



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

---

**CAMPUS VERACRUZ**  
**PROGRAMA EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE RIESGO PARA EL  
MANEJO PREVENTIVO DE LA MOSCA PINTA**  
*Aeneolamia postica* (Walker) Fennah  
(HEMIPTERA: CERCOPIDAE)

**CARLOS GILBERTO GARCÍA GARCÍA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**VERACRUZ, MÉXICO**

**JULIO, 2005**

---

Cita correcta:

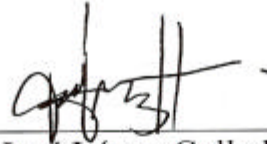
García-García, C. G., 2005. Análisis probabilístico de riesgo para el manejo preventivo de la mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz. México. 94 p.

Comentarios a: [carlosgarcia137@yahoo.com.mx](mailto:carlosgarcia137@yahoo.com.mx)

La presente tesis: “Análisis probabilístico de riesgo para el manejo preventivo de la mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae)”, realizada por Carlos Gilberto García García, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias  
Especialista en Agroecosistemas Tropicales

Profesor Consejero:



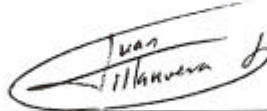
Dr. José López Collado

Asesor:



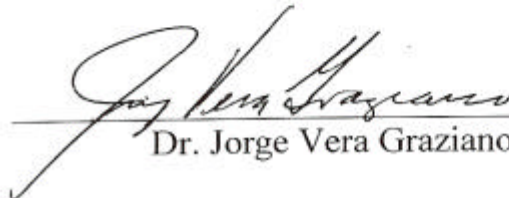
Dra. Martha Elena Nava Tablada

Asesor:



Dr. Juan Antonio Villanueva Jiménez

Asesor:



Dr. Jorge Vera Graziano

*Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México, julio de 2005.*

## AGRADECIMIENTO

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento para realizar el postgrado a través de una beca-crédito; por el apoyo recibido en el proyecto 38296B, “Un modelo deductivo de riesgo para el manejo preventivo de *Aeneolamia postica* (Walker)”, y por la beca recibida del proyecto mencionado.

Dr. José López Collado, quien a través de sus enseñanzas y por las oportunidades inagotables brindadas, me deja lecciones de vida.

Dr. Juan Pablo M. D., Dr. Felipe G. L., Arturo P. V., Pernilla F. y Martín M. por su paciencia y esmero.

Lisette Bustillo y Sonia Salazar, amigas mías interminables.

Todas las personas que en el día a día hicieron placentera mi estancia y corto el camino, entre ellas Fabi, Sofi R., Liliana A., Laura G., Mine H., Norma, Ángeles C., Andrés T.; gracias.

Personal técnico de campo de los ingenios azucareros Central Progreso, Constancia, El Modelo, El Potrero, El Refugio, La Concepción, La Gloria, La Providencia, Motzorongo, San José de Abajo, San Miguelito, San Nicolás y Zapoapita-Pánuco.

Ing. Leopoldo Montero Ramírez, Jefe del Departamento de Plagas del ingenio La Gloria. Su disposición y entereza fueron fundamentales en este trabajo.

MC. Ulises Castro, por sus comentarios y sugerencias.

## **DEDICATORIA**

A las ausentes.

A Carlos García Flores, ese ser extraordinario que siempre está conmigo.

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>III. OBJETIVO GENERAL</b> .....	5
3.1. Objetivos Particulares.....	5
<b>IV. HIPÓTESIS GENERAL</b> .....	6
4.1. Hipótesis Particulares .....	6
<b>V. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
5.1. El Análisis Probabilístico de Riesgos .....	7
5.2. El Enfoque Deductivo.....	8
5.3. El Árbol de Fallas .....	9
5.3.1. Construcción de los Árboles de Fallas.....	10
5.3.2. Evaluación de los árboles de fallas .....	13
5.3.3. Verificación .....	16
5.3.4. Validación.....	17
5.4. Simulación Monte Carlo .....	17
5.5. Análisis de Sensibilidad.....	18
5.6. El Agroecosistema con Base en Caña de Azúcar .....	19
5.7. La “Mosca Pinta” <i>Aeneolamia postica</i> (Walker) Fennah.....	20
5.7.1. Ubicación taxonómica .....	21
5.7.2. Biología y hábitos .....	23
5.7.3. Daños .....	25
5.7.4. Distribución .....	26
5.7.5. Métodos de control.....	28
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	30
6.1. Límites del Sistema .....	30
6.2. Componentes Relevantes del Sistema .....	31
6.3. Selección y Construcción de la Falla Crítica .....	32
6.4. Verificación.....	33
6.5. Evaluación cualitativa.....	33

6.6. Estimación de parámetros .....	33
6.7. Análisis de Sensibilidad .....	35
6.8. Validación.....	35
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
7.1. Límites del Sistema .....	37
7.2. Componentes Relevantes del Sistema .....	37
7.2.1. Precipitación .....	39
7.2.2. Temperatura .....	40
7.2.3. Humedad relativa .....	41
7.2.4. Maleza .....	41
7.2.5. Huevecillo diapáusico .....	42
7.2.6. Ninfa .....	43
7.2.7. Adulto .....	43
7.2.8. Suelo .....	43
7.2.9. Viento .....	45
7.2.10. Enemigos Naturales .....	45
7.2.11. Manejo agronómico .....	46
7.3. Selección de la Falla Crítica, Construcción de los Árboles de Fallas y Verificación ....	47
7.3.1. Árbol de fallas para el evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la</i> <i>Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> .....	48
7.3.1.1. Evaluación cualitativa .....	48
7.3.1.2. Estimación de parámetros.....	53
7.3.1.3. Simulación Monte Carlo .....	57
7.3.1.4. Análisis de Sensibilidad.....	59
7.3.1.5. Validación.....	61
7.3.2. Árbol de fallas para el evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la</i> <i>Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)</i> .....	61
7.3.2.1. Evaluación cualitativa .....	61
7.3.2.2. Estimación de parámetros.....	64
7.3.2.3. Simulación Monte Carlo .....	66
7.3.2.4. Análisis de Sensibilidad.....	67
7.3.3. Árbol de fallas para el “evento crítico” <i>Bajas Densidades de Adultos de la</i> <i>Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> .....	69
7.3.3.1. Evaluación cualitativa .....	69
7.3.3.2. Estimación de parámetros.....	72
7.3.3.3. Simulación Monte Carlo .....	74
7.3.3.4. Análisis de Sensibilidad.....	75
7.3.3.5. Validación.....	76

<b>VIII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>X. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>80</b>
<b>XI. ANEXOS .....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo 1.</b> Entrevista- Temario de la investigación “Un modelo deductivo de riesgos para el manejo preventivo de la mosca pinta <i>Aeneolamia postica</i> Walker (Hemiptera: Cercopidae)”.....	92
<b>Anexo 2.</b> Inspección de lotes sembrados con caña de azúcar para predecir el riesgo de ocurrencia de la mosca pinta.....	93
<b>Anexo 3.</b> Parcelas con caña de azúcar verificadas y muestreadas .....	94



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Simbología utilizada en la elaboración de los árboles de fallas (Tomado de Vesely <i>et al.</i> , 1981). .....	11
<b>Cuadro 2.</b> Principales leyes y propiedades del álgebra booleana (Tomado de Vesely <i>et al.</i> , 1981). .....	14
<b>Cuadro 3.</b> Meses de desarrollo de las plantaciones de caña de azúcar para el mes de julio. ....	55
<b>Cuadro 4.</b> Valores de probabilidad de ocurrencia del evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> para algunos parámetros. ....	58
<b>Cuadro 5.</b> Valores de probabilidad de ocurrencia del evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)</i> para algunos parámetros. ....	67
<b>Cuadro 6.</b> Parámetros estimados para el evento <i>Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Secuencia lógica que deben tomar los eventos en la construcción de los árboles de fallas. Para que ocurra A, debe ocurrir B ó C con cierta probabilidad. ....	12
<b>Figura 2.</b> Interpretación del funcionamiento del símbolo booleano “O”: $A = B + C$ .....	12
<b>Figura 3.</b> Interpretación del funcionamiento del símbolo booleano “Y”: $A = B \cdot C$ .....	13
<b>Figura 4.</b> Distribución geográfica de la mosca pinta en México (Tomado de Coronado y Sosa, 1966). ....	27
<b>Figura 5.</b> Área municipal de influencia de los ingenios azucareros La Gloria y El Modelo.....	30
<b>Figura 6.</b> Componentes del sistema mosca pinta-caña de azúcar. Las cajas corresponden a los componentes, mientras que las líneas representan sus interacciones (Modificado de López-Collado <i>et al.</i> , 2003). ....	37
<b>Figura 7.</b> Importancia relativa de los componentes del sistema mosca pinta-caña de azúcar. ....	38
<b>Figura 8.</b> Distribución acumulada de la precipitación promedio mensual en el período 1993-2004. Estación meteorológica ingenio azucarero La Gloria, Veracruz. ....	39
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de la temperatura promedio mensual en el período 1993-2004. Estación meteorológica del Ingenio Azucarero La Gloria. El área sombreada indica las temperaturas más altas alcanzadas durante el año, que coinciden con la presencia de la mosca pinta. ....	41
<b>Figura 10.</b> Unidades de suelo en la zona cañera de los ingenios La Gloria y El Modelo, Veracruz (Adaptado de INEGI, s/f). ....	44
<b>Figura 11.</b> Árbol de fallas para el evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . Los valores asociados a los eventos corresponden a las probabilidades estimadas de ocurrencia, y las letras representan los eventos. ....	49
<b>Figura 12.</b> Las “condiciones agronómicas” del árbol de fallas para el evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	50
<b>Figura 13.</b> Probabilidad de ocurrencia de la falla final para diferentes tamaños de muestra generados mediante simulación Monte Carlo. ....	58
<b>Figura 14.</b> Distribución de probabilidad del evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	59
<b>Figura 15.</b> Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo al cambiar en 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial. Evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	60

<b>Figura 16.</b> Resultado del muestreo de adultos de mosca pinta en parcelas con alta incidencia e incidencia mínima. ....	61
<b>Figura 17.</b> Árbol de fallas para el evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)</i> . ....	63
<b>Figura 18.</b> Distribución de probabilidad del evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de abril)</i> . ....	66
<b>Figura 19.</b> Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo, al cambiar en un 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial. Evento crítico <i>Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Julio)</i> . ....	68
<b>Figura 20.</b> Árbol de fallas para el evento <b>condiciones no apropiadas en la parcela</b> del evento crítico <i>Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	70
<b>Figura 21.</b> Árbol de fallas para el evento <b>condiciones no apropiadas en la parcela</b> , del evento crítico <i>Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	71
<b>Figura 22.</b> Distribución de probabilidad del evento crítico <i>Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio</i> . ....	74
<b>Figura 23.</b> Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo al cambiar en 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial. ....	76

## **ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE RIESGO PARA EL MANEJO PREVENTIVO DE LA MOSCA PINTA *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (HEMIPTERA: CERCOPIDAE)**

### **RESUMEN**

Esta investigación aplicó la metodología de árbol de fallas para construir un modelo deductivo de riesgo, que incluyó la secuencia de los eventos que conducen a Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta *Aeneolamia postica* en el Mes de Julio en Veracruz, México. Se construyeron y analizaron otras dos fallas críticas: Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el mes de julio (Evaluado en el mes de abril) y Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de julio. Fueron identificados y cuantificados los eventos, y se validó el modelo en condiciones de campo para Altas Densidades de Adultos en el mes de julio. Los componentes del sistema mosca pinta-caña de azúcar relacionados con la dinámica de la plaga fueron: temperatura, precipitación, humedad relativa, tipo de suelo, parcelas adyacentes, control de maleza, vientos, variedad, estado de desarrollo, control químico y biológico y riegos. El análisis de sensibilidad indicó que los eventos más importantes que propician Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el mes de julio son temperatura y precipitación, la infestación en el año anterior, la presencia de ninfas y la presencia de maleza. Para el mes de abril, las principales fallas fueron presencia de huevecillos invernantes, contenido de arcillas en el suelo = 40% y presencia de maleza en los bordes de las parcelas. Para Bajas Densidades de Adultos en el mes de julio se encontró que la no inmigración de adultos, no infestación el año anterior, el control químico eficiente y la no detección de ninfas en la parcela fueron las fallas iniciales más importantes. La probabilidad de cada una de las fallas críticas evaluadas fue 0.563, 0.336 y 0.686. Se validó el modelo comparando parcelas con altas y bajas probabilidades de ocurrencia de la plaga, encontrando diferencia significativa ( $F = 13, 4, gl = 1, 18, p = 0.0018$ ) entre parcelas con alta incidencia ( $2.4 \text{ adultos m}^{-1}$ ) y parcelas con baja incidencia ( $0.4 \text{ adultos m}^{-1}$ ) previstos en el modelo.

**PALABRAS CLAVE:** Caña de azúcar, árbol de fallas, análisis de sistemas, simulación Monte Carlo, manejo integrado de plagas

**PROBABILISTIC RISK ANALYSIS TO PREVENTIVE MANAGEMENT OF  
SPITTLEBUG *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (HEMIPTERA: CERCOPIDAE)**

**ABSTRACT**

This research applied the fault tree methodology to build a risk deductive model which included the events sequence leading to damaging *Aeneolamia postica* adult populations in the month of July, considered the top event or critical failure in the crop. In addition, two critical failures and their fault trees were constructed and analyzed: High densities of *A. postica* evaluated in April and low densities occurring in July. Model events were identified and quantified, and model was validated on field conditions for the occurrence of high densities in July. The froghopper-sugar cane system components related to the pest dynamics were identified as: temperature, precipitation, relative humidity, soil type, adjoining crops, weed control, wind, crop variety and phenology, chemical and biological control and irrigation. Sensitivity analysis showed that the most important events triggering high densities of *A. postica* in July were high temperatures and precipitation, previous field infestation, nymph and weed presence. For the April model, main events were: overwintering eggs presence, soil clay content higher than 40% and weed occurrence in field borders. The model for low densities in July had as main components failure of adult immigration, failure of infestation the previous year, efficient chemical control and failure to detect nymphs. Event probability estimates were combined using Boolean algebra to compute probabilities for the top events, yielding values of 0.563, 0.336 y 0.686 for high densities in July, high densities evaluated in April and low densities in July. Model validity was tested by comparing high-risk and low-risk sugar cane fields. High-risk fields had significantly ( $F = 13, 4, gl = 1, 18, p = 0.0018$ ) higher densities (2.4 adults  $m^{-1}$ ) than low-risk plots (0.4 adults  $m^{-1}$ ) thus agreeing with the model forecast.

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

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar es considerado de gran importancia económica para muchas familias que habitan en los trópicos y subtrópicos de México y el mundo, tanto por la superficie sembrada, como por el monto de recursos monetarios operados, y por la derrama económica que involucra (Colegio de Postgraduados, 2003).

Los principales países productores de este cultivo son Brasil (27.9%), La India (21.6%), China (6.4%), Tailandia (4.9%), Pakistán (3.7%), México (3.5%), y el resto de los países productores con 31.9% (FAO, 2004). En México son cultivadas aproximadamente 610,000 ha, de las cuales 58% son de temporal y 42% de riego. Las principales entidades federativas que cultivan caña de azúcar son Veracruz (38.5%), Jalisco (11.4%), San Luis Potosí (8.7%), Oaxaca (5.3%), Chiapas (5.3%), Nayarit (3.8%); el resto de los estados participan con 26.7%. El rendimiento promedio de campo en la zafra 2003-2004 fue  $74.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  y su precio promedio de \$350.8 por tonelada, mientras que el rendimiento promedio en fábrica fue  $8.24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , con precio promedio de \$5,187.6 por tonelada. Aproximadamente 0.5% del Producto Interno Bruto (PIB) de México corresponde a esta actividad, ya que de ella dependen 440 mil familias con empleos permanentes y temporales en 227 municipios de 15 estados del país; es decir, 2.5 millones de mexicanos dependen directamente de la agroindustria azucarera (Toledo, 1993; COAAZUCAR, 2004; Secretaría de Economía, 2004; SAGARPA, 2005).

Este cultivo enfrenta diversos problemas en sus fases de organización, capacitación, financiamiento, infraestructura, tecnología, asesoría técnica, industrialización, comercialización e investigación (Colegio de Postgraduados, 2003). En el caso de la investigación, el área del manejo de plagas ha quedado en segundo plano, debido al diseño de estrategias de corto alcance y no preventivas.

Son varias las plagas y enfermedades que afectan el rendimiento de este cultivo. La mosca pinta, *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah (Hemiptera: Cercopidae) es una de sus principales plagas, ya que disminuye el rendimiento en  $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (De la Cruz *et al.*, 2005).

A pesar de la importancia de esta plaga, el control se realiza cuando se presentan densidades de la plaga que podrían ser dañinas. Es deseable, por lo tanto, desarrollar métodos que permitan determinar y estimar los riesgos de la ocurrencia de densidades dañinas de la mosca pinta. Esto permitiría proponer medidas preventivas de control, para minimizar los riesgos de daño, tanto al cultivo como al ambiente, por la presencia de la plaga como por aplicación de insecticidas químicos, respectivamente.

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, considerando como falla un evento o eventos que en determinado estado “anormal” conduce a un final indeseable. Es una técnica deductiva, pues a partir de un evento particular se determinan y cuantifican sus causas. El desarrollo y análisis de árboles de fallas es 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 (Buck, 1997; Aaron, 2000; NASA, 2000; Bedford y Cooke, 2001; Hadipriono, 2001; Papadopoulos, 2003).

Vesely *et al.* (1981) recomiendan que la metodología de árboles de fallas puede ser aplicada a otros tipos de sistemas, pues los principios en los que se basa son aplicables a cualquier sistema. Esta metodología consiste en delimitar el sistema bajo estudio, identificar los componentes relevantes, seleccionar una falla crítica, determinar los eventos que conducen a dicha falla en el sistema, verificar la consistencia del modelo, calcular las probabilidades de ocurrencia de la falla crítica seleccionada y validar dicho modelo (NASA, 2000). Esta metodología es potencialmente utilizable en sistemas agrícolas para el manejo preventivo de plagas, ya que estos sistemas tienen componentes físicos que incluyen al cultivo, a los suelos, a las condiciones ambientales y al insecto plaga, entre otros.

En producción vegetal, pueden definirse varias fallas críticas. Por ejemplo una reducción en el rendimiento o reducción en la ganancia del cultivo. Desde el punto de vista del manejo de plagas, una falla o evento crítico ocurre cuando las poblaciones alcanzan densidades dañinas; este evento, junto con la ocurrencia de un cultivo en estado susceptible y condiciones

ambientales favorables, pueden conducir a reducciones importantes en el rendimiento y, consecuentemente a pérdidas económicas.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar árboles de fallas que permitan determinar y evaluar escenarios que conducen a densidades dañinas de la mosca pinta. 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.



## II. PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En general, el control de la mosca pinta se realiza al observar a la plaga en el cultivo, por lo que se toman medidas de control de corto alcance, y se aplican insumos químicos en cantidades que pueden afectar a las cadenas tróficas, y por tanto al hombre. Por otra parte, no se cuenta con metodologías para determinar el riesgo de daño como una herramienta para la toma de decisiones en el control de la mosca pinta; por lo tanto, en esta investigación se identifican los eventos que conducen a la ocurrencia de densidades dañinas de la mosca pinta y se exploran sus implicaciones en cuanto al manejo preventivo de esta plaga.

El manejo preventivo de plagas son una serie de prácticas de índole cultural, biológico, físico o químico dirigidas a repeler o controlar al estado biológico de la plaga que causa daños al cultivo antes de que se presente. Tiene ventajas como reducir los costos en el control de la plaga, disminuir el impacto negativo por la aplicación de insumos químicos al ambiente, y se mejora la planificación de las actividades, entre otras. En el caso de la mosca pinta, si se pudiera estimar su densidad y distribución poblacional de manera anticipada a su ocurrencia, se podrían tomar medidas preventivas para controlar a los huevecillos o al estado ninfal de manera dirigida, y con ello se prevendría la presencia del estado adulto, que es el que causa los mayores daños.

### **III. OBJETIVO GENERAL**

Construir árboles de fallas (modelos deductivos) que representen los eventos en el sistema mosca pinta-caña de azúcar.

#### **3.1. Objetivos Particulares**

- ? Construir y validar árboles de fallas que representen los eventos que conducen a altas densidades de la mosca pinta.
- ? Construir y validar árboles de fallas que representen los eventos que intervienen para que la mosca pinta no se presente en altas densidades.
- ? Evaluar las distribuciones de probabilidades en la estimación del riesgo en los árboles de fallas del sistema mosca pinta-caña de azúcar.

## **IV. HIPÓTESIS GENERAL**

Los árboles de fallas permiten identificar los eventos en el sistema que favorecen la ocurrencia de altas poblaciones de mosca pinta en caña de azúcar en una zona determinada.

### **4.1. Hipótesis Particulares**

- ? Los eventos que conducen a altas densidades de adultos de la mosca pinta en la zona cañera de Cardel, Veracruz, son la presencia de la plaga en años anteriores, las condiciones ambientales favorables (altas temperaturas y altas precipitaciones), un manejo agronómico convencional y el control químico deficiente.
  
- ? Los eventos que inciden para que la mosca pinta no se presente en densidades dañinas, son las condiciones ambientales desfavorables (temperaturas frescas y precipitaciones medias) y el control químico eficiente.

## V. MARCO TEÓRICO

### 5.1. El Análisis Probabilístico de Riesgos

El análisis probabilístico de riesgos es una herramienta aplicada en diversas áreas de la ciencia y la tecnología en la toma de decisiones, ya que permite identificar, evaluar y cuantificar los riesgos de una manera objetiva, comprensible y con un nivel de precisión aceptable. Dicha metodología es considerada de gran utilidad para el análisis de sistemas complejos, ya que a través de ésta se puede mejorar su funcionamiento; consiste en identificar el riesgo a analizar, describirlo, hacer un análisis cualitativo y cuantitativo previo del riesgo y de las formas en que puede ser manejado o controlado, y probar las estrategias de manejo del riesgo en todos los niveles que involucre (Buck, 1997; Vose, 2000; Bedford y Cooke, 2001).

El análisis probabilístico de riesgos es de uso común en la mayoría de las industrias del mundo, no así en sistemas agrícolas. Su uso está dirigido a la adquisición ordenada y oportuna de información de un sistema para la toma de decisiones, siendo ésta su principal función (Vesely *et al.*, 1981).

Existen diferentes técnicas para estimar riesgos, las cuales son seleccionadas en función a los objetivos y a los medios disponibles para alcanzarlos. Las técnicas utilizadas pueden ser cualitativas o cuantitativas, generalmente probabilísticas. Por ejemplo, la técnica Delphi, utiliza la experiencia práctica y de investigación de profesionales en el área de interés para determinar los niveles de riesgo. Así también, con frecuencia son utilizados los índices, que se basan en características medibles de los componentes de interés. Otra técnica es la actuarial, que requiere de conocimientos básicos sobre el sistema y una amplia base de datos (Buck, 1997).

Para ampliar la comprensión del lenguaje usado en esta área de investigación se presentan las siguientes definiciones:

Riesgo.- es la probabilidad y las consecuencias de que un evento indeseable ocurra en un sistema (Buck, 1997; Bedford y Cooke, 2001).

Evento.- es un fenómeno que tiene una ocurrencia puntual, y generalmente está fuera de ser controlado.

Componente.- se entiende como un elemento del sistema, o bien un subsistema que es imprescindible e interactúa con otros.

Probabilidad de ocurrencia.- es la posibilidad de que se presente algún evento crítico en el sistema bajo estudio, y su valor va de 0 a 1.

Causalidad.- es la determinación de las causas de las interrelaciones entre una serie de eventos para acercarse a la interpretación de lo que ocurre en un sistema (Plant y Stone, 1991).

Sistema.- es un ente determinado en donde una colección discreta de elementos interactúan entre sí con un determinado propósito. Sus componentes son definidos de manera arbitraria de acuerdo a los objetivos deseados, es decir, tiene un número finito de componentes, los cuales están en constante interacción con un propósito; esto es, los elementos o componentes del sistema por sí mismos no tienen el mismo propósito que la suma de todos estos elementos. Parte del éxito en el conocimiento del sistema bajo estudio radica en determinar adecuadamente sus límites internos y externos, e identificar los subsistemas o componentes presentes en él, y con ello las interacciones básicas que existen entre ellos (Vesely *et al.*, 1981; Law y Kelton, 1991).

## **5.2. El Enfoque Deductivo**

El razonamiento deductivo implica partir de lo general hacia lo particular. Este razonamiento deductivo lo aplicamos en nuestra vida cotidiana para la resolución de problemas. Por ejemplo, para realizar algún diagnóstico, implica razonar en retrospectiva; en otras palabras, buscamos las causas de lo ocurrido (Vesely *et al.*, 1981).

