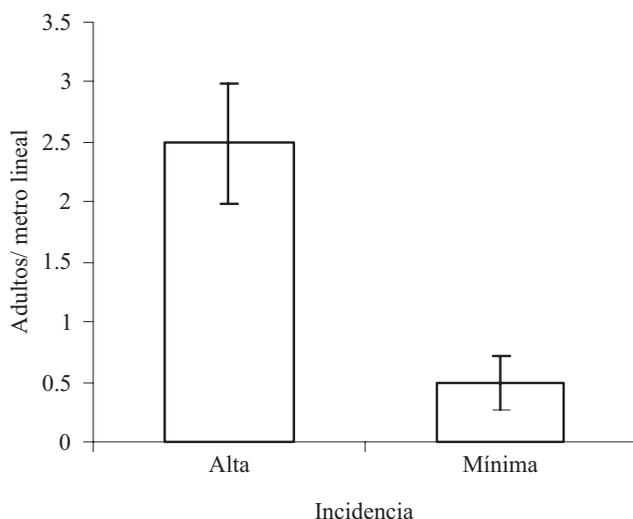


Fig. 6. Resultado del muestreo de adultos de mosca pinta en parcelas con alta incidencia e incidencia mínima. Las líneas verticales indican el error estándar de la media.

adecuadamente los eventos críticos que ocurren en el sistema mosca pinta-caña de azúcar, permiten organizar y sistematizar la información de este sistema para la toma de decisiones en el manejo preventivo de la mosca pinta.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del presente trabajo a través del proyecto: "Un modelo deductivo para el manejo preventivo de *Aeneolamia postica* (Walker)", clave: 38296-B.

Referencias

- Aaron, M. 2000. The applicability and utility of fault tree analysis prior to the diffusion of a technological innovation in an educational setting. In *World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 1*: 57-62. [cita: 10-dic-04] <http://dl.aace.org/1217>.
- A.P.H.I.S. 1996. Importation of avocado fruit (*Persea americana americana*) from Mexico. Supplemental pest risk assessment: Addendum I: Estimates for the likelihood of pest outbreaks based on the draft final rule. USDA Plant Protection and Quarantine (PPQ). Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS). Maryland. 11p.
- Auclair, A.N.D., G. Fowler, M.K. Hennessey, A.T. Hogue, M. Keena, D.R. Lance, R.M. McDowell, D.O. Oryang, & A.J. Sawyer. 2005. Assessment of the risk off introduction of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in municipal solid waste from the quarantine area of New York City to landfills outside of the quarantine area: A pathway analysis of the risk of spread and establishment. *J. Econ. Entomol.* 98: 47-60.
- Bedford, T. & R. Cooke. 2001. Probabilistic risk analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 390p.
- Bianco, R. 1982. Disposición espacial de *Aeneolamia* spp. (Homoptera: Cercopidae) en praderas de gramíneas tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 111p.
- Cardona, C., P. Fory, G. Sotelo, A. Pavón, G. Díaz & J.W. Miles. 2004. Antibiosis and tolerance to five species of spittlebug (Homoptera: Cercopidae) in *Brachiaria* spp.: implications for breeding for resistance. *J. Econ. Entomol.* 97: 635-546.
- COAAZUCAR. 2004. Consulta de resultados de zafra 2003-2004. Comité de la Agroindustria Azucarera, México, D. F. [cita: 10-dic-04]. <http://www.sagarpa.gob.mx/Coazucar/>
- Cruz, L.J.J. De la, J. Vera-Graziano, J. López-Collado, V.M. Pinto & R. Garza-García. 2005. Una técnica simple para el desarrollo de ninfas de *Aeneolamia postica* (Homoptera: Cercopidae). *Folia Entomol. Mex.* 44: 91-93.
- Domínguez, T.A., H.V. Volke H., S.C. Landeros, J.A. Villanueva J. & M.E. Nava, T. 2004. Caracterización del agroecosistema cañero con fines de incrementar su productividad en el ingenio La Gloria, Veracruz, p.28-40. In *Avances de Investigación. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Ver. En CD.*, 165p.
- Ellsbury, M.M., S.A. Clay, S.J. Fleischer, L.D. Chandler & S.M. Schneider. 2000. Use of GIS/GPS Systems in IPM: Progress and reality, p.419-438. In G.G. Kennedy and T.B. Sutton, (eds.), *Emerging technologies for integrated pest management: Concepts, research, and implementation*. Minnesota, APS Press, 526p.
- Enríquez, Q.J.F., N.F. Meléndez & A.E.D. Bolaños. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico No. 7. Veracruz, México. 262p.
- Flores C., S. 1994. Las plagas de la caña de azúcar en México. Ed. Silverio Flores Cáceres, México, D.F., 350p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Adaptación a las condiciones de la República Mexicana. 4ª. ed. Instituto de Geografía, UNAM. México D. F., 246p.
- García, E.A. 1984. Manual de campo en caña de azúcar. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar, Serie Divulgación Técnica. Libro no. 24, México, 469p.
- Hernández S., R., C. Fernández C. & P. Baptista, L. 1991. Metodología de la investigación. 2ª. ed. McGraw-Hill, México, D.F., 501p.
- IMPA. 1984. Curso sobre el cultivo de la caña de azúcar en la Región Córdoba - Xalapa. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Centro Nacional de Investigaciones Azucareras. Amatlán de los Reyes, Ver. 60p.
- Krayer von Krauss, M.P, E.A. Casman & M.J. Small. 2004. Elicitation of expert judgment of uncertainty in the risk assessment of herbicide-tolerant oilseed crops. *Risk Analysis* 24: 1515-1527.