En la toma de decisiones para la resolución de un problema dado, primero exploramos las posibles alternativas de solución, luego elegimos e investigamos aquellas que mejor resuelvan el problema y que optimicen el tiempo y recursos; enseguida hacemos una representación de la realidad a través de un modelo, y finalmente tomamos una decisión, que posteriormente es evaluada (López-Collado, 2004; Simon, 1960; Vesely *et al.*, 1981).

En la investigación de sistemas, es muy difícil manejar un sistema real. Por lo tanto, es necesario crear modelos para abordar los problemas a resolver. De manera general, un modelo es definido como una abstracción del mundo real, en el cual se representan los componentes de un sistema y sus interacciones (Saravia, 1985).

Los modelos son creados para diferentes usos de acuerdo a las necesidades del área de interés. Entre ellos están los físicos, que pueden ser icónicos o analógicos. Los primeros representan físicamente al sistema real con una transformación a escala, mientras que los segundos representan al sistema original, aunque el modelo no lo represente físicamente. También existen los modelos simbólicos, que pueden ser estáticos o dinámicos. Los modelos del primer tipo representan al sistema en un tiempo dado, también se incluyen aquellos donde el tiempo no juega un papel importante. En los modelos dinámicos el tiempo es un componente importante de la simulación. En este último tipo de modelos, los hay estocásticos y determinísticos. Los estocásticos contienen componentes aleatorios o probabilísticos, mientras que los determinísticos no contienen componentes probabilísticos, es decir, el resultado puede ser determinado con exactitud. En la investigación con enfoque de sistemas, los modelos usados con mayor frecuencia son los estáticos, dinámicos, estocásticos y determinísticos (Forrester, 1971; Conway *et al.*, 1975; Saravia, 1985; Law y Kelton, 1991; Brown y Rothery, 1993; López-Collado, 2004).

### **5.3. El Árbol de Fallas**

El árbol de fallas es una metodología de análisis de riesgos para identificar combinaciones de fallas en un sistema; es considerado una de las mejores maneras de identificar sistemática y gráficamente fallas (Vesely *et al.*, 1981). En otras palabras, es un diagrama lógico que representa ciertos eventos que ocurren en un orden determinado para que otros eventos ocurran. El propósito de la técnica de árbol de fallas es obtener y sistematizar metodológicamente información de un sistema para la toma de decisiones (Vesely *et al.*, 1981).

Los árboles de fallas son utilizados en diferentes áreas de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, en procedimientos clínicos, nucleares, de seguridad, químicos, y otras (Cavallaro y Walker, 1997; Brooke y Payge, 2003; Rigas *et al.*, 2003; Thomadsen *et al.*, 2003).

Heinrich en 1941, desarrolló esta metodología y posteriormente la compañía Bell Telephone Laboratories en 1961 la utilizó para incrementar la confiabilidad en el sistema de lanzamiento de misiles (Schlingloff, 2001).

Los principales objetivos de esta metodología consisten en buscar sistemáticamente los eventos que llevan a la falla crítica de un sistema, proporcionar una representación visual de cómo el sistema funciona incorrectamente, precisar los aspectos críticos del comportamiento del sistema, proporcionar referencias para evaluar las modificaciones al sistema, y generar una base de datos para el análisis cuantitativo y cualitativo de la falla crítica identificada (Vesely *et al.*, 1981).

El álgebra Boleana es importante en situaciones en las que se involucra la dicotomía (Vesely *et al.*, 1981); por ejemplo, ocurrencia o no ocurrencia de determinado evento, efecto de la aplicación o no aplicación de insecticida para el control de la mosca pinta, entre otros. Para la resolución de problemas con el enfoque de sistemas, en donde el investigador debe considerar los componentes y sus interacciones de la manera más amplia posible, se utiliza principalmente la “heurística”, técnica que utiliza diferentes métodos exploratorios para la resolución de problemas. También se le conoce como una técnica basada en la experiencia o conocimiento empírico o basada en fuentes históricas (Soukhanov, 1992; Alonso, 2001).








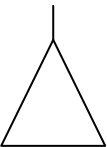
### **5.3.1. Construcción de los Árboles de Fallas**

Una vez definida la falla crítica, se determinan sus causas de una manera lógica y secuencial; se enumeran una serie de preguntas con sus respectivas respuestas en orden descendente, mediante el uso de los conectores booleanos “Y” y “O”.

Con la finalidad de estandarizar la representación gráfica de los árboles de fallas, se han elegido ciertos símbolos de uso frecuente y común, mismos que se presentan en el Cuadro 1.

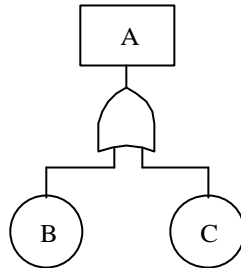
**Cuadro 1.** Simbología utilizada en la elaboración de los árboles de fallas (Tomado de Vesely *et al.*, 1981).

**SIMBOLOGÍA**

<b>Conectores</b>		
<b>Símbolo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Significado</b>
	Conector Boleano Y	El evento resultante ocurrirá, si y sólo si todos los eventos de entrada ocurren.
	Conector Boleano O	El evento resultante ocurrirá, si al menos uno de los eventos de entrada ocurren.
<b>Eventos primarios</b>		
	Evento inicial	No requiere de mayor desarrollo, es considerado como una falla básica.
	Evento no desarrollado	Sus causas no son desarrolladas, ya sea por falta de información, o bien por que simplemente no es de interés.
	Evento condicionante	Condiciona o restringe algunos eventos; usado principalmente con el conector Boleano Y.
	Evento externo	Evento que normalmente se espera que ocurra.
<b>Eventos intermedios</b>		
	Evento intermedio	Es el resultado de la combinación de eventos iniciales a través de los conectores Boleanos.
<b>Transferencia</b>		
	Evento desarrollado más adelante	Indica que el árbol sigue en otro sitio, es decir, en otra página.

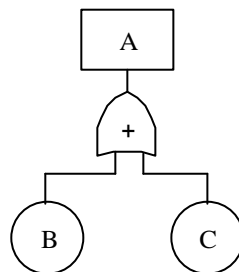


Por ejemplo, para que ocurra el evento A, ¿cuáles son los eventos que deben ocurrir previamente?; entonces mediante un análisis retrospectivo, la respuesta quedará definida que deben ocurrir los eventos B ó C, como se ilustra en la Figura 1.



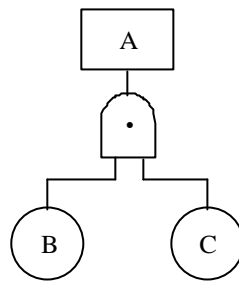
**Figura 1.** Secuencia lógica que deben tomar los eventos en la construcción de los árboles de fallas. Para que ocurra A, debe ocurrir B ó C con cierta probabilidad.

El símbolo booleano “O” representa la unión de los eventos en el álgebra booleana, y está representado por el símbolo (+). Por ejemplo,  $A = B + C$ , cualquiera de los dos eventos B ó C que ocurra, o bien la ocurrencia de ambos, propicia que ocurra A. Lo anterior es ilustrado en la Figura 2.



**Figura 2.** Interpretación del funcionamiento del símbolo booleano “O”:  $A = B + C$ .

El símbolo booleano “Y” representa la intersección de los eventos en el álgebra booleana, y está representado por el símbolo ( $\cdot$ ). Por ejemplo,  $A = B \cdot C$ ; A ocurrirá, si y solamente si B y C ocurren previamente. Esto se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3.** Interpretación del funcionamiento del símbolo booleano “Y”:  $A = B \cdot C$ .

### 5.3.2. Evaluación de los árboles de fallas

Una vez elaborado el árbol de fallas, se procede a la evaluación de sus características cualitativas y cuantitativas (también llamada estimación de parámetros), las cuales se pueden obtener formulando ecuaciones booleanas, mismas que se derivan mediante las leyes y propiedades básicas del álgebra booleana, que son la ley de la absorción y las propiedades conmutativa, asociativa, distributiva e idempotente, como se muestran en el Cuadro 2.

La evaluación o cuantificación de los árboles de fallas puede hacerse de dos maneras, una cualitativa y otra cuantitativa (estimación de parámetros). De la cualitativa se obtienen los conjuntos mínimos de fallas del árbol, la importancia cualitativa de los componentes y la combinación de los conjuntos mínimos de fallas que pueden causar en común la falla final. De la cuantitativa se obtienen las probabilidades absolutas de la falla final, la importancia cuantitativa de los componentes y de los conjuntos mínimos de fallas, y la probabilidad relativa de la evaluación (Vesely *et al.*, 1981). Un conjunto mínimo de fallas es la combinación de una fracción del sistema o fallas iniciales que causan la falla final, el cual es la descomposición más simple de una parte del sistema (Vesely *et al.*, 1981).

La información que tenemos de nuestro entorno, especialmente de los sistemas agropecuarios, se obtiene por experiencia, por tanto los análisis iniciales que se realicen al sistema agropecuario deben ser más bien con un enfoque cualitativo (Plant y Stone, 1991).

**Cuadro 2.** Principales leyes y propiedades del álgebra booleana (Tomado de Vesely *et al.*, 1981).

Símbolo matemático	Símbolo en ingeniería	Nombre
$X \cap Y = Y \cap X$	$X \cdot Y = Y \cdot X$	Ley Conmutativa
$X \cup Y = Y \cup X$	$X + Y = Y + X$	
$X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$	$X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$	Ley Asociativa
	$X (Y Z) = (X Y) Z$	
$X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$	
$X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$	$X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$	Ley Distributiva
	$X (Y + Z) = X Y + X Z$	
$X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$	$X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$	
$X \cap X = X$	$X \cdot X = X$	Ley del Idempotente
$X \cup X = X$	$X + X = X$	
$X \cap (X \cup Y) = X$	$X \cdot (X + Y) = X$	Ley de la Absorción
$X \cup (X \cap Y) = X$	$X + X \cdot Y = X$	
$X \cap X' = \emptyset$	$X \cdot X' = \emptyset$	Complementación
$X \cup X' = ? = ?^*$	$X + X' = ? = ?$	
$(X')' = X$	$(X')' = X$	
$(X \cap Y)' = X' \cup Y'$	$(X \cdot Y)' = X' + Y'$	Teorema de Morgan
$(X \cup Y)' = X' \cap Y'$	$(X + Y)' = X' \cdot Y'$	
$\emptyset \cap X = \emptyset$	$\emptyset \cdot X = \emptyset$	Operaciones con $\emptyset$ y $?$
$\emptyset \cup X = X$	$\emptyset + X = X$	
$? \cap X = X$	$? \cdot X = X$	
$? \cup X = ?$	$? + X = ?$	
$\emptyset' = ?$	$\emptyset' = ?$	
$? ' = \emptyset$	$? ' = \emptyset$	
$X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$	$X + X' \cdot Y = X + Y$	Estas son usadas con frecuencia en los procesos de reducción.
$X' \cap (X \cup Y') = X' \cap Y' = (X \cup Y)'$	$X' \cdot (X + Y') = X' \cdot Y' = (X + Y)'$	

\* El símbolo ? es frecuentemente usado en lugar de ? para designar al Conjunto Universal. En ingeniería, la notación ? es frecuentemente reemplazada por 1.

La evaluación cuantitativa de los árboles de fallas está directamente relacionada con la teoría de la probabilidad, con la cual podemos asignar valores de probabilidad a los eventos, ya que éstos son los que componen a los árboles de fallas (Vesely *et al.*, 1981).

Para realizar las evaluaciones cualitativa y cuantitativa, primero se identifican todos los puentes lógicos (Y–O) y las fallas iniciales. Enseguida se deben eliminar los eventos repetidos en los conjuntos mínimos de fallas con las leyes y propiedades básicas del álgebra booleana. Éstas son la ley de la absorción y las propiedades conmutativa, asociativa, distributiva e idempotente, para lograr transformar el árbol de fallas en funciones lógicas, consiguiendo con ello eliminar las redundancias de valores que se traslapan (Vesely *et al.*, 1981).

El teorema de Bayes, consiste en la determinación de la probabilidad del evento crítico seleccionado a partir de la condición de que ocurran los eventos iniciales; para lo cual se contrastan las evidencias de los eventos con las hipótesis formuladas. Es utilizado cuando existe incertidumbre para la obtención de la información del sistema y en los valores de probabilidad asignados a los eventos que conducen al evento crítico (Hopgood, 1993).

La probabilidad de ocurrencia del evento presenta las siguientes características (López-Collado, 2004):

si  $P(A) = 1$ , entonces ocurrirá la falla;

si  $P(A)$ ,  $0 < P(A) < 1$ , entonces existe la probabilidad de ocurrir, de acuerdo al intervalo;

si  $P(A) = 0$ , entonces es imposible que ocurra dicha falla;

Enseguida son mencionadas las operaciones algebraicas booleanas que se utilizan con mayor frecuencia en los árboles de fallas:

Cuando los eventos son mutuamente excluyentes las probabilidades se suman. Por ejemplo  $P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B)$ . Si por el contrario, los eventos no son mutuamente excluyentes las probabilidades se suman individualmente y se restan las probabilidades combinadas de los eventos. Por ejemplo  $P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B) - P(A \text{ y } B)$ .

Cuando los eventos son mutuamente independientes las probabilidades se multiplican. Por ejemplo  $P(A \text{ y } B) = P(A) \cdot P(B)$ . Si los eventos son mutuamente interdependientes las probabilidades se multiplican individualmente y de manera combinada, es decir existe probabilidad condicional. Por ejemplo  $P(A \text{ y } B) = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B)$

El método para calcular las probabilidades de los eventos iniciales en ocasiones es confuso o difícil de definir. Por lo cual, la estimación de estos valores se basa principalmente en el juicio profesional del investigador y en comparaciones subjetivas con otros eventos (Buck, 1997).

Cuando se utiliza la metodología de árboles de fallas para evaluar eventos críticos en un sistema dinámico, las probabilidades de los eventos iniciales o básicos se estiman para un tiempo dado. Es decir, los árboles de fallas representan una fotografía del sistema (Buck, 1997).

### **5.3.3. Verificación**

Antes de usar cualquier modelo se debe observar si éste representa al sistema de interés. La verificación de un modelo es un proceso iterativo que requiere de diferentes actividades sistemáticas; es decir, el modelo debe ser sometido a una constante y permanente auscultación con la finalidad de interpretar lo mejor posible la realidad. Lo cual se logra cuando el modelo es sometido a diferentes escenarios o condiciones, tanto esquemáticamente como en sus interrelaciones en el sistema real (Saravia, 1985; Deaton y Winebrake, 2000). En otras palabras, el modelo debe ser consistente o lógico.

Un aspecto importante que debe ser considerado cuando el modelo presenta desviaciones en uno o varios de sus componentes, así como en sus parámetros, en relación con el comportamiento real del sistema, es la calibración de dicho modelo; es decir, el modelo debe ser ajustado al sistema real, de tal manera que la representación que haga del sistema sea lo más fidedigna posible (Law y Kelton, 1991).

#### **5.3.4. Validación**

Goodenough y McKinion (1992), así como Deaton y Winebrake (2000), mencionan que un modelo es válido si sus predicciones son cercanas al comportamiento real del sistema que se está estudiando. Para lo cual, la representación que el modelo hace de la realidad (representación esquemática) debe acercarse tanto en sus componentes como en las causas-efectos que entre ellos ocurren.

#### **5.4. Simulación Monte Carlo**

Simulación es la técnica que implica la construcción de un modelo a partir de una situación real de un sistema, para posteriormente realizar experimentos sobre el modelo, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema; es una de las herramientas de análisis más poderosas con que se cuenta para el diseño y operación de procesos o sistemas complejos (Saravia, 1985; Law y Kelton, 1991; Salazar, 1996).

La técnica de simulación Monte Carlo combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la cualidad que tienen las computadoras para generar números aleatorios y automatizar cálculos numéricos. Esta técnica se utiliza para resolver problemas estocásticos o determinísticos, y se aplica tanto a sistemas estáticos como dinámicos. Sus principales ventajas consisten en que se puede utilizar para el análisis de sistemas complejos, permite estimar el funcionamiento de los sistemas analizados bajo diferentes escenarios y proporciona una idea previa del funcionamiento de un sistema, entre otras (Law y Kelton, 1991; Morales, 1994; Vose, 2000).

Esta técnica se basa en la suposición de distribuciones de probabilidad de variables influyentes y en el uso de números aleatorios, ya que al repetir  $n$  veces un experimento, dispondremos de  $n$  observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual es de utilidad para comprender su funcionamiento (Faulín y Juan, s/f; Law y Kelton, 1991; Morales, 1994; Vose, 2000).

Esta técnica inicialmente fue desarrollada por Stan Ulam y John Von Neumann al final de la década de 1940, al investigar el movimiento aleatorio de los neutrones. Además, se utilizó como una herramienta en el trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. Este último trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones aleatorios en material de fusión (Morales, 1994).

La simulación Monte Carlo se ha venido aplicando en diferentes ámbitos como alternativa a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos. Así, en la actualidad es posible encontrar modelos que hacen uso de la simulación Monte Carlo en las áreas informática, empresarial, económica, industrial, incluso en el área social. En agricultura, la simulación Monte Carlo ha sido aplicada en el análisis de riesgo de plagas del aguacatero (Law y Kelton, 1991; Firko, 1995).

La simulación Monte Carlo está presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento aleatorio o probabilístico desempeña un papel fundamental. La técnica fue llamada Monte Carlo, en alusión a la ciudad de Mónaco, donde son populares los casinos de juego y donde el azar, la probabilidad y el comportamiento aleatorio conforman todo un estilo de vida (Faulín y Juan, s/f; Morales, 1994; Vose, 2000).

## **5.5. Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad de un modelo consiste en una pequeña modificación en algún parámetro de entrada del modelo, con la finalidad de observar cómo se comporta tanto en su estructura como en la salida final, y su principal objetivo es determinar cuáles parámetros o componentes del sistema, al ser modificados influyen de manera significativa en el modelo. Este análisis es útil en la construcción y evaluación de modelos, ya que disminuye los niveles de incertidumbre y da confiabilidad en la representación que el modelo hace de la realidad (Law y Kelton, 1991; Breierova y Choudhari, 2001).

## 5.6. El Agroecosistema con Base en Caña de Azúcar

México participa con 3.5% de la producción mundial de caña de azúcar, cultivando una superficie de aproximadamente 610,000 ha, de las cuales 58% son de temporal y 42% de riego. La importancia económica de la industria azucarera en México, radica en que ocupa el cuarto lugar después del maíz, el frijol y el trigo, participando con 0.5% del Producto Interno Bruto (PIB). Esto debido al gran consumo que tiene el azúcar y a la generación de empleos, ya que de esta actividad dependen 440 mil familias con empleos permanentes y temporales en 227 municipios de 15 estados del país; en otras palabras, 2.5 millones de mexicanos dependen directamente de la agroindustria azucarera (Toledo, 1993; COAAZUCAR, 2004; Secretaría de Economía, 2004; SAGARPA, 2005).

En Veracruz, en la zafra 2003-2004 se emplearon de manera directa a 15 mil obreros, y más de 71 mil cañeros en el estado cultivan alrededor de 243.6 mil ha (Gobierno del estado de Veracruz, 2004). Durante la zafra 1999-2000 laboraron en los ingenios azucareros de México aproximadamente 300 mil personas, de las cuales 45% correspondieron al sector productivo, 28% a cortadores, 7% a transportistas y 20% a obreros de ingenios (Salgado *et al.*, 2003).

La caña de azúcar se cultiva en diferentes condiciones ambientales, que van desde el nivel del mar hasta una altitud superior a los 1000 m. La temperatura, la humedad y la luz son los principales factores que inciden en el desarrollo del cultivo. El rango de temperatura óptima de germinación es de 32 a 38°C, de desarrollo y absorción de nutrientes es de 27°C, y para un desarrollo normal un rango comprendido entre 21 a 38°C; a temperaturas menores de 21°C el crecimiento disminuye. La necesidad de precipitación del cultivo se encuentra entre 1500 a 2500 mm anuales. En cuanto a la luminosidad, la intensidad y duración, están directamente relacionadas con la síntesis y acumulación de sacarosa (Humbert, 1968; Fauconnier y Bassereau, 1975; Hernández *et al.*, 1999).



### 5.7. La “Mosca Pinta” *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah

La mosca pinta es originaria del continente americano, motivo por el cual al introducir el cultivo de la caña de azúcar, la adoptó como una nueva hospedera (Cortez, s/f; Peck *et al.*, 2001).

Recibe diferentes nombres comunes, tales como: salivita, mosca coralilla, cochinilla, tortuguilla, palomilla de los pastos, candelilla, frogopper, spittlebug (Coronado y Sosa, 1966; Fewkes, 1969). En México se le conoce comúnmente como salivazo, debido a la apariencia de la excreción espumosa propia de este grupo de insectos en su estado ninfal, parecida a la saliva, que le sirve de protección al ambiente y a depredadores, y como regulador de su temperatura. La espuma es una mezcla de azúcares y aminoácidos emitida por las glándulas laterales del 7° y 8° segmentos abdominales (Velasco *et al.*, 1969; Coronado y Márquez, 1985).

Diferentes autores sitúan a la mosca pinta como la principal plaga del cultivo de la caña de azúcar, seguida de los roedores y los barrenadores de tallo (Humbert, 1968; Fewkes, 1969; Fauconnier y Bassereau, 1975; Flores, 1998; Gómez, 1998; Salgado, 1999); o bien, ocupa algunos de los tres primeros lugares de las plagas de importancia en el cultivo (IMPA, 1982; Toledo, 1993; Flores, 1994).

En México, los primeros daños en caña de azúcar se observaron en el ingenio azucarero Cuatotolapam en 1943, siendo para el año 1963 alrededor de 60 mil hectáreas las afectadas (Flores *et al.*, 1965; Ruiz, 1965; IMPA, 1975).

Durante el periodo de 1950 a 1970 atacó drásticamente los pastizales cultivados en algunos estados del Golfo de México, así como en San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo y Guerrero. Por lo anterior, el 10 de julio de 1961, fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el que se declaraba de utilidad pública la prevención y el combate de las plagas agropecuarias denominadas mosca pinta de los pastos *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah y escama algodonosa o humo *Antonina graminis* Mask. Para lo cual fue necesario

establecer un impuesto especial a los combustibles en varios estados del país, a razón de un centavo por litro de gasolina, mexolina y supermexolina para sufragar los gastos de la campaña; este decreto estuvo vigente por más de diez años (Flores, 1994).

Actualmente las estrategias y recursos para su control, tanto en caña de azúcar como en pastos son definidas por el personal técnico de cada ingenio azucarero afectado y por los particulares propietarios de pastizales. Es decir, no se cuenta con ninguna campaña sufragada institucionalmente.

### 5.7.1. Ubicación taxonómica

A pesar de la importancia económica del grupo, su taxonomía no está actualizada, ya que presenta un alto grado de variación intraespecífica (Peck, 2001).

Los cercópodos se caracterizan principalmente por tener dos ocelos, patas con tarsos de tres artejos y en los extremos de las tibias de las patas posteriores lleva una o dos espinas fuertes en forma de corona (Metcalf y Flint, 1962; Coronado y Márquez, 1985).

La mosca pinta *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah, también ha sido descrita con los nombres científicos *Monecphora postica* Walker, *Monecphora semifascia* Walker, *Tomaspis pictipennis* Stål y *Tomaspis postica* Walker. Sin embargo, en 1948 el entomólogo R. G. Fennah separó el género *Tomaspis* en ocho géneros nuevos y colocó a la primera de las especies citadas en el género *Aeneolamia*, por lo cual su nombre científico es *Aeneolamia postica* (Walker, 1858) Fennah, 1948. La segunda especie la denominó *Prosapia simulans* (Walker, 1858) Fennah, 1948 (que también ha sido descrita como *Tomaspis simulans* Walker *Tomaspis fasciaticollis* Stål y *Sphenorhina simulans* Walker), considerando que la primera es la más distribuida y la que en ocasiones causa los mayores daños, misma que cuenta con diferentes subespecies tales como: *Aeneolamia postica postica* (Walker) Fennah, *Aeneolamia postica campecheana* Fennah, *Aeneolamia postica santa-rosae* Fennah, *Aeneolamia postica occidentalis* Fennah = *Aeneolamia albofasciata* (Lall.). Fennah también reclasificó otras

especies, tales como *Aeneolamia vilior* Fowl., *Aeneolamia contigua* Walker, *Prosapia bicincta* Say., *Prosapia teapana* Fennah (MacGregor, 1956; Coronado y Sosa, 1966; Fennah, 1949 y 1953; Riess y Flores, 1976; IMPA, 1982; Cortez, s/f; IMPA, 1986).

*Aeneolamia postica*, deriva su nombre de *Aeneus* más el adjetivo *Aes*, y se refiere al color cobrizo de las bandas en las alas y a lo coriáceo de la consistencia de las alas; y la combinación de ambas palabras tiene una connotación de “férreo”, “indomable” o “incansable”. Mientras que *Lamia*, en la mitología griega, era una mujer hermosa de Libya, que tenía muchos hijos y se enamoró de Zeus; Hera, esposa de Zeus, la convirtió en un monstruo fabuloso, mitad mujer y mitad dragón, y condenada a chupar la sangre de sus hijos hasta matarlos. En tanto que *postica*, que es un adjetivo latino, y se refiere a la parte “posterior” o “trasera”, y se refiere a las bandas transversales presentes en las alas posteriores, o bien a la ubicación de su aparato sexual.

El estado adulto de esta especie presenta las siguientes características (Islas, 1956):

Cabeza.- vertical, color negro brillante, más grande en las hembras que en los machos; antenas de tres segmentos en ambo sexos, de los cuales, el proximal es el más grueso y largo, doblado en ángulo recto, el tercero muy corto en forma de cúpula y con dos cerdas.

Tórax: pronoto en forma hexagonal como esclerito único de color negro opaco (incluye al protórax), los lados externos finamente marginados, no así en la parte anterior y posterior, y más ancho que largo; con mesoscutum no pigmentado (cubierto por el pronotum y scutellum).

Alas: el par anterior puntuadas setosas y más gruesas que las posteriores, de color café oscuro con dos manchas transversales en el corium de color amarillo claro, con destacadas nervaduras radial, mediana y cubital, clavus grande; las alas posteriores son membranosas y delgadas, con región anal doblada en reposo.

Patas: patas II con meron; en las patas III, el fémur con un pequeño diente en la parte distal del borde externo que corresponde al reborde de la articulación bicondilar femora-tibial; las últimas tibias llevan en el borde externo dos dientes separados como una tercera parte del lado de la tibia.

Abdomen: conformado de nueve segmentos con superficie dorsal en ambos sexos poco quitinizada, más bien membranosa; con seis pares de espiráculos.

Genitalia en los machos: los órganos sexuales incluidos en una cámara genital, formada por dos láminas subgenitales verticales y de punta aguzada; aedeagus estiliforme, está en medio y doblado hacia arriba. Genitalia en las hembras: ovipositor con tres pares de valvas.

### **5.7.2. Biología y hábitos**

La metamorfosis de la mosca pinta comprende tres estados de desarrollo, que son huevecillo, ninfa y adulto. Las hembras ovipositan entre 50 y 100 huevecillos cerca o en la base de la cepa (Contreras, 1964; Maqueda y López-Collado, 2004). En las zonas del trópico húmedo, en donde los períodos de sequía son largos, los huevecillos pueden estar en diapausa hasta por siete meses (Contreras, 1964; Fewkes, 1969; Salgado *et al.*, 2003).

La cópula tiene lugar de las 24 a las 72 horas después de la emergencia del adulto. El proceso dura entre 30 y 75 min. Es probable que el número de huevecillos fértiles dependa del tiempo que dure la cópula. Después de 24 a 48 h del apareamiento, la hembra busca el lugar apropiado para depositar sus huevecillos, prefiriendo la base de las cepas, entre los tallos, que es donde deposita el mayor número de ellos. También lo hace directamente en el suelo, a poca profundidad, cuando se introduce por las grietas, entre dos y ocho cm de profundidad (Equihua, 1964; Flores, 1994).

Mediante contracciones y expansiones del extremo abdominal, la hembra deposita los huevecillos en forma inclinada, lo que deja expuesta su forma más o menos aplanada, se cubre por una secreción protectora que en dos o tres días se vuelve de color negro. El acto dura de 15 a 20 segundos, después de lo cual, la hembra saca su oviscapto que mantiene dirigido hacia abajo, se desplaza lentamente hacia un lado o hacia delante y lo inserta nuevamente. Los huevecillos son depositados en zig-zag, en grupos de 2 a 15. El tiempo que tarda en depositar

un huevecillo, varía entre 25 y 40 segundos, con recesos después de cada 2 a 8 oviposiciones; en tales recesos la hembra dobla su oviscapto y se queda quieta (Equihua, 1964).

Flores (1994), señala que existe una relación directa entre el número de generaciones de la mosca pinta y el régimen de humedad de la zona cañera de que se trate. Es decir, a mayor humedad, el número de generaciones de la plaga se incrementa. Por ejemplo, en la región del Papaloapan, Veracruz, que se caracteriza por sus altos índices de humedad, se han llegado a presentar hasta cuatro generaciones por año, mientras que en Los Mochis y Culiacán, Sinaloa, donde el régimen de humedad es menor, se han presentado dos. En el Golfo de México se reportan de dos a cuatro generaciones por año (Flores *et al.*, 1965; Velasco *et al.*, 1969).

A través del tiempo las poblaciones de mosca pinta se concentran en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, que coincide con el período de lluvias que combinado con las altas temperaturas se incrementan sus poblaciones (Bianco, 1982; López, 1990; Martínez y López, 1992; Toledo, 1993; Enríquez *et al.*, 1999; López-Collado *et al.*, 2003).

Se reporta que en el estado de Veracruz, la mosca pinta se presenta de mayo septiembre, lo que coincide con la temporada de lluvias, principal detonador de su presencia, por lo tanto ocasiona los mayores daños (Fewkes, 1969; Velasco *et al.*, 1969; Clark *et al.*, 1976; IMPA, 1982, 1984; Sujii *et al.*, 1995; Enríquez *et al.*, 1999).

Las poblaciones iniciales de mosca pinta aparecen al principio de la temporada de lluvias, se caracterizan por ser muy bajas en comparación con las que aparecen en las generaciones posteriores de la misma temporada (Fewkes, 1969; Flores, 1994).

De la Cruz (2004), en su trabajo con tablas de vida de *Aeneolamia postica* bajo condiciones de invernadero, reporta que el tiempo promedio en días desde la eclosión de los huevecillos hasta la muerte de los adultos fluctuó entre 47 y 56 días. Maqueda y López-Collado (2004), encontraron con el mismo método, pero bajo condiciones de campo, que esta plaga requiere de 28 a 37 días para completar su ciclo biológico.

### 5.7.3. Daños

El principal daño es ocasionado por los adultos, al alimentarse de la savia en las hojas, ya que al hacerlo inyectan una toxina diastática-oxidante al parénquima y al mesófilo que destruye la clorofila, lo que genera una necrosis parcial de los tejidos y por tanto un daño sintomático de las hojas; dicha necrosis comienza como una rayita de color amarillo rojizo en el punto de succión de dos a tres milímetros de largo, y termina como una mancha de un centímetro de longitud, entonces las puntas de las hojas se tuercen adquiriendo un aspecto parecido a marchitez por estrés hídrico (Fewkes, 1969; Conway *et al.*, 1975; Bianco, 1982; Flores, 1994). Los mayores daños se presentan en socas y resocas de entre cuatro y seis meses de desarrollo. Se estima que en el cultivo de caña, una población de estos insectos superior a diez individuos por cepa, disminuye el rendimiento de 3 a 6 t·ha<sup>-1</sup> (Flores, 1994). Sin embargo, la intensidad del daño está dada por el número de insectos y por el tiempo que se alimenten (Clark *et al.*, 1976; IMPA, 1982; Salazar y Proaño, 1989; Flores, 1994; Rodríguez, 1999; Rosado, 2004<sup>1</sup>). El daño se observa de manera más intensa en las resocas mayores de cuatro años (Flores *et al.*, 1965; IMPA, 1984; Flores, 1994; Montero, 2004<sup>2</sup>). La magnitud del daño está en función al tamaño de la planta. En plantas pequeñas el daño puede ser total, no así en plantas con mayor tamaño, en donde puede retrasar su crecimiento, disminuyendo un porcentaje considerable de su rendimiento (Flores *et al.*, 1965).

Toledo (1993) indica que en México el salivazo ataca aproximadamente a 125,000 ha, presentándose los mayores daños en las regiones cañeras ubicadas en la vertiente del Golfo de México.

Norton y Evans (1974), cuantificaron los daños de *Aeneolamia varia saccharina* Dist. en el cultivo de la caña de azúcar en la isla de Trinidad y analizaron el beneficio-costo de la aplicación aérea de insecticidas en su control; concluyeron que el control oportuno de la primera generación reduce considerablemente los daños al cultivo que pudiesen ocasionar las siguientes generaciones del insecto. Rodríguez *et al.* (2003), dijeron que en el Valle del Cauca,

---

<sup>1</sup> Entrevista: Ing. Luis M. Rosado Grajales, 20-abril-2004, ingenio La Gloria.

<sup>2</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 20-abril-2004, ingenio La Gloria.

Colombia, la especie *Protoparva simulans* (Walker) Fennah fue detectada por primera vez en 1999, ocasionando grandes pérdidas en pastos comerciales y en el cultivo de caña de azúcar. Holmann y Peck (2002), estimaron los daños económicos que causa en pastos en este país, encontraron que son varios millones de dólares en pérdidas y alrededor de un millón y medio de hectáreas las afectadas por esta plaga.

Por último, Flores (1994) señala que las ninfas no ocasionan daño al cultivo de la caña de azúcar, ya que éstas se alimentan sólo de las raicillas superficiales de la planta.

#### **5.7.4. Distribución**

El hábitat original de este insecto son las gramíneas silvestres y la vegetación existente en las orillas de los ríos, pero se adaptó muy bien a las condiciones de los potreros con pastizales y en las zonas donde se cultiva caña de azúcar. Las variaciones en biología, hábitat y taxonomía de las especies de mosca pinta debe ser considerada de manera seria en su manejo, ya que se tiende a generalizar en las diversas asociaciones insecto-hospedero-hábitat. Existe gran variación bioecológica en la duración de los estados de vida, los sitios de oviposición y el número de generaciones al año (Peck, 2001).

Estos insectos son plaga en diferentes hábitats, ya que presentan un amplio rango de distribución geográfica, que va desde el Suroriente de los Estados Unidos hasta el Norte de Argentina, y altitudinalmente desde el nivel del mar hasta los 3000 msnm. Atacan todo tipo de pastos, tanto silvestres como de importancia económica, así como caña de azúcar (Peck, 2001; Peck *et al.*, 2001).

Evans (1972) y Bianco (1982), determinaron que los huevecillos y las ninfas de la mosca pinta en pastos tienen una distribución espacial binomial negativa; es decir, los insectos tienen una disposición espacial en agregados. Esto fue confirmado en los trabajos de Villanueva *et al.*, (1993), Chagal (2000) y García (2003), quienes concluyeron que tanto los adultos como

las ninfas se presentan en focos de infestación; es decir, en agregados. Esta distribución es debida a los hábitos de oviposición de las hembras.

Este insecto es de hábitos estacionarios, ya que sólo se desplaza distancias cortas, observándose 40 y 60 metros de recorrido en los pastos Pangola *Digitaria decumbens* Stent y Alemán *Echinochloa polystachia* (H. B. K.) Hitch., respectivamente. Además, en pruebas con insectos marcados y recapturados, se concluyó que los adultos tienen hábitos sedentarios y no migran grandes distancias (Velasco *et al.*, 1969; Bianco, 1982; Sujii *et al.*, 2000). Lo anterior fue confirmado por Utrera *et al.* (2004), quien encontró que sólo se desplazan entre 5 y 15 metros.

La mosca pinta es considerada un problema serio en regiones con clima cálido húmedo, en donde ataca a caña de azúcar, arroz, sorgo, maíz y otras gramíneas tanto silvestres como cultivadas (Cortez, s/f). Está distribuida en todas las regiones cañeras de México, es decir, en los litorales del Golfo de México y el Pacífico (Figura 4), presentan año con año las más altas infestaciones y daños (IMPA, 1984). Sin embargo, los mayores daños se han observado en pastizales ubicados en altitudes bajas (Contreras, 1964).



**Figura 4.** Distribución geográfica de la mosca pinta en México (Tomado de Coronado y Sosa, 1966).



Flores *et al.* (1965) y Flores (1994) indican que esta plaga era considerada exclusiva de las planicies costeras, sin embargo, también se han presentado infestaciones fuertes en los ingenios azucareros de Tamazula, Jalisco y Calipam, Puebla ubicados a más de 1000 msnm.

#### 5.7.5. Métodos de control

El control de esta plaga se ha realizado principalmente con insecticidas organosintéticos de diferentes grupos toxicológicos e ingredientes activos, como los organoclorados (endosulfán), los organofosforados (monocrotofós, clorpirofós etil, paratión metílico), los piretroides (permetrina, cipermetrina, lambdacialotrina) y los carbamatos (carbofurán, aldicarb, forato)<sup>3</sup> (Flores, 1994; SAGAR, 1999; Rosenstein, 2003; Domínguez *et al.*, 2004).

El control biológico se realiza principalmente con el entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, tanto para *Aeneolamia postica* (Walker) Fennah presente en México, como para *Aeneolamia varia* Fabricius, *Aeneolamia varia saccharina* Dist., presentes en Brasil, Costa Rica, Trinidad y Tobago, Venezuela y Guatemala (Fewkes, 1969; Allard *et al.*, 1990; Arango *et al.*, 1994; Rodríguez, 1999).

En México, son contados los casos de áreas en donde se utiliza el control microbiológico de manera extensiva, como en los Ingenios Central Motzorongo y Providencia, Veracruz, con el entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin. En otras áreas se utiliza este tipo de control de manera puntual, ya que las condiciones climáticas y la idiosincrasia de quienes toman decisiones son las principales limitantes para su uso.

El IMPA (1975) reporta otros entomopatógenos colectados en adultos micosados de la mosca pinta en diferentes zonas azucareras de México, tales como *Acrostalgmus albus*, *Aspergillus jaunus* var. *brevis*, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Cephalosporium* sp., *Empusa* sp.,

---

<sup>3</sup> Plaguicidas autorizados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación para el control de ninfas y adultos de mosca pinta.

*Entomophthora muscae* (Cohn) Fresenius, *Erynia neoaphidis* Remaudiere & Hennebert = *Entomophthora aphidis* Nowakowki, *Mucor hiemalis* Wehmer y *Verticillium* sp.

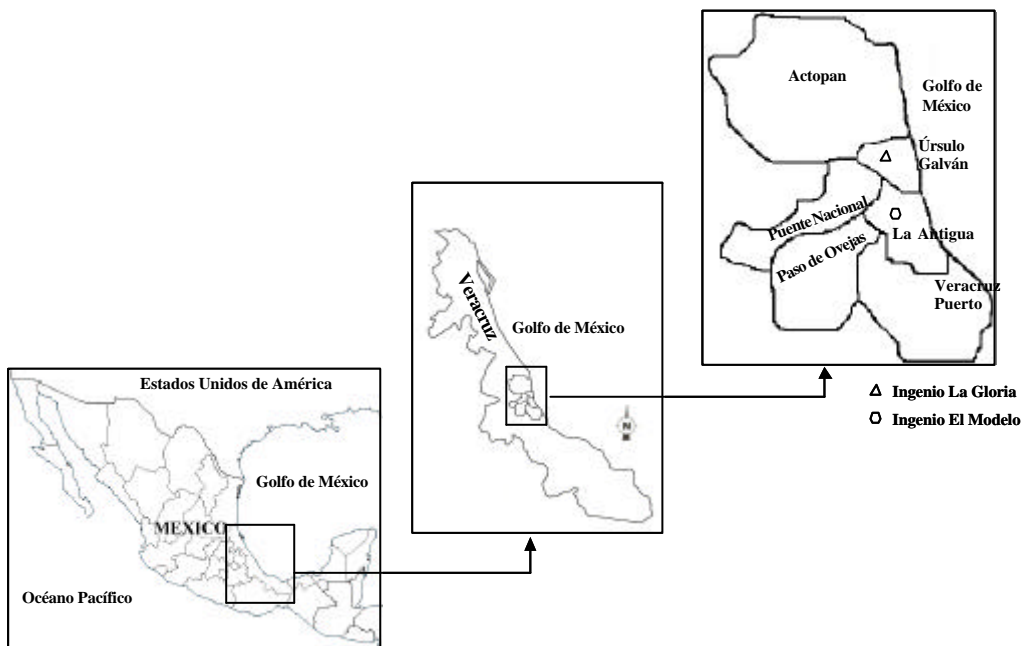
Además, se recomiendan medidas preventivas, tales como las prácticas culturales, las cuales incluyen: elegir variedades tolerantes, remoción del suelo (subsoleo, barbecho y rayado después de la cosecha), la quema y requema, eliminar las cepas viejas o bien destroncarlas a nivel del suelo, eliminar los residuos de la cosecha, mejorar el drenaje con subsoleo y zanjeado y eliminar la maleza o gramíneas silvestres, entre otras (Maycotte, 1972; Flores, 1994; Rodríguez, 1999).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo, la construcción de los árboles de fallas se basó en revisión de literatura, reportes de los ingenios La Gloria y El Modelo, análisis histórico, interpretación de publicaciones científicas, comunicaciones personales y juicio profesional, tal como se presenta en las siguientes secciones:

### 6.1. 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, que cuentan con una superficie plantada con caña de azúcar de 12,611 y 11,049 ha, respectivamente (COAAZUCAR, 2004); ubicadas aproximadamente entre 19° 12' y 19° 30' LN y 96° 20' y 96° 30' LW, con altitudes que varían de 0 a 200 msnm e incluyen los municipios de Actopan, La Antigua, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Úrsulo Galván y Veracruz (Figura 5).



**Figura 5.** Área municipal de influencia de los ingenios azucareros La Gloria y El Modelo.

El clima es  $Aw_0(w)(e)$ , el cual fue determinado utilizando los registros meteorológicos de temperatura y precipitación de 1993 a 2004 de la estación meteorológica del ingenio La Gloria,

aplicando la clasificación de Köppen modificado por García (1988). Éste es un clima cálido subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) con lluvias en verano, cuya precipitación promedio anual es de 812.3 mm (invierno seco con menos de 5% de lluvia invernal), y una temperatura media anual de 24.6°C; además, es extremoso. Es importante mencionar que algunas fuentes indirectas revisadas citan datos erróneos del clima de la zona de estudio.

## **6.2. Componentes Relevantes del Sistema**

En esta sección se identificaron los componentes relevantes del sistema. La identificación se basó en el trabajo de López-Collado *et al.* (2003). Los componentes considerados 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. Posteriormente se hizo una descripción de los componentes con base en observaciones de campo que consistieron en inspecciones oculares y evaluaciones cualitativas a 10 parcelas en las que se ha presentado la mosca pinta y 10 parcelas en las que no se ha presentado (Anexo 2); en la aplicación de 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 (Anexo 1), 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; 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 la 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. La entrevista-temario fue evaluada con una escala tipo Likert, considerando cuatro grados de importancia: poco importante, regular, importante y muy importante. A esta escala se le 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 el juicio profesional, entendiéndolo como los conocimientos, técnicas, experiencias y habilidades de un experto en un determinado tema; en entrevistas dirigidas con informantes clave 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.

### **6.3. Selección y Construcción de la Falla Crítica**

En esta etapa se seleccionó una “falla crítica” en el sistema mosca pinta-caña de azúcar. Desde el punto de vista del manejo de plagas, una situación indeseable es la aparición de altas densidades de adultos de la mosca pinta, esto debido al daño que ocasiona la plaga al cultivo. 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; en este caso se eligió el mes de julio.

Un segundo caso consistió en seleccionar el mismo evento crítico, pero haciendo la evaluación tres meses antes (abril) cuando el cultivo se encuentra generalmente en los primeros meses de desarrollo y la estación de lluvias aún no comienza, con el objeto de caracterizar el estado del sistema que conduce a altas densidades de mosca pinta en el mes de julio.

El tercer y último caso consistió en considerar como una “falla crítica” cuando las poblaciones de adultos son bajas en el mes de julio, con la finalidad de identificar las condiciones entre los componentes que mantienen al sistema en dicho estado. De esta manera, una vez seleccionadas las fallas críticas, se determinaron los eventos que conducen a la ocurrencia de las mismas con revisión de literatura y juicio profesional, es decir, las rutas de falla. Los árboles de fallas construidos para las fallas críticas fueron:

- ? *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*
- ? *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*
- ? *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*

La construcción de los árboles de fallas, consistió en identificar los componentes del sistema, sus propiedades e interacciones, y determinar cómo se concatenan entre sí de manera cronológica hasta llegar al evento indeseable.

En esta investigación se trabajó con un modelo dinámico-estocástico.

#### 6.4. Verificación

La verificación de los tres modelos formulados 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 y con la aplicación de la entrevista-temario mencionada anteriormente. Esto con el objeto de representar lo mejor posible las rutas de falla.

#### 6.5. Evaluación cualitativa

Esta evaluación se hizo describiendo cada una de las fallas iniciales y las interrelaciones que entre ellas ocurren en los árboles de fallas, y 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; ello permitió tener una idea previa de la importancia relativa de los componentes.

#### 6.6. Estimación de parámetros

La evaluación cuantitativa o estimación de parámetros, 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.

El uso de los valores promedio de probabilidad sirvió para tener una estimación puntual de la probabilidad de ocurrencia del evento indeseable. Por otra parte, se estimó la distribución de probabilidad del evento crítico elegido, usando simulación Monte Carlo (Law y Kelton, 1991),

esto 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) De manera preliminar, se requiere calcular el valor de  $n$ , que corresponde al número de veces que se generan valores aleatorios de probabilidad de cada uno de los eventos involucrados en un árbol de fallas. Para estimar el valor de  $n$ , 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; es decir, que la probabilidad calculada del evento final se mantuviera estable.

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 y Kelton, 1991); se utilizó la distribución uniforme, bajo el supuesto de equiprobabilidad en el intervalo estimado. 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) Con el paquete de cómputo Statistica<sup>®</sup>, 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 o indeseable.

d) La distribución de probabilidad del evento crítico se arregló en histogramas de frecuencia, de donde se obtuvo el valor modal, es decir, el valor del evento más común. También se calcularon los valores de la media, mínimo y máximo, que corresponden al caso promedio, al mejor y al peor escenario, respectivamente, en el caso de los eventos críticos *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* y *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*. Mientras que en el evento crítico *Bajas*

*Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* el valor máximo representa el mejor escenario y el valor mínimo el estado dañino de la plaga.

### **6.7. Análisis de Sensibilidad**

Se hizo un análisis numérico de sensibilidad para cada modelo. Este análisis consistió en estimar la probabilidad del evento final, para lo cual a cada falla inicial se le aumentó 10% de su valor de probabilidad. Se calculó un Índice de Variación (Iv) de la siguiente manera:

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

$Y_i$  = 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 sirve 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 Iv es alto, esto indica que la influencia de dicha falla inicial en la probabilidad de ocurrencia de la falla final es considerable; si por el contrario, el valor absoluto de Iv es bajo, indica que la influencia de la falla inicial modificada es mínima.

### **6.8. Validación**

El siguiente y último paso, consistió en la validación de los árboles de falla. Para esto, de manera paralela a la verificación de la consistencia de los modelos se realizó un muestreo de adultos y ninfas, tomando como unidad de muestreo 1.0 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 veinte parcelas plantadas con caña de azúcar, de las cuales diez han presentado cada año mosca pinta en altas densidades, y en las otras diez 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. Las densidades poblacionales se compararon mediante una prueba de F (13, 4) con  $gl = 1, 18$  (López-Collado, 2004). En esta etapa se cotejó si las rutas de falla planteadas en



los árboles coincidían con las condiciones físicas e históricas de las parcelas. La información de dichas parcelas es incluida en el Anexo 3.

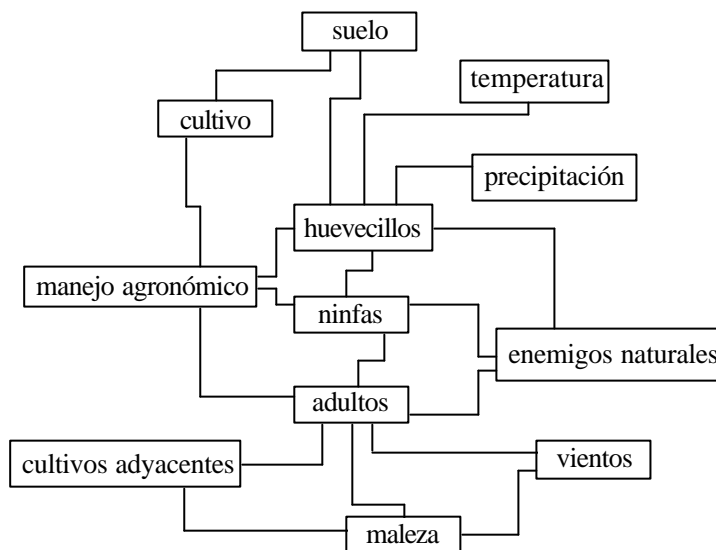
La validación se hizo para el primer y tercer árboles de fallas evaluados, *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* y *Bajas Densidades de Adultos de Mosca Pinta en el Mes de Julio*; mientras que el segundo *Altas Densidades de Adultos en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*, fue una prospectiva de la capacidad de predicción del modelo.