- Law, A.M. & W.D. Kelton. 1991. Simulation modeling and analysis. Second edition, McGraw-Hill, USA, 749p.
- López-Collado, J. 2004. Introducción a la estadística entomológica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, 137p.
- López-Collado, J., H. Bravo M., J. Vera G. & J.A. Villanueva J. 2003. APROBAR: Programa de computo para el análisis probabilístico de riesgos de plagas agrícolas. Entomol. Mexicana 2: 448-449.
- Medina, C.A., S.L. Lapointe & P. Chacón. 1993. Fauna de hormigas asociadas con forrajes tropicales y su implicación como depredadoras de huevos y ninfas del salivazo de los pastos, *Aeneolamia* sp. Rev. Col. Entomol. 19: 143-150.
- NASA. 2000. Fault tree analysis. National Aeronautics and Space Administration. Scientific and Technical Information (STI) Program. Hanover, MD.
- Peck, D.C. 1999. Seasonal fluctuations and phenology of *Prosapia* spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) in upland pastures of Costa Rica. Environ. Entomol. 28: 372-386.
- Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky & W.T. Vetterling. 1989. Numerical recipes in Pascal. Cambridge University Press, Cambridge, 781p.
- Rodríguez C., S.R. 1999. Formulación de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sor. y su evaluación contra *Aeneolamia* spp. (Homoptera: Cercopidae) en caña de azúcar. Tesis de maestría, Veracruz, Colegio de Postgraduados, 91p.
- SAGARPA. 2005. Decreto que abroga el diverso por el que se declara de interés público la siembra, cultivo, cosecha y la industrialización de la caña de azúcar, publicado el 31 de mayo de 1991, así como el decreto que reforma el diverso por el que se declaran de interés público la siembra, cultivo, cosecha y la industrialización de la caña de azúcar, publicado el 27 de julio de 1993. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación. 14 de enero de 2005. Primera Sección. p.8.
- Sotelo, G., Lapointe, S. T. & M.S. Serrano. 1993. Bioensayo para el estudio de antibiosis en *Brachiaria* spp. sobre el salivazo de los pastos, *Aeneolamia varia* (Fabricius) (Homoptera: Cercopidae). Rev. Col. Entomol. 19: 97-100.
- Sujii, E.R., A.M. García, E.M.G. Fontes & V. Carvalho. 1995. Efeito da temperatura e umidade sobre o término da diapausa de ovos e densidade populacional da cigarrinha-das-pastagens, *Deois flavovicta* (Stål) (Homoptera: Cercopidae). Ann. Soc. Entomol. Brasil 24: 465-478.
- Utrera, V.Y., J. López-Collado, J.M. Valdés-Carrasco, H. Bravo-Mojica & J. Vera-Graziano, 2004. Dispersión de adultos de la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Walker) (Homoptera: Cercopidae). Entomol. Mexicana 3: 463-466.
- Vesely W., E., F.F. Goldberg, N.H. Roberts & D.F. Haals. 1981. Fault tree handbook. Systems of Reliability Research, Office of Nuclear Regulatory Research and US Nuclear Regulatory Commission. Washington, D. C. 146p.
- Vose, D. 2000. Risk analysis. John Wiley and Sons, Chichester, 418p.
- Zimmermann, H.G., M. Pérez S.C., J. Goluvob, J. Soberon M. & J. Sarukhán K. 2005. *Cactoblastis cactorum*, una nueva plaga de muy alto riesgo para las opuntias de México. [cita:19-abr-05]. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/cactoblas.html

Received 12/VII/05. Accepted 07/XII/05.