### **Acuerdo pendiente**

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Límites del Sistema

En este trabajo, 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 Figura 6.



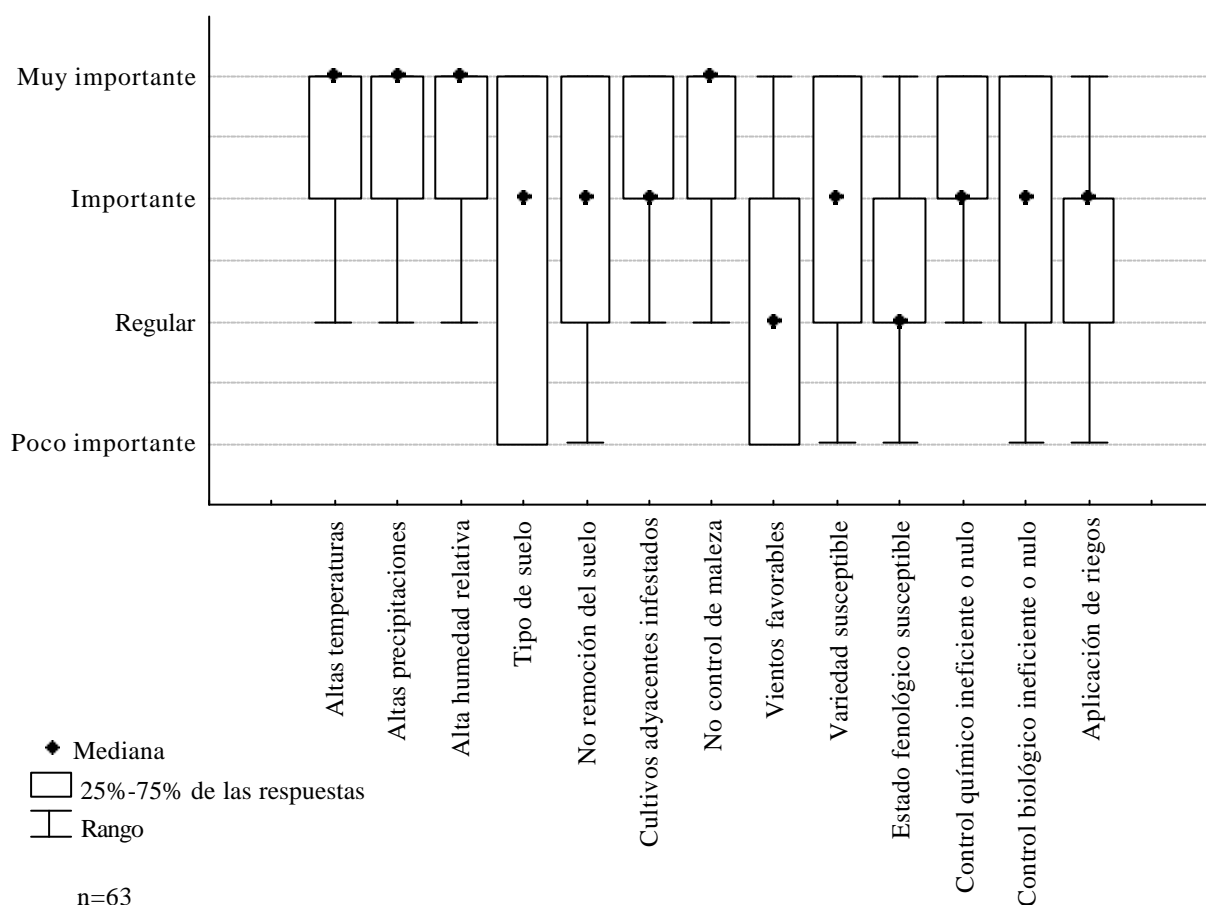
**Figura 6.** Componentes del sistema mosca pinta-caña de azúcar. Las cajas corresponden a los componentes, mientras que las líneas representan sus interacciones (Modificado de López-Collado *et al.*, 2003).

### 7.2. Componentes Relevantes del Sistema

Los componentes más sobresalientes del sistema corresponden a aquellos con los cuales la mosca pinta tiene una relación directa, tal como el manejo agronómico, el cultivo, el suelo, la maleza, la precipitación y la temperatura; en menor grado los vientos favorables, los cultivos adyacentes infestados y sus enemigos naturales (Figura 6).

Enseguida se describen los componentes del sistema, con base en observaciones de campo, en la aplicación de la entrevista-temario, en revisión de literatura y en el juicio profesional. Como se observa en la Figura 7, las altas temperaturas, las altas precipitaciones 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. La humedad relativa no fue considerada directamente en los árboles de fallas, sino como apoyo para fundamentarlos, ya que la temperatura y la precipitación son eventos independientes.

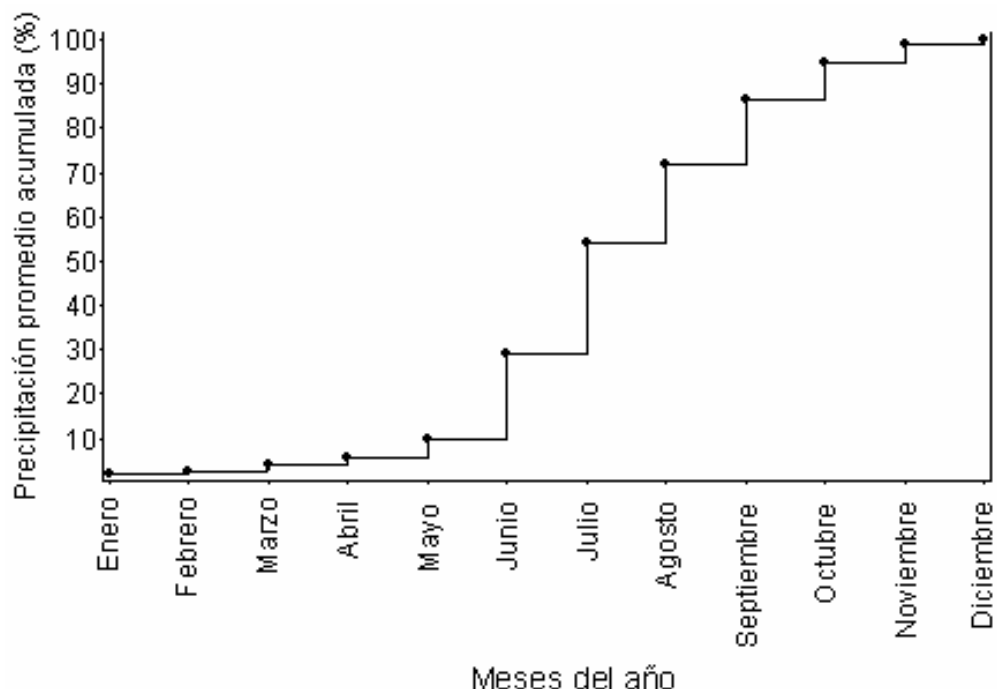


**Figura 7.** Importancia relativa de los componentes del sistema mosca pinta-caña de azúcar.

Esta descripción hace énfasis en la configuración de los componentes en relación a la ocurrencia de mosca pinta, es decir, a los posibles valores que toman los componentes.

### 7.2.1. Precipitación

Como lo indican Contreras (1964), Flores *et al.* (1965), Humbert (1968), Fewkes (1969), King (1975), Martínez y López (1992), Morales (1993), Toledo (1993), Flores (1994), Sujii *et al.* (1995), Enríquez *et al.* (1999), De Yta (2000) y Herrera *et al.* (2004), así como la mayoría de los investigadores, inspectores de campo, técnicos y productores entrevistados, el inicio de la temporada de lluvias es el evento que marca la pauta para que los huevecillos diapáusicos eclosionen y así se de origen al estado ninfal de la mosca pinta. En esta zona el inicio de las lluvias ocurre en el mes de junio con aproximadamente 20% del total de la precipitación anual; según el patrón de precipitación en la zona de estudio, la temporada de lluvias en esta zona es de junio a septiembre, concentrándose alrededor de 77% de la precipitación anual como sigue: junio 20%, julio 25%, agosto 17% y septiembre 15%. La estimación se hizo para el período 1993 a 2004 (Figura 8). 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. Por ejemplo, en el caso del área de estudio, la cual es 97% de riego, y en comparación con la zona de temporal de los ingenios azucareros del área de influencia de Córdoba, Veracruz, el tiempo en que se presenta la mosca pinta es similar.



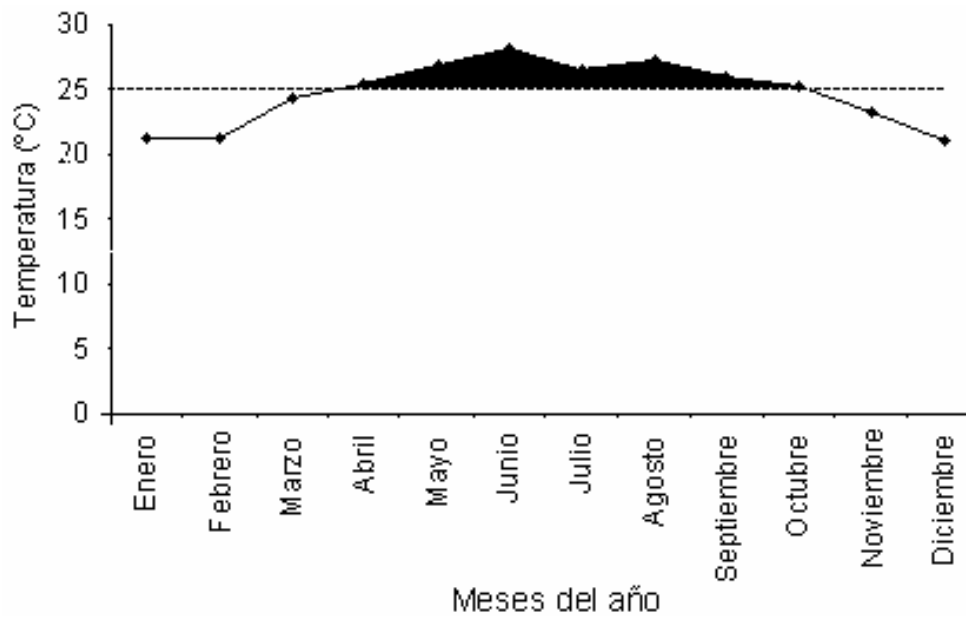
**Figura 8.** Distribución acumulada de la precipitación promedio mensual en el período 1993- 2004. Estación meteorológica ingenio azucarero La Gloria, Veracruz.

Otras especies de cercópidos presentan un comportamiento similar en varios países, atacando pastos y al cultivo de la caña de azúcar en la temporada de lluvias. Por ejemplo, en Colombia, Venezuela y otros países *Aeneolamia varia* (F.), *Aeneolamia varia saccharina* (Dist.), *Deois flavopicta* (Stål) y *Aeneolamia albofasciata* (Lalleman) se presentan en el mes de abril. Mientras que en dos regiones de Brasil *Zulia entreriana* (Berg) y *Deois flavopicta* (Stål) se presentan en mes de diciembre (Fewkes, 1969; King, 1975; Koller y Honer, 1993; Morales, 1993; Fontes *et al.*, 1995; Martin *et al.*, 1995; Sujii *et al.*, 1995; Pires *et al.*, 2000). Cabe señalar que en todos los casos, las mayores poblaciones de estas especies coinciden con la temporada de lluvias, tanto en las zonas de riego como en las zonas de temporal.

Cabe resaltar que, si bien las más altas poblaciones de la mosca pinta se presentan en los meses de junio a septiembre, en el período de sequía que corresponde a los meses de octubre-noviembre hasta abril-mayo, los huevecillos invernantes requieren de humedad para mantenerse viables (Herrera *et al.*, 2004).

### **7.2.2. Temperatura**

Bianco (1982), Martínez y López (1992), Toledo (1993), Flores (1994), De Yta (2000) y López-Collado *et al.* (2003), señalan a la temperatura como el segundo componente que favorece la presencia de la mosca pinta. Asimismo, Martínez y López (1992) indican que la presencia de la mosca pinta en esta zona coincide con las más altas temperaturas del año, que ocurren al final de la estación de primavera y en el verano; en este período las temperaturas son superiores a 25°C. Por otra parte, Herrera *et al.* (2004), mencionan que la temperatura condiciona el desarrollo de los huevecillos. Estos investigadores reportan que a una temperatura de 35°C y humedad constante, el tiempo de eclosión de los huevecillos se acorta. Para la zona estudio, el patrón de comportamiento de la temperatura en el período 1993 a 2004 se presenta en la Figura 9. La importancia de este componente es debida a su relación directa con el desarrollo y crecimiento embriológico del huevecillo, de la ninfa y del estado adulto, ya que la mosca pinta es un organismo poiquiloterma.



**Figura 9.** Comportamiento de la temperatura promedio mensual en el período 1993-2004. Estación meteorológica del Ingenio Azucarero La Gloria. El área sombreada indica las temperaturas más altas alcanzadas durante el año, que coinciden con la presencia de la mosca pinta.

### 7.2.3. Humedad relativa

Bianco (1982), Martínez y López (1992), Toledo (1993), López-Collado *et al.* (2003) y la mayoría de los investigadores, inspectores de campo, técnicos y productores entrevistados, 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. Como fue referido en las secciones anteriores, la temperatura y la precipitación en el período en el que se presenta la mosca pinta, alcanzan sus máximos valores, lo que propicia un incremento de la humedad relativa en este tiempo.

### 7.2.4. Maleza

Las gramíneas o Poáceas silvestres son las hospederas naturales de la mosca pinta. Las principales especies reportadas como hospederas de este insecto son: el zacate Pangola *Digitaria decumbens* Stent, el zacate Alemán *Echinochloa polystachia* (H. B. K.) Hitch., el zacate Johnson *Sorghum halepense* (L.) Pers., el zacate Merkeron *Pennisetum purpureum* Schum., el zacate Privilegio *Panicum maximum* Jacq., el zacate Señal *Brachiaria decumbens* Stapf, y otros como *Cynodon plectostachyum* Pilger. y *Axonopus* sp., (Flores *et al.*, 1965;

IMPA, 1982; Laredo, 1992; Linares y Pérez, 1985; Martínez y López, 1992; 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 observa maleza tipo gramínea en estas áreas (Flores *et al.*, 1965; García, 1984).

En un alto porcentaje de la superficie en donde se cultiva la caña de azúcar la maleza también se encuentra presente, debido a que este grupo de plantas tiene un gran número de géneros a nivel mundial y de hábitat local (Rodríguez, 2000; INEGI, 2003; Perdomo, 2004). La maleza se puede encontrar en el interior del cultivo, o bien en las orillas de 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 (período crítico de competencia) en plantilla, socas y resocas, con los ingredientes activos ametrina, atrazina, dicamba, glifosato, paraquat, ácido 2, 4-D, entre otros (Domínguez *et al.*, 2004; Laredo, 1992; Perdomo, 2004).

#### **7.2.5. 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. En las zonas del trópico húmedo donde los períodos de sequía son prolongados, éstos pueden estar en diapausa hasta por siete meses (Contreras, 1964; Velasco *et al.*, 1969; Flores, 1994; Salgado *et al.*, 2003). Además de lo anterior, se considera que un porcentaje de huevecillos invernantes sobreviven a la quema de la caña de azúcar, lo que permite que la mosca pinta se presente de un año a otro. En los trabajos de Velasco (1975) y Martín *et al.* (1999), se evaluó la quema de los pastos, y fue efectivo en el control de ninfas y adultos, sin embargo, no indican la influencia de esta práctica sobre los huevecillos. Por su parte, Domínguez (2001), menciona que durante la quema de la caña de azúcar, a una profundidad de 1 mm de la superficie del suelo, se alcanzan temperaturas de 98°C durante tres

segundos; se debe recordar que la hembra oviposita los huevecillos entre dos y ocho cm de profundidad del suelo, por lo que se infiere que la quema de la caña de azúcar afecta negativamente la supervivencia de los huevecillos. Por otra parte, Flores *et al.* (1965) y Flores (1994) indican que los huevecillos diapáusicos 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 las poblaciones aumentan de un año a otro, caso contrario ocurre en socas y plantilla. Asimismo, este autor indica que los huevecillos sobreviven mejor en suelos arcillosos, aunque también se ha observado su presencia en suelos arenosos en porcentajes mínimos (Mota, 2004).

#### **7.2.6. Ninfa**

La ninfa es el estado biológico de la mosca pinta que se encuentra en las raíces superficiales de la planta. De manera general se considera que no causa daño al cultivo (Flores, 1994), aunque pudiera causar un daño menor. Se han realizado algunas prácticas de manejo para el control de ninfas, dirigidas a prevenir la presencia del estado adulto, que es el causante del daño al cultivo; sin embargo no han tenido mucho éxito debido a los hábitos de la plaga, ya que cuando la mosca pinta se presenta el tamaño de cultivo dificulta las aplicaciones de insecticidas al sitio en donde se encuentra la plaga. Ejemplos de estas prácticas de manejo son el control químico con insecticidas granulados, la aplicación de cal agrícola en la base de las cepas, entre otras.

#### **7.2.7. Adulto**

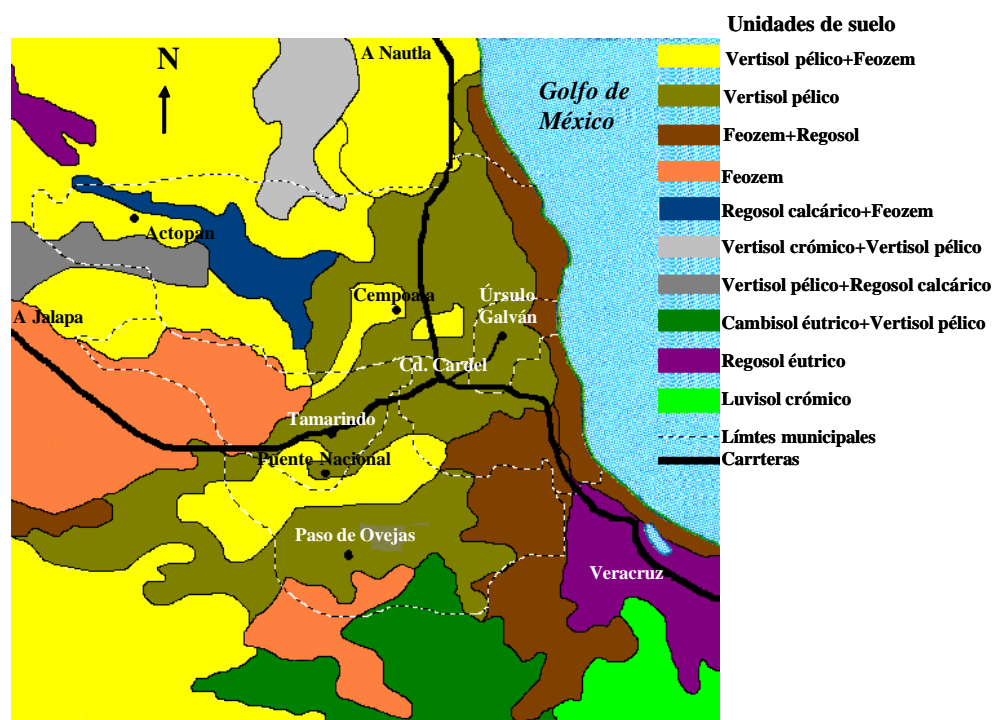
El adulto es el estado biológico de la plaga que causa daño al cultivo. Se alimenta de la savia en las hojas, al introducir con su estilete una toxina diastática-oxidante al parénquima y al mesófilo que destruye la clorofila, generando una necrosis parcial de los tejidos y por tanto daño sintomático en las hojas. La planta adquiere un aspecto parecido al de marchitez por estrés hídrico (Bianco, 1982; Flores, 1994).

#### **7.2.8. Suelo**

El suelo es el componente del sistema que sirve a los huevecillos de sustrato, tanto en su forma normal como en su forma diapáusicas. Se menciona que en suelos de textura arcillosa (partículas menores de  $2\mu$ ) y ligeramente ácidos prospera mejor la mosca pinta, ya que este



tipo de suelo retiene mayores cantidades de humedad (Martínez y López, 1992; Flores, 1994; Mota, 2004). En la región cañera de interés aproximadamente 80 a 90% de los suelos presentan textura arcillosa, se encuentran suelos Vertisoles (pélicos y crómicos), Regosoles, Feozems (háplicos, calcáricos y lúvicos) y Cambisoles (Domínguez, 2001; Domínguez *et al.*, 2004; Landeros, 2004<sup>4</sup>). Los Vertisoles son los más importantes debido a que ocupan grandes extensiones en la zona (Figura 10); éstos se caracterizan por sus altos contenidos de arcilla (2:1), contenidos medios de materia orgánica, pH de ligeramente ácido a moderadamente alcalino y por ser suelos profundos. Enseguida, en orden de importancia, se encuentran los suelos Feozems, que se caracterizan por su textura migajón-arenosa-arcillosa, sus altos contenidos de materia orgánica, pH de ligeramente ácido a ligeramente alcalino y profundidades de 30 a 35 cm en la capa superficial. Los suelos Cambisoles se encuentran en lomeríos con pendientes suaves, y tienen textura arenosa o arcillo-arenosa y pH moderadamente ácido. En la mayoría de la superficie se encuentran zonas pedregosas (INEGI, 1988).



**Figura 10.** Unidades de suelo en la zona cañera de los ingenios La Gloria y El Modelo, Veracruz (Adaptado de INEGI, s/f).

<sup>4</sup> Entrevista: Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, 4-octubre-2004, Colegio de Postgraduados Campus Veracruz

También se ha observado la presencia de la mosca pinta en suelos con textura arenosa, aunque en densidades mínimas (Mota, 2004; Montero, 2004<sup>5</sup>).

### 7.2.9. Viento

Los vientos representan potencialmente la forma de dispersión del estado adulto de la mosca pinta, y debido a que el área de trabajo está “compacta”, este componente del sistema debe ser considerado. Utrera *et al.* (2004), mencionan que la dispersión de los adultos es limitada en el cultivo de la caña de azúcar, ya que se desplazan distancias cortas de entre 1 y 5 m, y que el viento no afecta significativamente el desplazamiento de esta plaga. Esto puede deberse al hábito sedentario de la plaga, aunque esto no quiere decir que no posea el potencial de vuelo para desplazarse grandes a distancias. Por otro lado, la disponibilidad de alimento suficiente y un hábitat adecuado para desarrollarse y reproducirse, no presionan a la plaga buscar nuevos nichos o parcelas; aunque en suelos sin cubierta vegetal, la dispersión es mayor.

### 7.2.10. Enemigos Naturales

Se reportan enemigos naturales de huevecillos y ninfas de la mosca pinta, tales como miembros de las familias Reduviidae (*Sinea* sp.) y Syrphidae (*Salpingogaster nigra* Schiner), y el nematodo de la familia Mermithidae (*Hexameris* sp.) (Contreras, 1964; Flores, 1994).

Por otra parte, Medina *et al.* (1993), reportan a hormigas depredadoras 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, la Dirección General de Sanidad Vegetal llevó a cabo la cría y liberación de los hemípteros *Zellus rubidus* Leper y *Castolus plagiaticollis* Stäl., sin que se haya tenido efecto en el control de la mosca pinta, ya que por sus hábitos generalistas, a pesar de su exitosa reproducción en laboratorio, su establecimiento en campo no prosperó (IMPA, 1984).

---

<sup>5</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 2-marzo-2004, ingenio La Gloria

Actualmente, no se promueve la introducción, aumento o conservación de enemigos naturales del salivazo. Además, el tipo de manejo del cultivo y la permanente aplicación de insumos químicos, entre ellos los plaguicidas, minimizan el impacto de los enemigos naturales de *A. postica*.

#### **7.2.11. Manejo agronómico**

El manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar consiste de una serie de prácticas dirigidas a incrementar el crecimiento y desarrollo del cultivo, relacionadas con el control de la mosca pinta; éstas consisten en 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 y control de maleza, plagas y enfermedades (IMPA, 1975). A continuación se describen algunas prácticas de manejo agronómico que se realizan en la zona de estudio:

*Remoción o rayado del suelo después de la cosecha.* Esta práctica la realiza la mayoría de los productores y consiste en barbechar el suelo después de la cosecha. Posiblemente sirva para desecar una porción de los huevecillos presentes.

*Aplicación de riegos.* Los riegos se aplican en promedio cada 45 días, lo que sugiere que los huevecillos tienen humedad suficiente para sobrevivir a la época de sequía, al menos en esta zona, donde 97% de la superficie es de riego (COAAZÚCAR, 2004).

*Elección de la variedad.* La selección de variedades de caña se basa en mayor medida en rendimiento, y parcialmente en la resistencia que pueda tener al ataque de plagas; por otro lado, la mosca pinta en esta zona ataca principalmente a las variedades MEX-69-290 y CP-72-2086, que son variedades de hoja ancha, y ocupan alrededor de 65% de la superficie plantada con caña de azúcar en el área de interés (Rubio, 2004<sup>6</sup>).

*Socas y resocas.* Es común en las zonas cañeras, permitir la emergencia de varios rebrotes anuales de caña, debido a que la inversión es menor y las diferencias del rendimiento de un

---

<sup>6</sup> Entrevista: Ing. J. Francisco Rubio Ibarra., 2-marzo-2004, ingenio La Gloria

año a otro no son tan marcadas cuando el manejo agronómico es adecuado. Se recomienda un número máximo de cinco resocas en México, lo que permite se alcancen rendimientos aceptables (García, 1984). En la zona de estudio, la superficie con planta, soca y resoca, son 12%, 11% y 77%, respectivamente (COAAZÚCAR, 2004).

*Quema y requema.* Para el control de huevecillos invernantes de la mosca pinta, se recomienda que al cosechar la caña, las cepas sean destroncadas y los residuos de la cosecha sean quemados; esta práctica se conoce como la “requema”.

*Control químico.* Este método se aplica con insecticidas químicos sintéticos en aproximadamente 50% del total de la superficie de los ingenios La Gloria y El Modelo (Gómez, 2004<sup>7</sup>; Montero, 2004<sup>8</sup>).

*Control microbiológico.* Se utiliza principalmente el entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, para el control del estado adulto; su aplicación es eficiente donde existen altas humedades relativas a lo largo del año; tal es el caso de algunos ingenios de la zona de Córdoba, Veracruz. En la zona de estudio se aplica a baja escala, dado que las condiciones climáticas no le favorecen (Rodríguez, 1999).

### **7.3. Selección de la Falla Crítica, Construcción de los Árboles de Fallas y Verificación**

Con base en el sistema propuesto, se construyeron tres árboles de fallas. El primero para cuando se presentan *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*, un segundo haciendo una prospectiva en el mes de abril para tratar de predecir el riesgo de *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (evaluado en el Mes de Abril)*; y el tercero para cuando se presentan *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*.

---

<sup>7</sup> Entrevista: Ing. Sabás Gómez Cruz, 6-julio-2004, ingenio El Modelo

<sup>8</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 2-marzo-2004, ingenio La Gloria.

### 7.3.1. **Árbol de fallas para el evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio***

#### 7.3.1.1. **Evaluación cualitativa**

Esta evaluación 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 de cuáles son las rutas más críticas del árbol de fallas, cuál es la importancia cualitativa de los componentes y cómo se dan las interacciones entre los componentes del sistema.

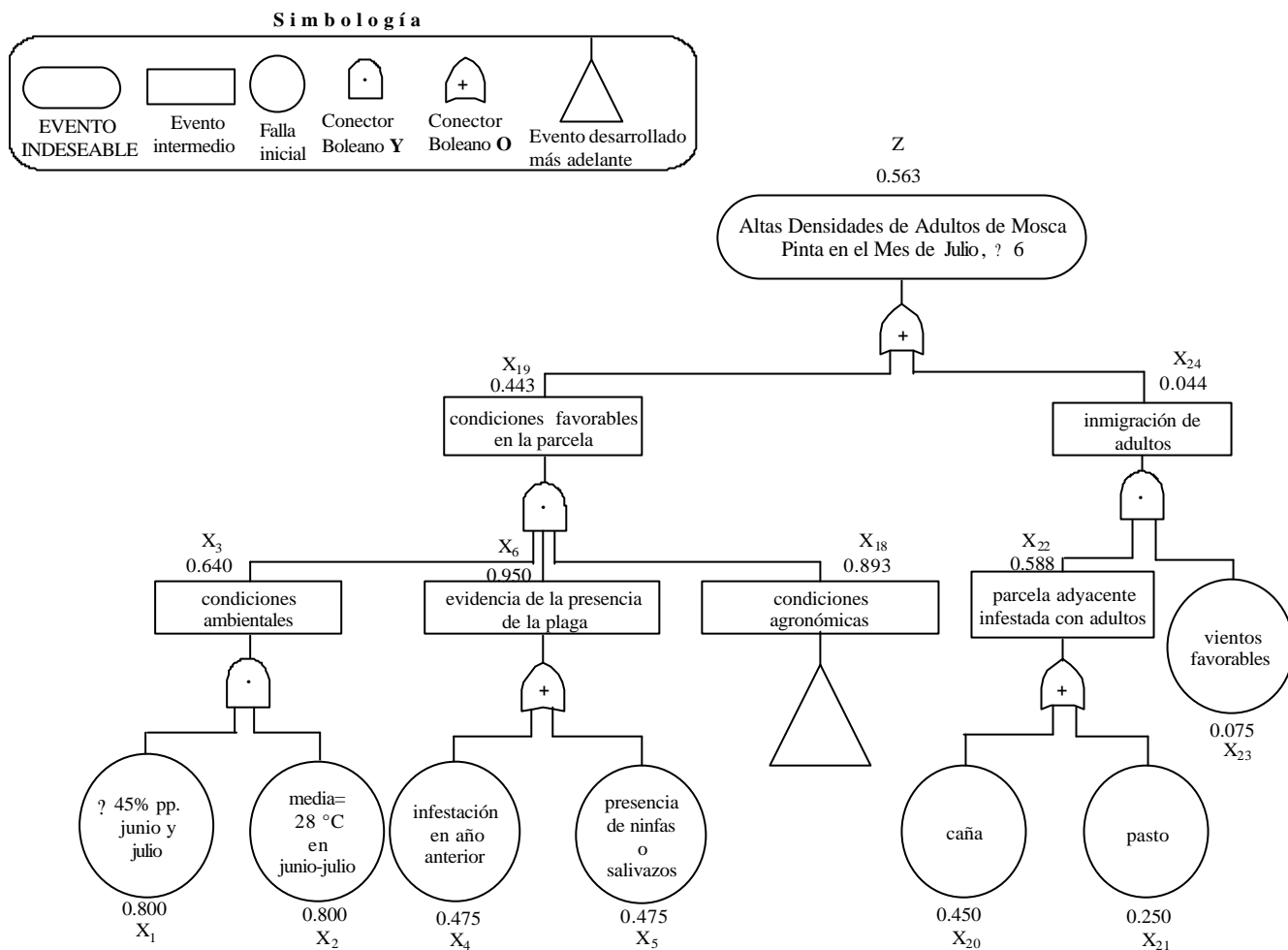
Así, se definió el evento *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*, como densidades mayores a 6.0 adultos por cepa, que corresponde a una densidad que se sabe ocasiona daño a la planta, el cual se refleja en rendimiento. Este evento se alcanza cuando se tienen dos eventos previos no mutuamente excluyentes: **condiciones favorables en la parcela** O **inmigración de adultos** (Figura 11).

Si las **condiciones son favorables para la plaga en la parcela**, esto es debido a las **condiciones ambientales**, la **evidencia de la presencia de la plaga** y a las **condiciones agronómicas**; se conectan estos tres eventos con Y, y se consideran 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 que van de 26 a 32°C, y del total de la precipitación que ocurre a lo largo del año, en estos dos meses se concentra 42% (Figura 8, Pág. 39).

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

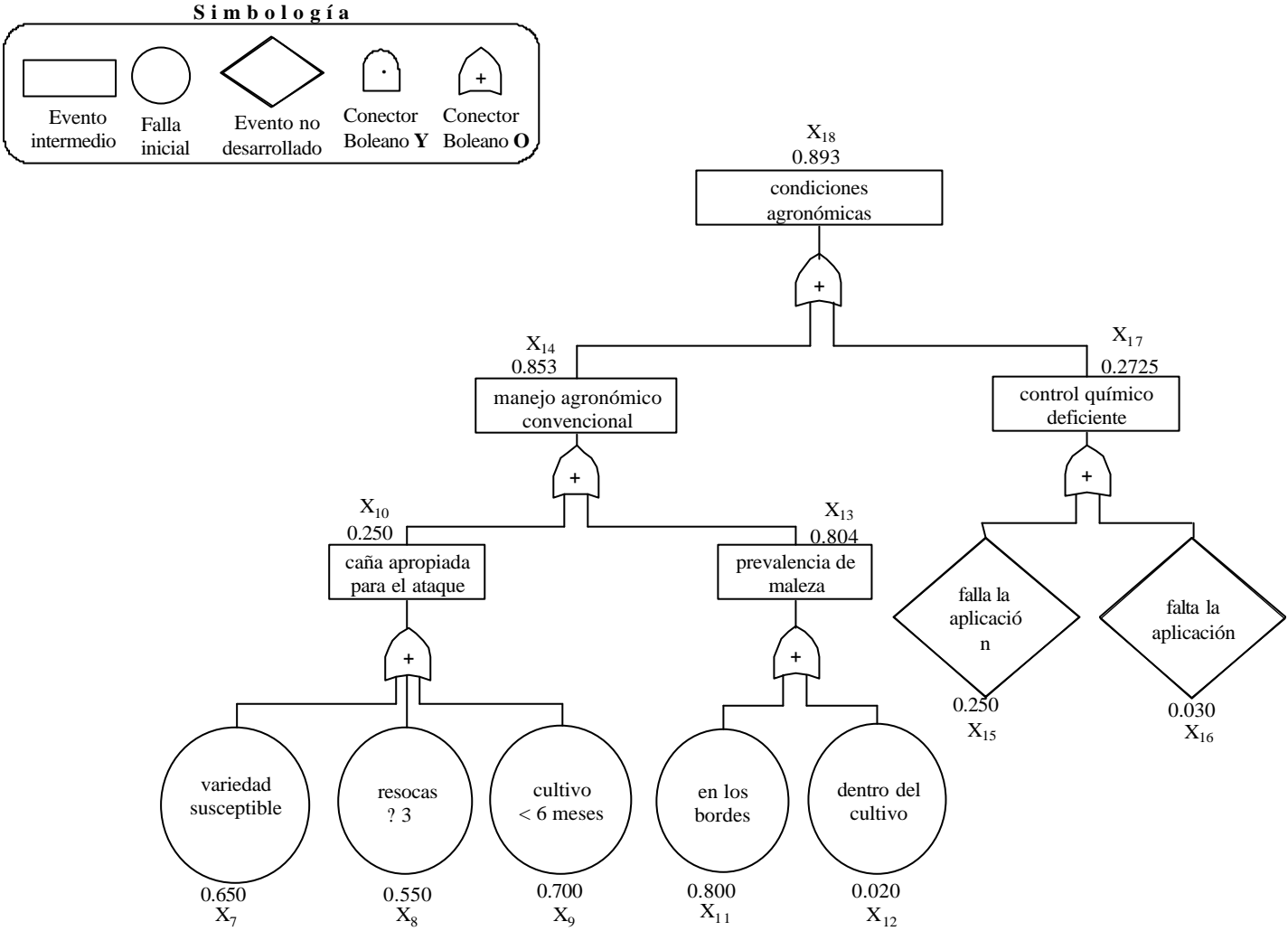
observado que en una parcela en donde se ha presentado la mosca pinta, la probabilidad de que la plaga se presente al siguiente año es relativamente alta.



**Figura 11.** 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.

Aunado a las **condiciones ambientales** y a la **evidencia de la presencia de la plaga**, conectada con Y, las **condiciones agronómicas** 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. Dicha sección del árbol de fallas se muestra en la Figura 12. Éstas incluyen el **manejo agronómico convencional** O **control químico deficiente**; ambos eventos intermedios considerados como no mutuamente excluyentes. El

manejo agronómico convencional está integrado por caña apropiada 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.



**Figura 12.** Las “condiciones agronómicas” del árbol de fallas para el evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio.*

Para el caso de que las **variedades sean susceptibles**, se cuenta sólo con evidencia empírica. Se menciona que puede estar ligada a lo ancho de la hoja, siendo más susceptibles de ataque las variedades de hoja angosta (Flores, 1994). Domínguez (2001), señala que la variedad MEX-68-P23 presenta resistencia al ataque de la mosca pinta, pero no menciona los fundamentos de tal aseveración. Cabe mencionar que en países como Brasil, Costa Rica, Venezuela y Guatemala se cuenta con variedades resistentes a otras especies de salivazo. En el caso de los pastos, donde se han realizado mayores esfuerzos de investigación, ya que se cuenta con variedades resistentes al ataque de otras especies de mosca pinta. Dicha resistencia se basa en tolerancia y antibiosis de la planta a la plaga (Sotelo *et al.*, 1993; Cardona *et al.*, 1999; Cardona *et al.*, 2004). Por otro lado, Rubio (2004)<sup>9</sup> indica que las variedades MEX-69-290 y CP-72-2086 ocupan aproximadamente 65% de la superficie plantada con caña de azúcar en la zona de estudio, a razón de 50% y 15%, respectivamente (Domínguez *et al.*, 2004; Rubio, 2004<sup>9</sup>). 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, encontrando en la mayoría de los casos para este año un intervalo de dos a cinco (Domínguez *et al.*, 2004). Esta condición es favorable para la plaga, ya que no se remueve el suelo que rodea a la cepa.

Por otro lado, se deben considerar que en el área de estudio se presentan diferentes estados de desarrollo del cultivo; esto referido a que las **plantaciones menores de seis meses de desarrollo** son más susceptibles de ser atacadas (Flores, 1994). Para el evento crítico seleccionado en el mes de julio, 70% de las plantaciones de caña de azúcar se encuentran en un estado de desarrollo igual o menor a seis meses; es decir, son susceptibles de sufrir mayores daños (Cuadro 3, Pág. 55).

El factor **presencia de maleza** ocurre con bastante frecuencia en el cultivo y se debe a una planificación deficiente, ya que se considera que la maleza causa un daño mínimo al cultivo por encontrarse en su mayoría en los bordes de la parcela, sin considerar que es de ahí de donde puede provenir la plaga.

---

<sup>9</sup> Entrevista: Ing. J. Francisco Rubio Ibarra, 2-marzo-2004, ingenio La Gloria



Otro evento intermedio que compone las **condiciones agronómicas**, es el **control químico deficiente**; éste se 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. Sin embargo, 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 (CICOPLAFEST), y no se cuenta con estudios suficientes 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; éstos 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, es decir, se dirige a los sitios en donde se encuentra el estado biológico de interés de la plaga. El *tamaño de las parcelas* es mayoritariamente de una a cuatro hectáreas, por lo que la longitud y conformación de los linderos dificulta la aplicación aérea, considerando que dichos linderos 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 las aplicaciones se realizan en forma aérea con avioneta, asperjándose entre 40 y 50% de la superficie cultivada (Montero, 2004)<sup>10</sup>. Los casos en los que no se realiza el control químico son mínimos, o bien se consideran no oportunos por ser aplicados fuera de tiempo.

Las altas densidades de los 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**, conectados con Y, siendo considerados como eventos independientes. Los adultos de mosca pinta pueden provenir de alguna **parcela adyacente infestada con caña** **O de una parcela adyacente infestada con pastos**; estas dos fallas iniciales son consideradas como no mutuamente excluyentes, es decir, su ocurrencia no está condicionada entre sí. Por estudios previos se sabe que la dispersión de adultos de una parcela a otra es limitada (Utrera *et al.*, 2004),

---

<sup>10</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 6-julio -2004, ingenio La Gloria.

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, es necesario considerar que la zona de estudio es un área compacta, en donde la mayoría de las parcelas de caña de azúcar colindan entre sí, y en donde se encuentran pequeñas áreas de agostadero con pastos. Lo que sugiere que 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. Por otro lado, cabe mencionar que la mosca pinta presenta una distribución espacial en agregados, que combinada con las distancias de su desplazamiento indican que los focos de infestación crecen paulatinamente en una temporada y de un año a otro.

### 7.3.1.2. 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** (Contreras 1964; Flores *et al.*, 1965; King, 1975; Bianco, 1982; Martínez y López, 1992; Koller and Honer, 1993; Morales, 1993; Flores, 1994; Fontes *et al.*, 1995; Martin *et al.*, 1995; Sujii *et al.*, 1995; Enríquez *et al.*, 1999; Peck, 1999; De Yta, 2000; Pires *et al.*, 2000; López-Collado *et al.*, 2003; Herrera *et al.*, 2004). Cuando estos dos componentes se presentan de manera combinada en los meses de mayo a septiembre, ocurre la eclosión de los huevecillos y consecuentemente la presencia de las ninfas y de los adultos de la mosca pinta.

El clima en la zona de estudio (ingenios La Gloria y El Modelo) presenta lluvia estacional, que tiene la siguiente distribución promedio mensual: 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 ( $\pm 20$ ) o más (la cual ocurre en los meses de junio y julio) es de 0.70 a 0.90. Se estima que esta cantidad de lluvia en el periodo antes indicado, promueve la presencia de la mosca pinta.

En cuanto a las **altas temperaturas**, para este mismo período se registraron promedios mensuales mínimos de 25.8°C y máximos de 28.1°C, con promedio de 27.1°C en el período de mayo a agosto (Figura 9, Pág. 41). De igual manera, se hizo el análisis de frecuencias, encontrando que la probabilidad de ocurrencia de estas temperaturas en dicho período de tiempo es 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 a razón de 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, considerando que las plantaciones con caña de azúcar y con resocas mayores a tres tienen cierta predisposición al ataque de la mosca pinta, 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 (Cuadro 3). Para el periodo 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 Villanueva *et al.* (1993), Chagal (2000) y García (2003) la mosca pinta se distribuye espacialmente en agregados, por lo que las zonas infestadas son localizadas, donde los focos de infestación están más o menos definidos y su expansión es paulatina. Por otro lado, el mayor número de especies de maleza presente en el cultivo de caña de azúcar es de la familia Poacea (Perdomo, 2004). La probabilidad de encontrar maleza al interior del cultivo es muy baja, estimada de 0.01 a 0.03. Este valor se estima al considerar que los primeros cuatro meses de crecimiento del cultivo, la maleza se controla química y manualmente, quedando una ventana de tiempo de dos meses, en los cuales el cultivo deja pasar muy poca luz al fondo del surco y ocupa casi la totalidad de la superficie de suelo, lo que reduce su presencia dentro del cultivo.

**Cuadro 3.** Meses de desarrollo de las plantaciones de caña de azúcar para el mes de julio.

Superficie cosechada por mes										
10%	20%	20%	20%	20%	10%					100%
Meses de desarrollo										
Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul		
Cosecha	1	2	3	4	5	6	7	8	10%	
	Cosecha	1	2	3	4	5	6	7	20%	
		Cosecha	1	2	3	4	5	6	20%	
			Cosecha	1	2	3	4	5	20%	
				Cosecha	1	2	3	4	10%	
					Cosecha	1	2	3	10%	
									100%	

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, sucede 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**, si se considera que la zona de estudio es un área compacta, es decir, que la mayoría de las parcelas con caña de azúcar colindan entre sí, entonces, la probabilidad de que la parcela colindante con caña de azúcar esté infestada con adultos de mosca pinta es del orden 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, aplica el supuesto que 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. Esto sirve para estimar la probabilidad de infestación de la mosca pinta en parcelas con pasto, definida entre 0.20 a 0.30. Esto es debido a que las condiciones para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de la mosca pinta se consideran mejores que en el cultivo de la caña de azúcar, ya que las Poaceas son hospederas naturales de la mosca pinta, lo que representa focos de infestación para el cultivo de 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.

De manera general, los **vientos** 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 la dispersión de la mosca pinta. Por lo anterior, 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 (Figuras 11 y 12, Págs. 49 y 50). Dichas operaciones corresponden a las más comunes del álgebra booleana y que fueron presentadas en la sección 6.5.1. Los cálculos se hicieron para cada conjunto mínimo de fallas hasta llegar al evento crítico elegido o Z, como sigue:

$$P(X_3)=P(X_1) \cdot P(X_2)=0.640$$

$$P(X_6)=P(X_4)+P(X_5)=0.950$$

$$P(X_{10})=P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9)=0.250$$

$$P(X_{13})=\{P(X_{11})+P(X_{12})\}-\{P(X_{11}) \cdot P(X_{12})\}=0.804$$

$$P(X_{14})=\{P(X_{10})+(X_{13})\}-\{(X_{10}) \cdot (X_{13})\}=0.853$$

$$P(X_{17})=\{P(X_{15})+(X_{16})\}-\{(X_{15}) \cdot (X_{16})\}=0.2725$$

$$P(X_{18})=\{P(X_{14})+(X_{17})\}-\{P(X_{14}) \cdot P(X_{17})\}=0.893$$

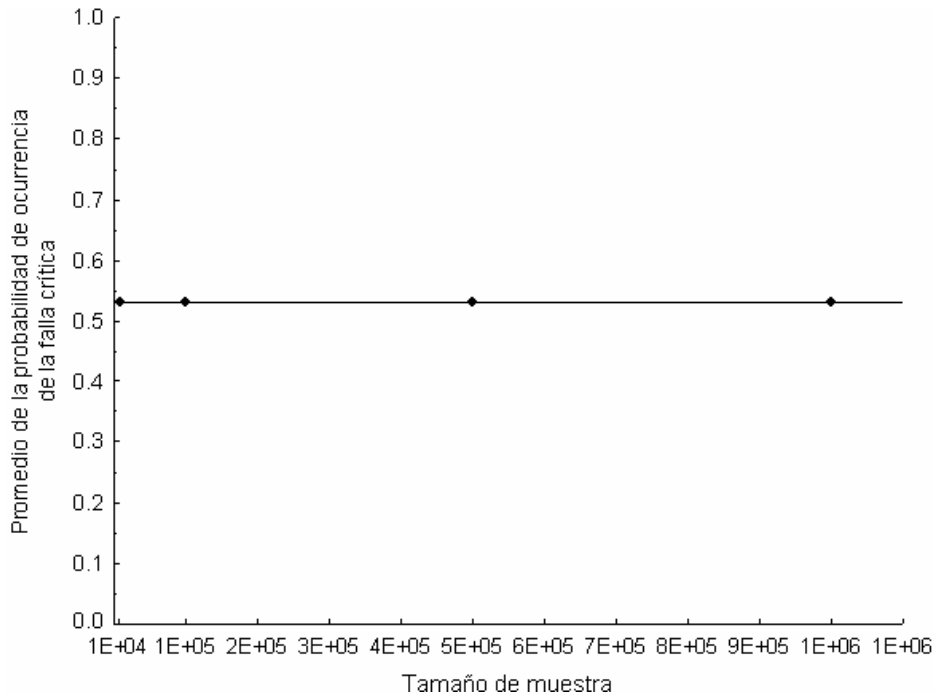
$$P(X_{22})=\{P(X_{20})+(X_{21})\}-\{P(X_{20}) \cdot P(X_{21})\}=0.588$$

$$P(X_{24})=P(X_{22}) \cdot P(X_{23})=0.044$$

$$P(Z)=\{P(X_{19})+P(X_{24})\}-\{P(X_{19}) \cdot P(X_{24})\}=0.563$$

### 7.3.1.3. Simulación Monte Carlo

En esta sección primero se determinó el mejor tamaño de muestra. Se encontró que los cuatro tamaños de muestra de valores aleatorios probados (10,000; 100,000; 500,000 y 1,000,000) sus medias no presentaron variaciones considerables, comportándose de manera asintótica como 0.530832964, 0.530557362, 0.530698048 y 0.530690172, respectivamente (Figura 13). Por lo cual, para el resto de los árboles de fallas se trabajó con un tamaño de muestra de diez mil valores aleatorios.

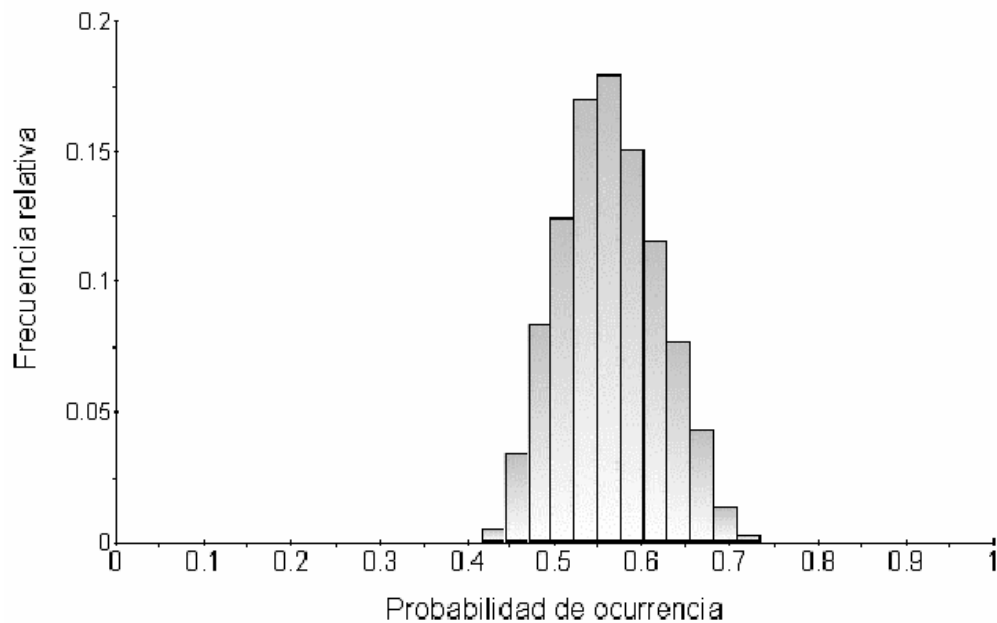


**Figura 13.** Probabilidad de ocurrencia de la falla final para diferentes tamaños de muestra generados mediante simulación Monte Carlo.

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 de ocurrencia de esta falla crítica está alrededor de 0.562 (Figura 14). El Cuadro 4 presenta 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 fue 0.562 y la mediana 0.561. Como se observa, estos descriptores están alrededor del valor estimado de probabilidad que fue de 0.563.

**Cuadro 4.** 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



**Figura 14.** Distribución de probabilidad del evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*.

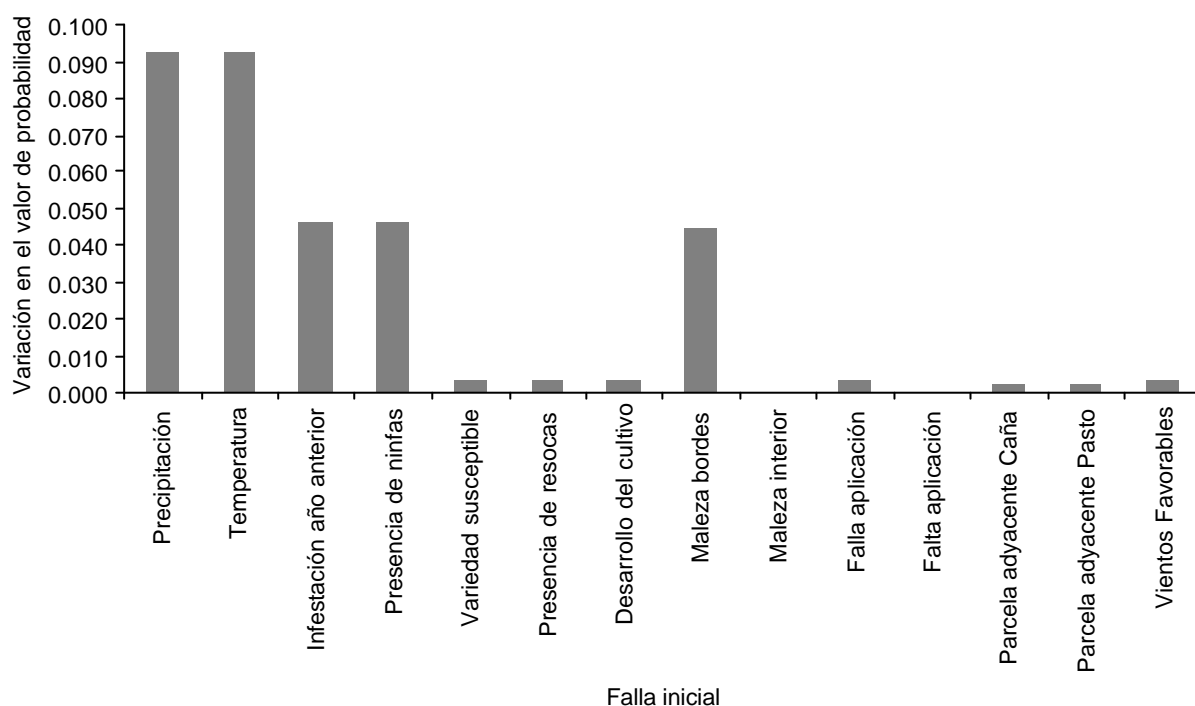
Se observa que los valores promedio, moda y mediana están alrededor de la probabilidad final del árbol de fallas (0.563) y alrededor del porcentaje de superficie de la zona a la cual se le aplican tratamientos con insecticidas para el control de la mosca pinta (50%), lo que sugiere que los intervalos estimados para cada parámetro y las interacciones entre ellos representan razonablemente los eventos que ocurren en el sistema real.

#### 7.3.1.4. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad nos indica cuáles parámetros o componentes del sistema al ser modificados influyen de manera significativa en el resultado final del modelo. Cabe mencionar que en sistemas físicos, tales como máquinas, complejos industriales y aeroespaciales, procesos y otros, los componentes pueden ser modificados o reemplazados, ya que dichos componentes son físicos. En el caso del sistema delimitado en este trabajo, al ser un sistema biológico y por tanto dinámico, no todos los componentes del sistema pueden modificarse, entre ellos particularmente la temperatura y la precipitación.



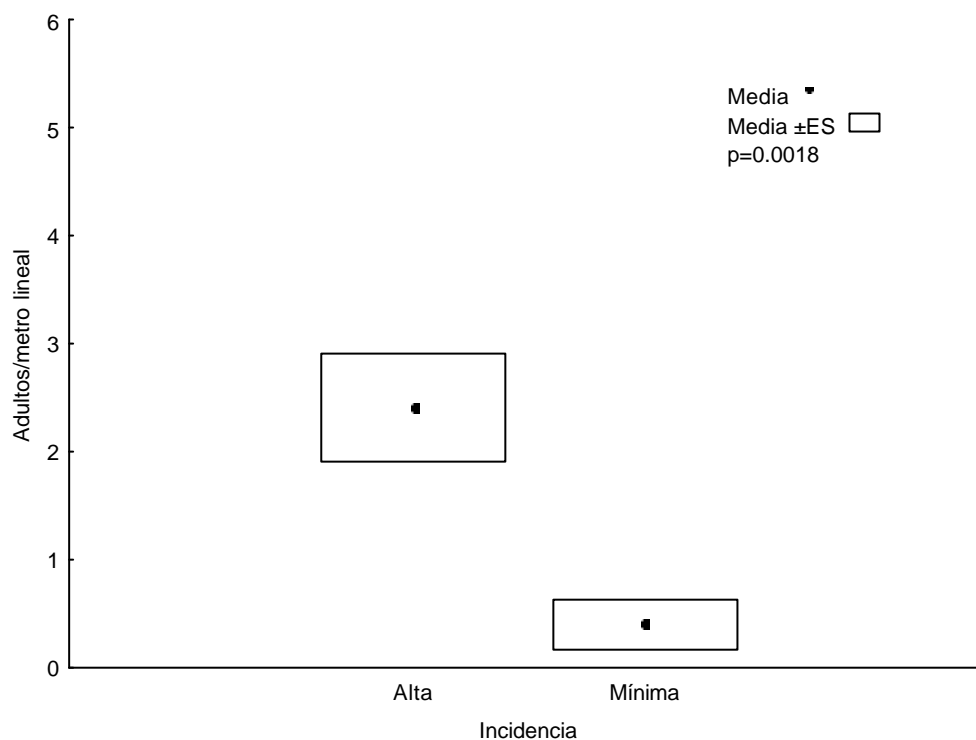
Por otra parte, el análisis de sensibilidad numérico indica que al incrementar 10% al valor de probabilidad de cada una de las fallas iniciales, en la salida final del modelo se observó que la **precipitación** y la **temperatura** son los dos componentes que más influyen en el mismo, seguidos de **infestación en el año anterior**, la **presencia de ninfas** y la **presencia de maleza** (Figura 15). De las cinco fallas iniciales mencionadas, las dos primeras son fenómenos meteorológicos que difícilmente pueden ser influenciados o modificados. 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, las cuales se enfocan principalmente al control del adulto de la plaga.



**Figura 15.** 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*.

### 7.3.1.5. Validación

Los resultados del muestreo de adultos, realizado en los diez lotes seleccionados con alta incidencia de mosca pinta, indican que el modelo predice satisfactoriamente. Esto puede observarse en la Figura 16, donde existe significancia de 0.0018 entre lotes con alta incidencia y lotes con incidencia mínima.



**Figura 16.** Resultado del muestreo de adultos de mosca pinta en parcelas con alta incidencia e incidencia mínima.

### 7.3.2. Árbol de fallas para el evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*

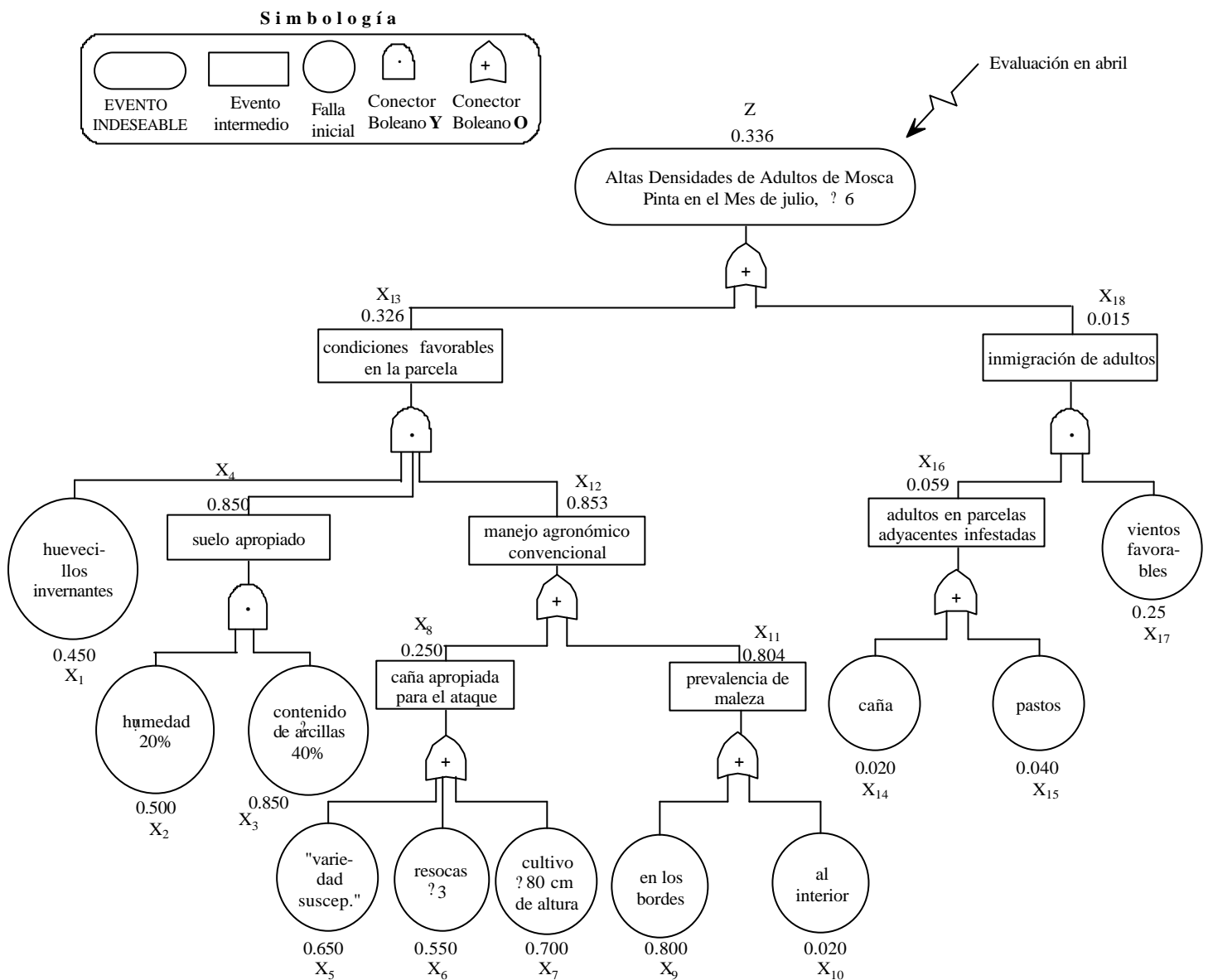
#### 7.3.2.1. Evaluación cualitativa

La evaluación del árbol de fallas para el evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*, presenta un mayor grado de incertidumbre con respecto al primero, ya que en este mes aún no ocurren ciertos eventos que son

cruciales para que la plaga se presente (infestación previa o altas precipitaciones). Como se mencionó, la presencia de huevecillos se relaciona positivamente con suelos arcillosos y su contenido de humedad. Asimismo, en el momento de la evaluación de este árbol de fallas aún no ha ocurrido el evento “control químico”, que es fundamental en la estructura de interrelaciones de este tipo de árboles de fallas. Por otro lado, existen eventos que de antemano se conocen, tal como la variedad, el número de resocas y el porcentaje del área cultivada que para el mes de julio será igual o mayor a 80 cm de altura. Por otro lado, aún cuando el evento intermedio “inmigración de adultos” representa una probabilidad de ocurrencia muy baja (similar a la del primer árbol de fallas evaluado), éste evento debe ser considerado y es analizado al final de esta sección.

Por lo anterior, este árbol de fallas es parcialmente similar al formulado anteriormente, en el sentido de que hay algunas fallas iniciales que son comunes o constantes, tales como la variedad, el número de resocas, los meses de desarrollo del cultivo, y la presencia de maleza en el cultivo y sus bordes. Las fallas iniciales en las que difiere son **presencia de huevecillos invernantes, humedad = 20%, contenido de arcillas = 40% e inmigración de adultos**, y en la estimación de las fallas iniciales **parcelas adyacentes con caña de azúcar infestadas, parcelas adyacentes con pastos infestadas y vientos favorables**. Esto debido a que el análisis se enfoca principalmente al estado biológico de la mosca pinta que le permite presentarse en el mes de julio, es decir, los huevecillos. Éstos se encuentran en el suelo y se relacionan estrechamente con las tres primeras fallas iniciales mencionadas atrás, mismas que se evaluarán aquí. Las fallas iniciales referidas a temperatura y precipitación no fueron consideradas porque éstas se relacionan más con el desarrollo de las ninfas y adultos, y el establecimiento del período de lluvias que ocurre hasta el mes de julio.

Para que la falla crítica evaluada ocurra, deben presentarse **condiciones favorables en la parcela o inmigración de adultos**, ambos eventos intermedios enlazados con un conector boleano O, y estos eventos no son mutuamente excluyentes (Figura 17). Si ocurre el primer evento, éste puede deberse a tres eventos intermedios ligados con un conector boleano Y, considerados como eventos mutuamente independientes: **presencia de huevecillos invernantes, suelo apropiado y manejo agronómico convencional**



**Figura 17.** Árbol de fallas para el evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* (Evaluado en el Mes de Abril).

La **presencia de huevecillos invernantes**, permite a la mosca pinta aparecer de un año a otro, ya que un porcentaje de ellos sobrevive a las condiciones adversas del medio, tal como la quema, la sequía, los enemigos naturales, y otros; eclosionan hasta que encuentran las condiciones apropiadas (Velasco *et al.*, 1969). Estos huevecillos, se encuentran preferentemente en las resocas, ya que el suelo es removido parcialmente y por tanto no se ven expuestos directamente a condiciones adversas. Cabe señalar que los huevecillos invernantes o diapáusicos sobreviven

mejor en suelos arcillosos (Contreras, 1964; Flores *et al.*, 1965; Flores, 1994; Martin *et al.*, 1999; Salgado *et al.*, 2003). Muestreos en parcelas con caña de azúcar antes y después de la quema, sugieren que sí hay supervivencia de los mismos (datos no publicados).

Por otra parte, se considera **suelo apropiado**, si contiene **humedad = 20%** y su **contenido de arcillas es = 40%**. De acuerdo con los trabajos de Herrera *et al.* (2004) y Mota (2004), en suelos con altos contenidos de arcillas y por tanto con altos contenidos de humedad, la mosca pinta prospera mejor y se encuentran la mayor cantidad de huevecillos invernantes.

El evento intermedio **inmigración de adultos** en esta etapa del cultivo es casi nulo, ya que aún no se presentan los adultos de la mosca pinta, puesto que los huevecillos no han eclosionado ni han pasado por el estado ninfal. En esta época del año los vientos del Norte del Golfo de México son fuertes, sin embargo su posible efecto en la dispersión del insecto, se minimiza por la falta de adultos en cantidades significativas. Lo anterior puede deberse a la sincronía entre las condiciones ambientales en el período de mayo a septiembre (precipitaciones medias y altas temperaturas) y la mosca pinta, ya que las ninfas se presentan cuando ha iniciado la época de lluvias, momento en el cual existe suficiente alimento en el medio, considerando que los pastos son los hospederos naturales de la mosca pinta.

#### **7.3.2.2. Estimación de parámetros**

La estimación de parámetros sólo se realizó para las fallas iniciales indicadas en el párrafo anterior. Por lo cual, la probabilidad de encontrar suelos con **presencia de huevecillos invernantes**, aunque con diferentes grados de infestación, se obtuvo de manera indirecta al estimar la superficie en la cual se aplican medidas de control contra la plaga; dicha superficie fluctúa entre 40 y 50%, por lo cual la probabilidad de encontrar huevecillos invernantes se estima entre 0.40 a 0.50.

Se estima que el intervalo de probabilidad de que los **suelos contengan = 20% de humedad** en este mes es de 0.40 a 0.60. Esto al considerar que en promedio las parcelas con caña de azúcar son regadas cada 1.5 meses, de acuerdo al plan de trabajo del organismo que regula el riego,

tiempo suficiente para cubrir la totalidad del área. En adición, se considera que la gran mayoría de estos suelos son arcillosos, y que para este mes el 30% de las plantaciones superan los 80 cm de altura. Además, para alcanzar 20% de humedad del suelo, la lámina de riego requerida es mínima, y de manera general puede ser cubierta incluso por el rocío matutino. Cabe mencionar que para tener un dato más preciso, se debe considerar la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitez Permanente y la Densidad Aparente del suelo.

Por otra parte, la probabilidad de que los suelos tengan un **contenido de arcillas = 40%** es alta, entre 0.80 y 0.90, considerando que de 80 a 90% de los suelos en donde está la caña de azúcar son Vertisoles y Feozems, con contenido de arcillas mínimos de 35%.

A pesar de que se estiman en un intervalo de 40 a 50% a las **parcelas adyacentes con caña de azúcar infestadas** con mosca pinta en la zona de estudio, en esta época del año (abril) aún no se presentan las condiciones para que la plaga se manifieste plenamente, por lo que se calcula una probabilidad de ocurrencia de parcelas con caña de azúcar que contengan adultos de la mosca pinta entre 0.01 a 0.03, de acuerdo al conocimiento del personal técnico de campo de los ingenios azucareros La Gloria y El Modelo.

Para el caso de **parcelas adyacentes con pastos infestadas** el año anterior, el valor de probabilidad, bajo las mismas condiciones se estima un poco más alto, alrededor de 0.03 a 0.05, ya que como se mencionó, los pastos son los hospederos naturales de la mosca pinta. Sin embargo, el hecho de que una parcela haya estado infestada el año anterior no significa que en este mes del año llegue a tener altas densidades de adultos. Aunque cabe mencionar que en abril llegan a presentarse los primeros adultos de la mosca pinta en algunas áreas de manera muy puntual (Montero, 2004)<sup>11</sup>.

A pesar de que los **vientos favorables** no son importantes en la dispersión de la plaga, en el mes de abril su velocidad aumenta y por lo tanto la probabilidad de que sean benignos para la dispersión de la mosca pinta incrementa, estimando su valor entre 0.20 y 0.30.

---

<sup>11</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 26-julio-2004, ingenio La Gloria.

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 (Evaluado en el Mes de Abril)*, también denominado Z (Figura 17, Pág. 63).

$$P(X_4)=P(X_2) \cdot \{P(X_3)/P(X_2)\}=0.850$$

$$P(X_8)=P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7)=0.250$$

$$P(X_{11})=\{P(X_9)+P(X_{10})\} - \{P(X_9) \cdot P(X_{10})\}=0.804$$

$$P(X_{12})= \{P(X_8) + P(X_{11})\} - \{P(X_8) \cdot P(X_{11})\}=0.853$$

$$P(X_{13})=P(X_1) \cdot P(X_4) \cdot P(X_{12})=0.326$$

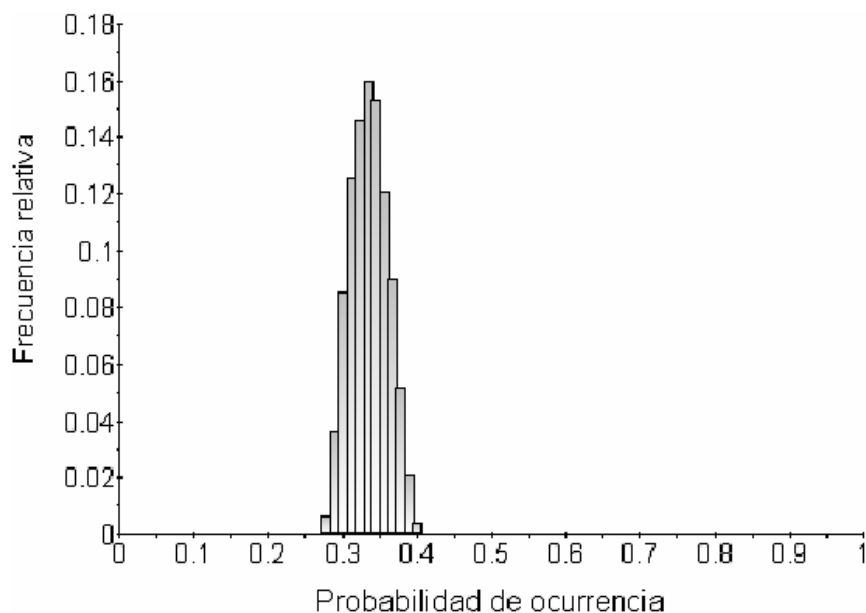
$$P(X_{16})=\{P(X_{14})+P(X_{15})\} - \{P(X_{14}) \cdot P(X_{15})\}=0.059$$

$$P(X_{18})=P(X_{16}) \cdot P(X_{17})=0.015$$

$$P(Z)=\{P(X_{13})+P(X_{18})\} - \{P(X_{13}) \cdot P(X_{18})\}=0.336$$

### 7.3.2.3. Simulación Monte Carlo

La simulación para *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)*, encontró que la probabilidad de que ocurra esta falla crítica es de 0.336, como se ilustra en la Figura 18.



**Figura 18.** Distribución de probabilidad del evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de abril)*.

En el Cuadro 5 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 0.336; el valor mínimo encontrado (0.274) corresponde al escenario menos probable de que la plaga se presente; mientras que el valor máximo (0.406) representa el escenario en donde la plaga se presenta con mayor probabilidad. El valor modal fue 0.334 y la mediana 0.336.

**Cuadro 5.** Valores de probabilidad de ocurrencia del evento crítico Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril) para algunos parámetros.

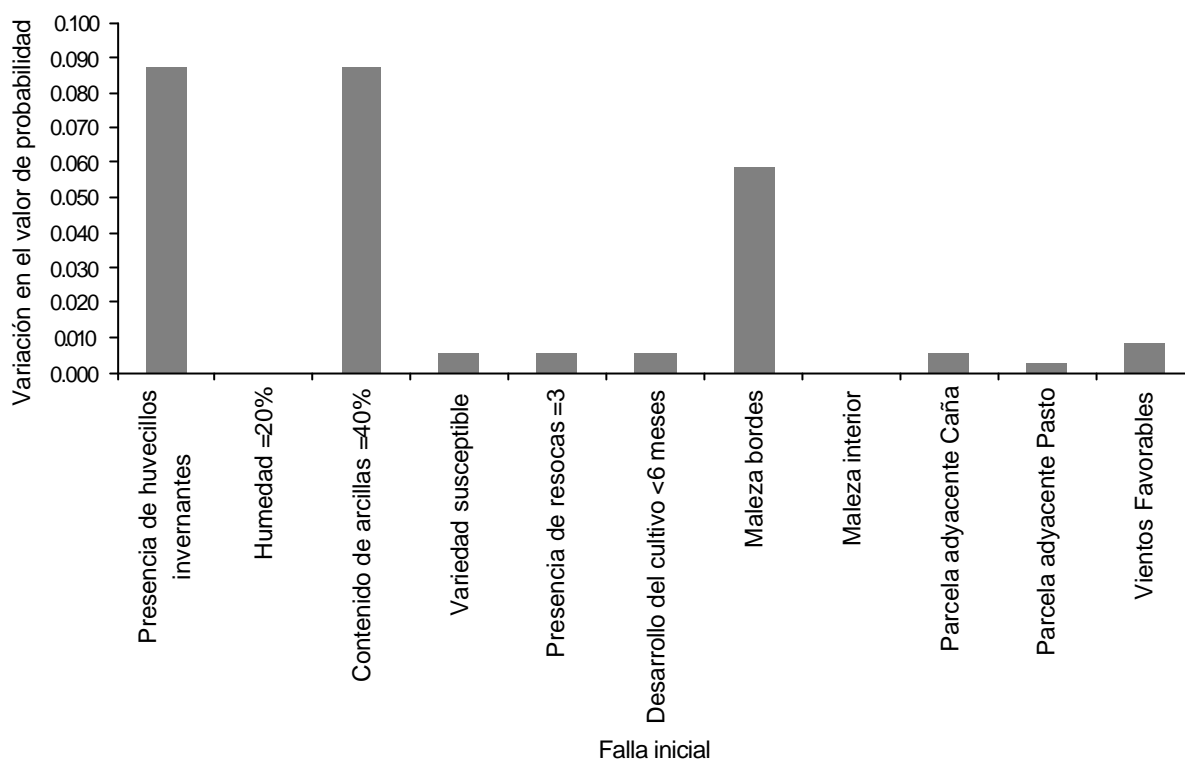
Parámetro	Estimador
Media	0.336
Moda	0.334
Mediana	0.336
Máximo	0.406
Mínimo	0.274

En esta evaluación los valores de la moda, la mediana y la media son muy cercanos al valor estimado de probabilidad final del evento (0.336), y la incertidumbre que presenta con respecto al primero es evidente, ya que como se mencionó previamente, al momento de realizar esta evaluación aún no ocurrían ciertos eventos que están en relación directa con la mosca pinta. Sin embargo, con un trabajo más exhaustivo, dirigido a la detección de huevecillos, esta evaluación podría mejorarse, y con ello el control de la plaga, ya que de esta manera se calcularían las densidades poblacionales por áreas y el manejo de la plaga sería dirigido.

#### 7.3.2.4. Análisis de Sensibilidad

Al incrementar 10% del valor de probabilidad de cada una de las fallas iniciales y observar la salida final del modelo, se observa que la **presencia de huevecillos invernantes** y el **contenido de arcillas en el suelo = 40%**, son las fallas iniciales que más influyen en la salida final del modelo, seguidas de la falla inicial **presencia de maleza en los bordes de las parcelas**; esto se observa en la Figura 19.





**Figura 19.** Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo, al cambiar en un 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial. Evento crítico *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Julio)*.

Como puede notarse, tanto para el primer árbol de fallas como para el segundo, existe sincronía entre las fallas iniciales **infestación en el año anterior**, **presencia de ninfas** y **presencia de huevecillos invernantes**, dichas fallas son las que definen la presencia de la mosca pinta en el cultivo de la caña de azúcar. Por otro lado, la falla inicial **presencia de maleza en los bordes de las parcelas** para ambos árboles de fallas se comporta como influyente, lo que confirma la importancia relativa de ésta. Con un plan de manejo adecuado, estas tres fallas iniciales pudiesen ser controladas.

De este modo, un sistema de predicción de la plaga a través de sus huevecillos, es complementario a la evaluación a realizar en vísperas de que las condiciones ambientales para la mosca pinta se presente.

### 7.3.3. Árbol de fallas para el “evento crítico” *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*

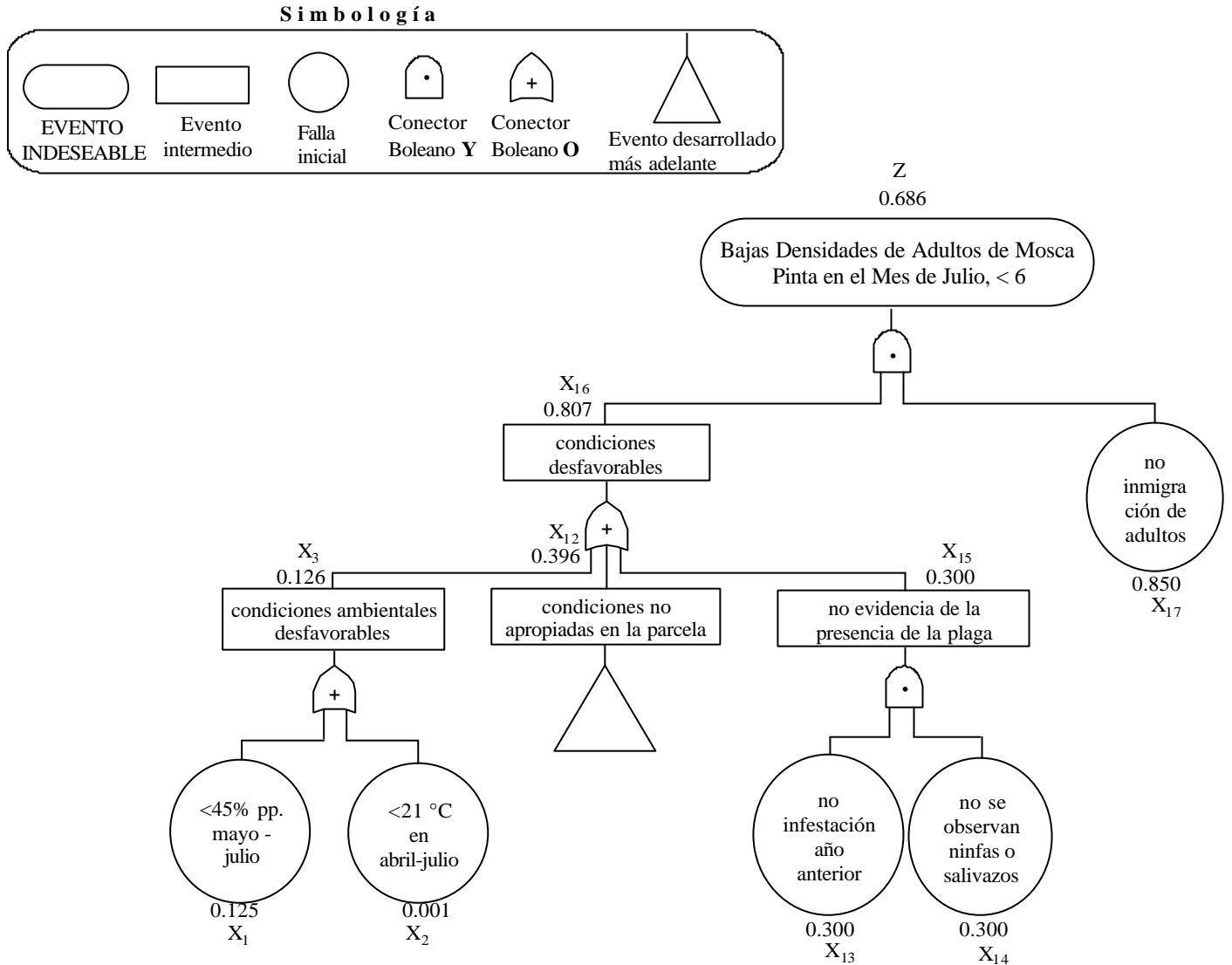
#### 7.3.3.1. Evaluación cualitativa

Se evaluó el árbol de fallas para el “evento crítico” *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* (Figuras 20 y 21), el cual está compuesto de dos ramales o eventos principales, conectados con Y: **condiciones desfavorables y no inmigración de adultos**; en este caso ambos eventos son independientes. El primer ramal está integrado por tres eventos intermedios que no son mutuamente excluyentes, conectados con O: **condiciones ambientales desfavorables, condiciones no apropiadas en la parcela y no evidencia de la presencia de la plaga**. Mientras que el segundo ramal es una falla inicial.

Se consideran **condiciones ambientales desfavorables**, cuando la precipitación que ocurre en los meses de mayo, junio y julio es menor a 45% del total anual, ya que según las observaciones meteorológicas, cuando esto ocurre la mosca pinta no se manifiesta de forma intensa; lo mismo sucede cuando la temperatura promedio en este mismo periodo está por debajo de 21°C. Ambas fallas iniciales están conectadas con Y, y no son mutuamente excluyentes.

Las “condiciones no apropiadas en la parcela” (Figura 21), incluyen a tres eventos intermedios con un conector booleano O, siendo no mutuamente excluyentes, los cuales son **caña no apropiada para el ataque, control de maleza y control químico eficiente**. El primero se integra por: **variedad tolerante**, que aunque dicha tolerancia no esté documentada, se menciona que está ligada al ancho de la hoja, por lo que serían siendo más susceptibles las variedades de hoja ancha; **presencia de resocas menor a dos**, esto por considerar que la densidad de huevecillos invernantes en este número de resocas es mínima, y **desarrollo del cultivo mayor a seis meses**, dado que se ha observado que cuando el cultivo supera esta etapa, es más resistente al daño que le pueda ocasionar la plaga. Estas tres fallas iniciales están conectadas con O, y son consideradas como eventos independientes. El segundo evento está referido al **control de la maleza en la parcela como en sus bordes**; ambos son eventos no mutuamente excluyentes. El tercero corresponde al evento no desarrollado **control químico eficiente**, ya que del área total

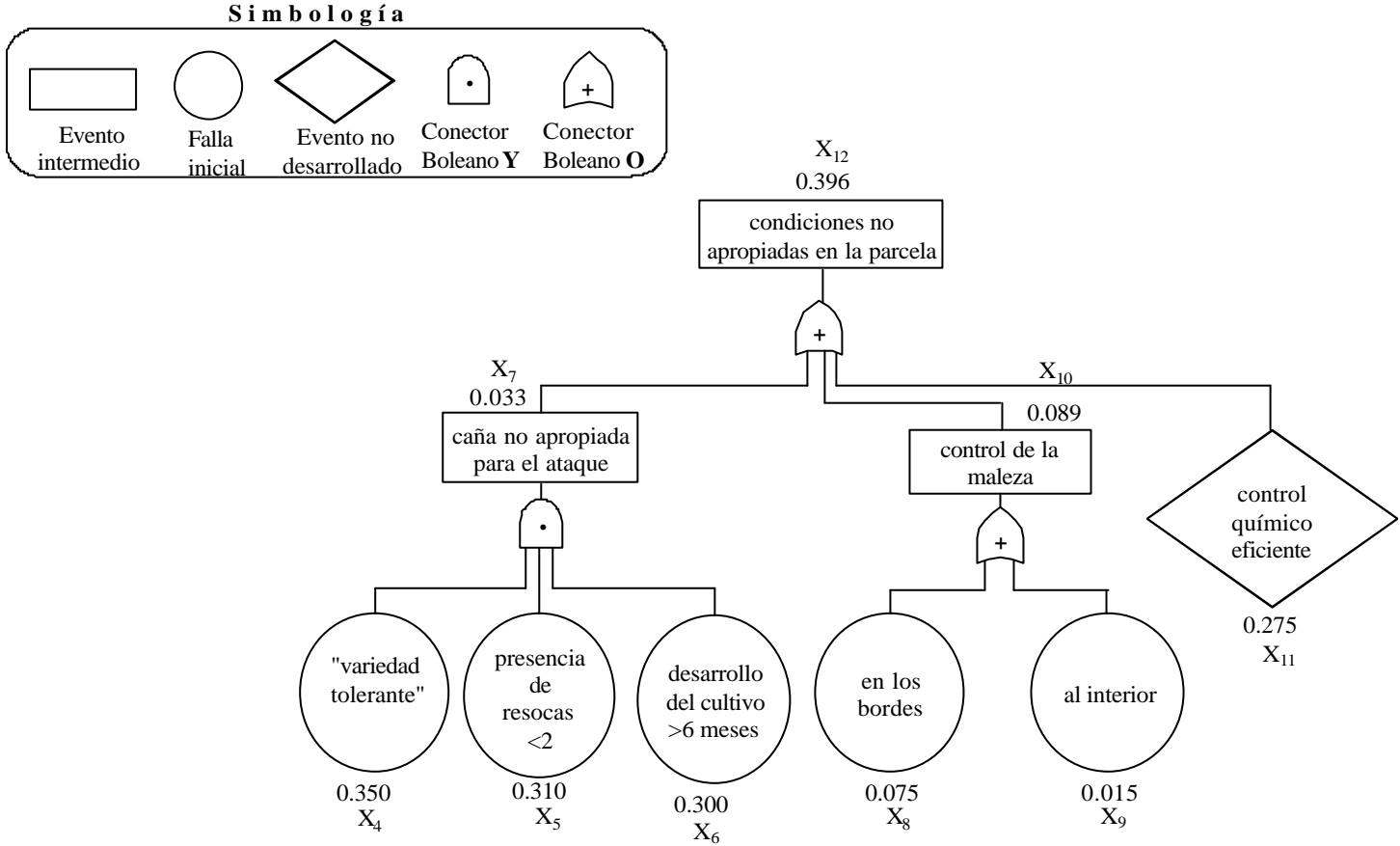
aplicada, en un porcentaje considerable sólo se realiza una aplicación, lo cual indica el éxito que se tuvo *a priori* en el control de la plaga.



**Figura 20.** Árbol de fallas para el evento **condiciones no apropiadas en la parcela** el evento crítico *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*.

La **no evidencia de la presencia de la plaga** (Figura 20) está compuesta por dos fallas iniciales conectadas con Y: **no infestación en año anterior** y **no se observan ninfas o salivazos**; ambas son interdependientes, ya que la segunda está condicionada por la primera, suponiendo que la probabilidad de inmigración de adultos que ovipositen sea muy baja.

El segundo ramal de este árbol de fallas **no inmigración de adultos**, se considera como una falla inicial, y como ha sido mencionado, el estado adulto de esta plaga no se caracteriza por desplazarse grandes distancias a través del vuelo, ya que más bien tiene hábitos de desplazamiento con saltos cortos; aunque esto no quiere decir que el insecto no tenga la capacidad de realizar vuelos largos, toda vez que cuenta con alas funcionales. Al liberar adultos marcados en parcelas con caña de azúcar, el desplazamiento es menor que cuando se liberaron adultos en parcelas sin cubierta vegetal (Utrera *et al.*, 2004). Esto posiblemente se deba a que el medio en el que se encuentra es un hábitat propicio y con alimento suficiente, lo cual no es motivo de búsqueda o exploración de otros cultivos o plantas.



**Figura 21.** Árbol de fallas para el evento **condiciones no apropiadas en la parcela**, del evento crítico *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*.

### 7.3.3.2. Estimación de parámetros

Las *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* (Figuras 20 y 21), se observan cuando se presentan los eventos intermedios **condiciones desfavorables** y **no inmigración de adultos**.

Se consideran **condiciones ambientales desfavorables** a la ocurrencia de menos de 45% de la precipitación en los meses de mayo, junio y julio, y a la ocurrencia de temperaturas promedio en este mismo período menores a 21°C. De acuerdo al análisis de la información generada en la estación meteorológica del ingenio La Gloria en los últimos doce años, la probabilidad de que esta cantidad de precipitación ocurra, fluctúa entre 0.1 y 0.15. Mientras que en el caso de la temperatura, la probabilidad de que esta condición ocurra es sumamente baja, a razón de 0.001.

Se denomina **variedad tolerante** a aquella en la cual se observa un menor ataque de la mosca pinta. En el área de estudio, se ha observado que las variedades Q-96, RD-75-10, CO-997, MEX-68-P23 y CP-74-2005 (Montero, 2004)<sup>12</sup>, son menos atacadas por la mosca pinta; sin embargo, no se cuenta con estudios que lo confirmen. En el mismo sentido, Domínguez (2001), señala que la variedad MEX-68-P23 presenta resistencia al ataque de la mosca pinta, sin presentar la evidencia para tal afirmación. Por otra parte, la superficie plantada con estas variedades en la zona de estudio es de aproximadamente 35%, por lo cual, si se asume que esta información es cierta, la probabilidad de encontrar dicha condición en el área es de 0.35.

La probabilidad de **presencia de resocas menor a dos** se estimó al considerar que 77% de la superficie está plantada con resocas, y que el número de resocas máximo recomendable es cinco (García, 1984). Se dividió la cantidad de hectáreas plantadas con resocas entre el número de resocas recomendable (cinco), lo que dio como resultado en 31% de la superficie plantada con resocas menores a dos, que corresponde a 7319.6 ha., por lo cual, la probabilidad para esta falla inicial es de 0.31.

---

<sup>12</sup> Entrevista: Ing. Leopoldo Montero Ramírez, 30-marzo-2004, ingenio La Gloria.

La proporción de la superficie en donde el **desarrollo del cultivo es mayor a seis meses**, para este mes en particular se calculó en 30% (Cuadro 3, Pág. 55), por lo cual la probabilidad de esta falla inicial es de 0.30.

El **control de la maleza en los bordes de las parcelas**, es poco frecuente. Por tanto, la probabilidad de ocurrencia oscila entre 0.10 a 0.15, esto considerando que entre 10 y 15% de los productores realiza dicha actividad. Para el caso de **control de la maleza al interior del cultivo**, la probabilidad de ocurrencia es muy baja, estimada de 0.01 a 0.03. Este valor se debe a que durante los primeros cuatro meses de crecimiento del cultivo se realiza control químico y manual, y queda una ventana de tiempo de dos meses, en los cuales el cultivo deja pasar muy poca luz al fondo del surco y ocupa casi la totalidad de la superficie de suelo, lo que reduce la aparición de maleza dentro del cultivo.

El evento **control químico eficiente** no fue desarrollado; sin embargo, se considera que existe una probabilidad de que este evento ocurra entre 0.25 y 0.30. Esto debido a que en una tercera parte de la superficie aplicada, una aplicación es suficiente para el control de la mosca pinta, en la otra tercera parte con dos aplicaciones basta y en la restante hasta con tres aplicaciones.

Las fallas iniciales **no infestación en el año anterior** y **no se observan ninfas o salivazos**, se les asignó a cada una de ellas una probabilidad de ocurrencia de 0.25 a 0.35; ello considerando la superficie plantada con variedades resistentes, la superficie con número de resocas menor a dos y la superficie en la que no se aplican tratamientos contra la mosca pinta.

Y finalmente, el segundo ramal del árbol y falla inicial **no inmigración de adultos**, relacionado como ya fue mencionado, con la dispersión limitada de la mosca pinta, permitió asignar una probabilidad alta de que esta falla inicial ocurra, entre 0.80 a 0.90.

Enseguida se presentan las operaciones booleanas realizadas para estimar el valor del “evento crítico” *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*, también denominado Z (Figuras 20 y 21, Págs. 70 y 71).

$$P(X_3) = \{P(X_1) + P(X_2)\} - \{P(X_1) \cdot P(X_2)\} = 0.126$$

$$P(X_7) = P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) = 0.033$$

$$P(X_{10}) = \{P(X_8) + P(X_9)\} - \{P(X_8) \cdot P(X_9)\} = 0.089$$

$$P(X_{12}) = \{P(X_7) + P(X_{10}) + P(X_{11})\} - \{P(X_7) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11})\} = 0.396$$

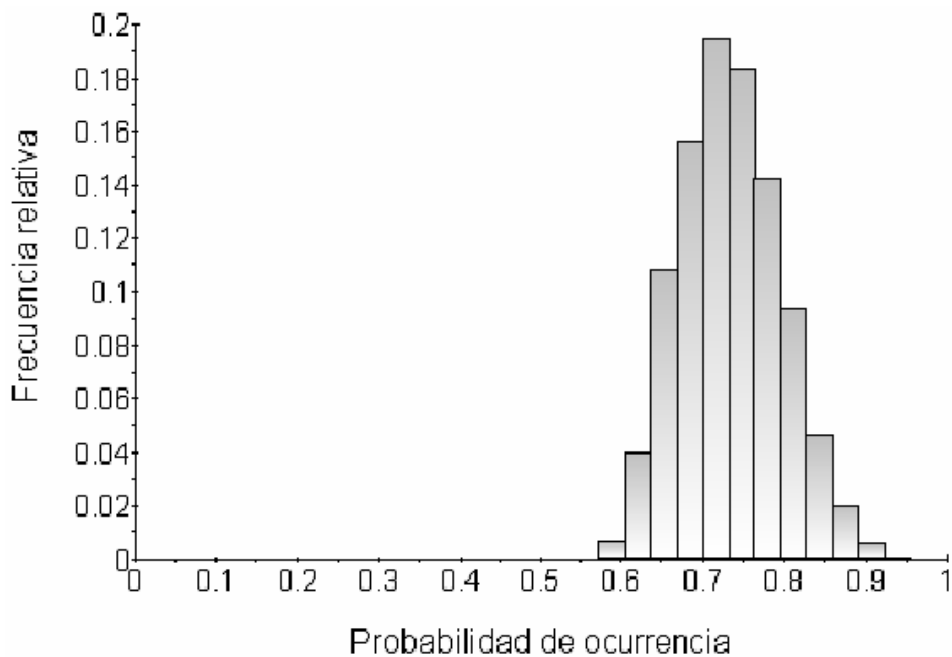
$$P(X_{15}) = P(X_{13}) \cdot \{P(X_{14}) / P(X_{13})\} = 0.300$$

$$P(X_{16}) = \{(X_3) + (X_{12}) + (X_{15})\} - \{(X_3) \cdot (X_{12}) \cdot (X_{15})\} = 0.807$$

$$P(Z) = P(X_{16}) \cdot P(X_{17}) = 0.686$$

### 7.3.3.3. Simulación Monte Carlo

En la simulación realizada para *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*, se encontró que la probabilidad de ocurrencia de esta falla crítica, está alrededor de 0.686, como se observa en la Figura 22.



**Figura 22.** Distribución de probabilidad del evento crítico *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*.

El Cuadro 6 presenta las estadísticas principales obtenidas del análisis de variabilidad de que ocurran *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio*. El valor promedio de que este evento ocurra es de 0.734, el valor mínimo encontrado (0.573) corresponde al escenario con la probabilidad de ocurrencia más baja; mientras que el valor máximo (0.955) representa el peor escenario de probabilidad. El valor modal fue 0.717 y la mediana 0.731.

**Cuadro 6.** Parámetros estimados para el evento Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio.

Parámetro	Estimador
Media	0.734
Moda	0.717
Mediana	0.731
Máximo	0.955
Mínimo	0.573

Aún cuando existe una diferencia entre el primer árbol de fallas planteado y este último, con respecto al valor de la falla crítica evaluada *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* = 0.563 y *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* = 0.734, cabe señalar que la diferencia se entiende como un traslapeo entre la probabilidad de altas y bajas incidencias, lo que podría ser más explícito a través de un análisis de lógica difusa, la cual aproxima los valores a su frontera específica de pertenencia a un determinado conjunto. Es decir, cuantifica la incertidumbre de los traslapos entre valores (Kruse *et al.*, 1991).

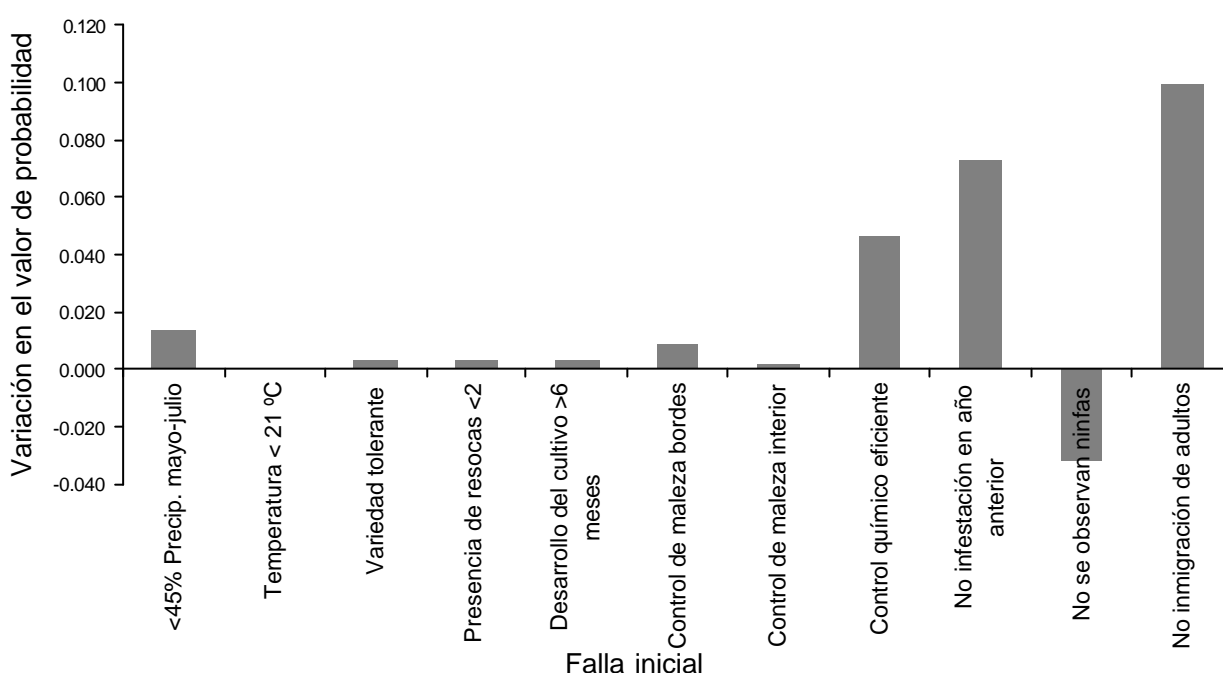
#### 7.3.3.4. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad indicó que las fallas iniciales que más influyen para que la mosca pinta no se presente en altas densidades, según su valor absoluto, son **no inmigración de adultos, no infestación en año anterior, control químico eficiente y no se observan ninfas**; esto se ilustra en la Figura 23.

Por otro lado, dicho análisis de sensibilidad demuestra lo mencionado por Utrera *et al.* (1994), referente a que la movilización de adultos de una parcela a otra es casi nula. Como se



ilustra en la Figura 23, la **no inmigración de adultos** es la falla inicial más importante para que haya bajas densidades de adultos de mosca pinta. Otra falla inicial que denota importancia para que la plaga no se presente, es que **no se haya presentado el año anterior**, ya que como ha sido mencionado, una vez que la mosca pinta se establece en una parcela, ésta se presenta al año siguiente con una probabilidad relativamente alta. El **control químico eficiente** fue la tercera falla inicial que mostró ser importante en este análisis, seguida de **no se observan ninfas o salivazos**.



**Figura 23.** Análisis de sensibilidad de la respuesta final del modelo al cambiar en 10% el valor de probabilidad a cada falla inicial.

### 7.3.3.5. Validación

Con base en los resultados del muestreo de adultos, realizado en los diez lotes seleccionados con baja incidencia de mosca pinta, indican que el modelo representa adecuadamente las interacciones de los componentes del sistema, ya que hubo una diferencia estadística significativa con respecto a lotes con alta incidencia ( $p = 0.0018$ ), lo cual puede observarse en la Figura 16, por lo que, este modelo predice satisfactoriamente.

## VIII. CONCLUSIONES

De manera general, los árboles de fallas representan 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.

Los eventos iniciales que conducen a la ocurrencia del evento *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* son: que = 45% de la precipitación ocurra en los meses de junio y julio; que la temperatura media en el período de junio a julio sea de 28°C; que haya habido infestación de la mosca pinta el año anterior; que se observen al momento de la evaluación ninfas o salivazos; que exista la presencia de una variedad susceptible; que haya presencia de resocas = 3; que el cultivo tenga < 6 meses de desarrollo; que exista presencia de maleza en los bordes o dentro del cultivo; que se presenten fallas en la aplicación de insecticidas; que hayan parcelas adyacentes con caña o pastos infestadas, y que los vientos sean favorables para la dispersión de los adultos. La probabilidad de ocurrencia de este evento fue de 0.563. El análisis de sensibilidad indicó que la temperatura y la precipitación son las fallas iniciales que más influyen en la presencia de la mosca pinta, seguidas de infestación del año anterior, presencia de ninfas y presencia de maleza en los bordes.

Con respecto al árbol de fallas *Altas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio (Evaluado en el Mes de Abril)* las fallas iniciales que lo conforman son: presencia de huevecillos invernantes; humedad = 20%; contenido de arcillas del suelo = 40%; presencia de variedad susceptible; presencia de resocas = 3; cultivo = 80 cm de altura; presencia de maleza en los bordes; presencia de maleza dentro del cultivo; parcela adyacente con caña infestada; parcela adyacente con pasto infestada y que los vientos sean favorables. La probabilidad de ocurrencia de este evento fue de 0.336. Este valor bajo, refleja la incertidumbre en la ocurrencia de eventos futuros que aseguren la presencia de la mosca pinta. El análisis de sensibilidad muestra que la presencia de huevecillos invernantes, el contenido de arcillas del suelo = 40% y la presencia de maleza son las fallas iniciales que más sobresalieron en esta evaluación.

En el caso del árbol de fallas *Bajas Densidades de Adultos de la Mosca Pinta en el Mes de Julio* está integrado por las fallas iniciales: < 45% de la precipitación en mayo-julio; < 21°C en abril-julio; presencia de una variedad tolerante; presencia de resocas < 2; desarrollo del cultivo > 6 meses; presencia de maleza en los bordes; presencia de maleza dentro del cultivo; control químico eficiente; no infestación en año anterior; ausencia de ninfas al momento de la evaluación y no inmigración de adultos. La probabilidad de ocurrencia de este evento fue de 0.686, lo que indica un mayor poder predictivo sobre por qué no ocurren poblaciones dañinas de mosca pinta. El análisis de sensibilidad indicó que la no inmigración de adultos, no infestación en el año anterior, un control químico eficiente y no se observan ninfas al momento de la evaluación son las fallas iniciales que más influyeron en el resultado final del este árbol de fallas.

## IX. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados del análisis de sensibilidad de los modelos propuestos, 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, la presencia de ninfas y la presencia de maleza en los bordes de las parcelas. Es recomendable realizar una exploración general del área para determinar los focos de infestación a través de mapas de superficie de respuesta. De esta manera 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.

Al 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, se podrían 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 alternativo, se deben realizar estudios de efectividad biológica de insecticidas químicos sintéticos con características más adecuadas a la biología de la plaga y sus potenciales enemigos naturales y al sistema de cultivo.

## X. LITERATURA CITADA

- 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>
- Allard, G. B., C. A. Chase, J. B. Heale, J. E. Isaac, y C. Prior, C. 1990. Field evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) as a mycoinsecticide for control of sugarcane froghopper, *Aeneolamia varia saccharina* (Homoptera: Cercopidae). *Journal of Invertebrate Pathology*. 55:41-46
- Alonso, C. J. I., 2001. Diccionario Enciclopédico. Nuevo Espasa Ilustrado. ESPASA. 1800 p.
- Arango, G. L., C. Torres y S. L. Lapointe. 1994. Patogenicidad de tres cepas de *Metarhizium anisopliae* sobre huevos y ninfas de *Aeneolamia varia* (Fabricius) (Homoptera: Cercopidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 20(1):43-46
- Bedford, T., and R. Cooke. 2001. Probabilistic Risk Analysis. Cambridge University Press. United Kingdom. 390 p.
- 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. 111 p.
- Breierova, L. y M. Choudhari. 2001. An Introduction to Sensitivity Analysis. MIT System Dynamics in Education Project. Massachusetts Institute of Technology. 107 p.
- Brooke, P. J. and R. F. Payge. 2003. Fault trees for security systems design and analysis. *Computers and Security* 22(3):256-264.
- Brown, D. and P. Rothery. 1993. Models in Biology: Mathematics, Statistics and Computing. John Wiley & Sons. England. 688 p.
- Buck, S. P. 1997. Applying probabilistic risk assessment to agricultural nonpoint source pollution. M Sc Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, USA. 73 p.

- Cardona, C., J. W. Miles and G. Sotelo. 1999. An improved methodology for massive screening of *Brachiaria* spp. Genotypes for resistance to *Aeneolamia varia* (Homoptera: Cercopidae). *J. Econ. Entomol.* 92(2):490-496.
- Cardona, C., P. Fory, G. Sotelo, A. Pavón, G. Díaz, and 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(2):635-546.
- Cavallaro, J. R. and I. D. Walker. 1997. Failure mode analysis of a proposed manipulator-based hazardous material retrieval system. American Nuclear Society Topical Meeting of Robotics and Remote Systems 2:1096-1102.
- Chagal, A. R. 2000. Muestreo sistemático de *Aeneolamia* spp. en caña de azúcar, en la zona de influencia del ingenio La Gloria, Veracruz. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Úrsulo Galván, Ver. 71 p.
- Clark, W. E., D. G. E. Ibarra, and H. W. van Cleave. 1976. Taxonomy and biology of spittlebugs of the genera *Aeneolamia* Fennah and *Prosapia* Fennah (Cercopidae) in Northeastern México. *Folia Entomológica Mexicana* 34:13-24
- 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/Coaazucar/>
- Colegio de Postgraduados. 2003. Informe Final del Proyecto: Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Agroindustrial Caña de Azúcar para el Estado de Veracruz. Fundación Produce Veracruz A. C. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Ver. 129 p.
- Cortez, M. H. s/f. Control Biológico de Plagas en Caña de Azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Ver. Encuadernado. 19 p.
- Contreras, C. A. 1964. Mosca pinta de los pastos. Distribución, biología y combate. *Fitófilo*. México, D. F. 41:16-24
- Conway, G. R., G. A. Norton and N. J. Small, 1975. A systems approach to the control of the sugar cane froghopper. *In: Study of Agricultural Systems*. Applied Science Publishers Ltd. Ed. Dalton, G. F. London, England. 441 p.
- Coronado P. R. y E. E. Sosa. 1966. Campaña contra la mosca pinta y la escama algodonosa de los pastos. *Fitófilo México*, D. F. 50:5-15

- Coronado, P. R. y D. A. Márquez. 1985. Introducción a la Entomología: Morfología y Taxonomía de Insectos. LIMUSA. México, D. F. 282 p.
- Deaton, M. L. and J. J. Winebrake. 2000. Dynamic Modeling of Environmental Systems. Springer-Verlag, New York, Inc. 194 p.
- De la Cruz, L. J. J. 2004. Tablas de vida de *Aeneolamia postica* (Homoptera: Cercopidae) en caña de azúcar bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 44 p.
- De la Cruz, L. J. J., J. Vera-Graziano, J. López-Collado, V. M. Pinto y R. Garza-García, 2005. Una técnica simple para el desarrollo de ninfas de *Aeneolamia postica* (Homoptera: Cercopidae). Folia Entomológica Mexicana. 44(1): 91-93.
- De Yta, C. E. J. 2000. Evaluación de pérdidas ocasionadas por mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar en la región de Cardel, Ver. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Ver.
- Domínguez, D. E. 2001. La quema de la caña de azúcar y sus implicaciones ambientales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Manlio F. Altamirano, Ver. 93 p.
- Domínguez, T. A., H. V. Volke H., S. C. Landeros, J. A. Villanueva J. y M. E. Nava, T. 2004. Caracterización del agroecosistema cañero con fines de incrementar su productividad en el ingenio La Gloria, Veracruz. In: Avances de Investigación. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Manlio F. Altamirano, Ver. En CD.
- Ellsbury, M. M., S. A., Clay, S. J. Fleischer, L. D. Chandler and S. M. Schneider, 2000. Geographical Information Systems and Global Positioning Systems: Use of GIS/GPS Systems in IPM: Progress and Reality. In: Emerging Technologies for Integrated Pest Management: Concepts, Research, and Implementation. Section 6. George G. Kennedy and Turner B. Sutton, Eds. Raleigh, North Carolina, USA. 526 p.
- Enríquez, Q. J. F., N. F. Meléndez y 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. 262 p.

- Equihua, E. A. 1964. La mosca pinta de los pastos (*Aeneolamia postica* (Wlk) Fen. Universidad Autónoma Chapingo. Tesis de Licenciatura. Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 55 p.
- Evans, D. E. 1972. The spatial distribution and sampling of *Aeneolamia varia saccharina* and *A. postica jugata* (Homoptera: Cercopidae). *Entomología Experimentalis et Applicata*. 15(3):305-318.
- FAO. 2004. Bases de Datos Estadísticos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [cita: 10-dic-04] [http://www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm)
- Fauconnier, R.y D. Bassereau. 1975. La Caña de Azúcar. Blume. Barcelona, España 423 p.
- Faulín J. y A. A. Juan. s/f. Simulación Monte Carlo con Excel. Proyecto e-Math. Secretaría de Estado de Educación y Universidades. España. 14 p. [cita: 10-dic-04]  
<http://www.uoc.edu>
- Fennah, R. G. 1949. New genera and species of Neotropical Cercopidae (Homoptera). *Ann. Mag. Nat. Hist.* 12(1):605-620.
- Fennah, R. G., 1953. Revisionary notes on neotropical Monecphorine Cercopoidea (Homoptera). *Ann. Mag. Nat. Hist.* 12(6):337-360.
- Fewkes, D. W. 1969. The biology of sugar cane froghoppers. *In*: Williams, J. R., J. R. Metcalfe, R. W. Mungomery and R. Mathes (eds). *Pests of Sugar Cane*. Chapters 14 and 15. Society of sugar Cane Technologists. Elsevier. 568 p.
- Firko, M. J., 1995. Importation of avocado fruit (*Persea americana*) from México. Supplemental Pest Risk Assessment. Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS). Department of Agriculture (USDA). Riverdale, MD, USA. 42 p.
- Flores, C. S., M. A. Ramírez y I. A. Cortés. 1965. El salivazo de la caña de azúcar. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Boletín de Divulgación. México. No. 5. 70 p.
- Flores C., S. 1994. Las plagas de la caña de azúcar en México. Ed. Silverio Flores Cáceres. México, D. F. 350 p.
- Flores C., S., 1998. La fitosanidad de la caña de azúcar en México. *In*: Memoria: Seminario sobre Fitosanidad de la Caña de Azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Ver. 47 p.



- Fontes, E. G., C. S. S. Pies, y E. R. Sujii. 1995. Mixed risk-spreading strategies and the population dynamics of a Brazilian pasture pest, *Deois flavopicta* (Homoptera: Cercopidae). *J. Econ. Entomol.* 88(5):1256-1262.
- Forrester, J. W. 1971. *Principles of Systems*. Productivity Press. Cambridge, Massachusetts.
- 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. 469 p.
- García, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Adaptación a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM 4ª. Edición. México. D. F. pp 155-191.
- García G., J. C. 2003. *Dinámica espacio-temporal de la mosca pinta Aeneolamia postica* (Walker) en caña de azúcar. Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Úrsulo Galván, Ver. 38 p.
- Gobierno del estado de Veracruz. 2004. *Sexto Informe de Gobierno*. SEDARPA (Informe Agropecuario, Rural, Forestal, Pesca y Alimentación). Pág. 346. [cita: 10-dic-04]. [http://www.veracruz.gob.mx/sesto\\_informe/pdf/texto/sedarpa.pdf](http://www.veracruz.gob.mx/sesto_informe/pdf/texto/sedarpa.pdf)
- Gómez J., I. A., 1998. *Control integral de mosca pinta Aeneolamia postica* en el ingenio Central Motzorongo. *In: Memoria: Seminario sobre Fitosanidad de la Caña de Azúcar*. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Ver. 47 p.
- Goodenough, J. L. and J. M. McKinion. 1992. *Basics of Insects Modeling*. American Society of Agricultural Engineers. USA. 221 p.
- Hadipriono, P. E. 2001. Forensyc study for cuases of fall using fault tree analysis. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 15(3):96-103
- Hernández R., S. L., M. C. López V., y A. Ortega, L. 1999. *Medición en campo y laboratorio de algunos componentes del balance hídrico y de nitrógeno en la caña de azúcar (Saccharum spp.) en la zona Centro de Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Úrsulo Galván, Ver. 84 p.
- Hernández S., R., C. Fernández C. y P. Baptista, L. 1991. *Metodología de la Investigación*. Segunda Edición. McGraw-Hill. México, D. F. pp. 256-265.
- Herrera, H., R., J. López-Collado, H. Bravo M. y J. A. Domínguez V. 2004. *Efecto de la temperatura y la precipitación en la eclosión de huevecillos de Aeneolamia postica*

- (Walker) (Hemiptera: Cercopidae). *In*: XVII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz, Ver. En CD.
- Holmann F., y D. C. Peck. 2002. Economic damage caused by spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) in Colombia: A first approximation of impact on animal production in *Brachiaria decumbens* pastures. *Neotropical Entomology* 31(2):275-284.
- Hopgood, A. A. 1993. Knowledge-Based Systems for Engineers and Scientists. CRC. Boca Ratón Florida, USA. 387 p.
- Humbert, R. P. 1968. The Growing of Sugar Cane. Elsevier Publishing Company. Los Gatos, California, USA. 773 p.
- IMPA. 1975. Veinticinco Años de Investigación Cañera en México. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Divulgación Técnica. Amatlán de los Reyes, Ver. Libro 8. 295 p.
- IMPA. 1982. Informe Técnico 1982. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Divulgación Técnica. Amatlán de los Reyes, Ver. Libro 22, 314 p.
- 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. 60 p.
- IMPA. 1986. Informe Técnico 1985. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Centro Nacional de Investigaciones Azucareras. Amatlán de los Reyes, Ver. 95 p.
- INEGI. 1988. Síntesis Geográfica , Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 67 p.
- INEGI. s/f. Carta Edafológica. Cobertura Nacional. Escala 1:1000000. Serie I: Colección de Imágenes Cartográficas en Discos Compactos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. 2003. Herbario. Sistema de consulta Versión 2.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [cita: 17-dic-04]. <http://www.inegi.gob.mx> .
- Islas, S. F., 1956. Morfología del ímago de la “mosca pinta” de los pastos *Aeneolamia postica* (Wlk.) (Homop.-Tomaspidae). *An. Inst. Biol. Méx.* 27 (2):463-472.

- King, A. B. S. 1975. Factors affecting the phenology of the first brood of the sugar-cane froghopper *Aeneolamia varia saccharina* (Dist.) (Homoptera, Cercopidae) in Trinidad. Bull. Entomol. Res. 65: 359-372.
- Koller, W. W. y M. R. Honer. 1993. Correlacoes entre fatores climáticos e a dinâmica de producao de ovos diapáusicos de duas especies de cigarrinhas-das-pastagens (Homoptera: Cercopidae). An. Soc. Entomol. Brasil. 22(3):597-611.
- Kruse, R., E. Schwecke y J. Heinsohn, 1991. Artificial Intelligence: Uncertainty and vagueness in knowledge based systems. Springer-Verlag. USA. 491 p.
- Law, A. M. and W. D. Kelton. 1991. Simulation Modeling and Analysis. Second Edition. McGraw-Hill. USA. 749 p.
- Laredo V., A., 1992. Control químico de la maleza en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Úrsulo Galván, Ver., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 70 p.
- Linares F., B. A. y N. G. Pérez. 1985. Gramíneas hospederas de *Aeneolamia* spp. (Homoptera: Cercopidae) en la región centro occidental de Venezuela. Caña de Azúcar. 1:34-42.
- López C., A., 1990. El enfoque de sistemas aplicado a la plaga de la mosca pinta de los pastos (*Aeneolamia* spp. y *Prosapia* spp.; Homoptera: Cercopidae) en Sonora. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 140 p.
- López-Collado, J., H. Bravo M., J. Vera G. y J. A. Villanueva J. 2003. APROBAR: Programa de computo para el análisis probabilístico de riesgos de plagas agrícolas. Entomología Mexicana. 2:448-449.
- López-Collado, J. 2003. BioStat: Statistical Analysis Software for the Biological Sciences. Versión 1.095. No publicado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- López-Collado, J. 2004. Introducción a la Estadística Entomológica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 137 p.
- MacGregor, L. R., 1956. Mosca pinta de los pastos. Fitófilo. México, D. F. 13:22-29.
- Maqueda, G., Y. K. y J. López-Collado. 2004. Tablas de vida de mosca pinta *Aeneolamia postica* (W.) en caña de azúcar *Saccharum officinarum* L. en condiciones de campo. In: XVII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, Veracruz, Ver. En CD.

- Martin, R. M., J. R. Cox, D. G. Alston y F. F. Ibarra. 1995. Spittlebug (Homoptera: Cercopidae) life cycle on buffelgrass in northwestern Mexico. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 88(4):471-478.
- Martin, R. M., J. R. Cox, F. F. Ibarra, D. G. Alston, R. E. Banner y J. C. Malecheck. 1999. Spittlebug and buffelgrass responses to summer fires in Mexico. *J. Range Manag.* 52:621-625.
- Martínez L., V. y G. López L. 1992. Fluctuación poblacional de la mosca pinta (Homoptera: Cercopidae) en la zona cañera del ingenio La Gloria, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Úrsulo Galván, Ver. 79 p.
- Maycotte J., De L., 1972. The influence of certain cultural practices on the population of *Aeneolamia postica* (Wlk.). *Folia Entomológica Mexicana.* 23-24:51-52
- Medina, C. A., S. L. Lapointe y 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. *Revista Colombiana de Entomología.* 19(4):143-150.
- Metcalf C. L. y W. P. Flint. 1962. *Insectos Destructivos e Insectos Útiles.* CECSA. México. 1208 p.
- Morales, J. 1993. Egg diapause and pest management of *Aeneolamia varia* (Homoptera: Cercopidae) in Venezuela. *Environmental Entomology* 22(5):1092-1095.
- Morales, P. O. 1994. Simulación de Monte Carlo en autómatas celulares. Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Campus Acatlán. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. [cita: 10-dic-04].  
<http://delta.cs.cinvestav.mx/~mcintosh/oldweb/s1998/oscar/node14.html#SECTION00080000000000000000>
- Mota B., J. O. 2004. Factores edáficos relacionados con la dinámica poblacional de la mosca pinta (*Aeneolamia postica*) (Walker) (Homoptera: Cercopidae) en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Úrsulo Galván, Ver. 36 p.
- NASA. 2000. Fault Tree Analysis. National Aeronautics and Space Administration. Scientific and Technical Information (STI) Program. Hanover, MD.

- Norton, G. A. and D. E. Evans. 1974. The economics of controlling froghopper *Aeneolamia varia saccharina* (Dist.) (Homoptera: Cercopidae) on sugar-cane in Trinidad. Bull. Ent. Res. 63:619-627.
- Papadopoulos, Y. 2003. Model-based system monitoring and diagnosis of failures using statedcharts and fault tree. Reliability Engineering & System Safety 81(8):352-341.
- Peck, D. C. 1999. Seasonal fluctuations and phenology of *Prosapia* spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) in upland pastures of Costa Rica. Environmental Entomology 28(3):372-386.
- Peck, D. C. 2001. Diversidad y distribución geográfica del salivazo (Homoptera: Cercopidae) asociado con gramíneas en Colombia y Ecuador. Revista Colombiana de Entomología 27(3-4):129-136.
- Peck, D., U. Castro, F. López, A. Morales, J. Rodríguez. 2001. First records of the sugar cane and forage grass pest, *Prosapia simulans* (Homoptera: Cercopidae), from South America. Florida Entomologist 84(3):403-408.
- Perdomo, R. F. 2004. Dinámica de la flora arvense de caña de azúcar en Tlaquiltenango, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, México. 102 p.
- Pires, C. S. S., E. R. Sujji, E. M. G. Fontes, C. A. Tauber, and M. J. Tauber. 2000. Dry-season embryonic dormancy in *Deois flavopicta* (Homoptera: Cercopidae): of temperature and moisture in nature. Environ. Entomol. 29(4):714-720.
- Plant, R. E. and N. D. Stone. 1991. Knowledge-Based Systems in Agriculture. McGraw-Hill, Inc. University of California, Berkeley, USA. 359 p.
- Press, W. H., B. P. Flannery, S. A. Teukolsky and W. T. Vetterling. 1989. Numerical Recipes in Pascal. Cambridge University Press. Cambridge. 781 p.
- Rigas, F., M. Konstandinidou, P. Centrola, and T. Regio. 2003. Safety analysis and risk assessment in a new pesticide production line. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 16(2):103-109.
- Riess, H. C. y C. S. Flores. 1976. Catálogo de plagas y enfermedades de la caña de azúcar en México. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Instituto para el Mejoramiento

- de la Producción de Azúcar. Divulgación técnica. Amatlán de los Reyes, Ver. Libro 11. 177 p.
- Rodríguez, C. B. 2000. Gramíneas. Características y Claves. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 214 p.
- 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 en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Manlio F. Altamirano, Ver. 91 p.
- Rodríguez Ch., J., V. U. Castro, R. A. Morales y D. C. Peck. 2003. Biología del salivazo *Prosapia simulans* (Homoptera: Cercopidae), nueva plaga de gramíneas cultivadas en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 29(2):149-155
- Rodríguez P., M. A. 1997. Experimentación con Cultivos Tropicales Perennes. AGT Editor S. A. 381 p.
- Rosenstein, S. E. 2003. Diccionario de Especialidades Agroquímicas. PLM-Thomson. México, D. F. 1648 p.
- Ruiz M., A. 1965. Ensayo comparativo de tres insecticidas para el control preventivo de *Aeneolamia postica* (Wlk.) en caña de azúcar. Fitófilo. 46:22-33.
- 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.
- SAGAR, 1999. Guía de plaguicidas autorizados de uso agrícola. Dirección General de Sanidad Vegetal. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D. F. 504 p.
- Salazar C., L. 1996. Modelo de simulación para analizar sistemas de cosecha y transporte en caña de azúcar. Colegio de Postgraduados. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. Tesis de Maestría en Ciencias. Montecillo, México. 129 p.

- Salazar, J. y L. Proaño. 1989. Pérdidas ocasionadas por la candelilla de la caña de azúcar (*Aeneolamia varia*) en el área de influencia del Central Río Turbio: estudio comparativo de la zafra 84/85 y 85/86. *Caña de Azúcar* 7(2):49-54.
- Salgado G., S. 1999. Cómo incrementar los rendimientos en caña de azúcar en el estado de Tabasco. Gobierno del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. 21 p.
- Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D. y L. C. Lagunes E. 2003. Caña de Azúcar: Hacia un Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. 394 p.
- Saravia, A. 1985. Un Enfoque de Sistemas para el Desarrollo Agrícola. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José de Costa Rica. 265 p.
- Secretaría de Economía. 2004. Determinación del precio de referencia del azúcar para el pago de la caña de azúcar durante la zafra 2003/2004. Diario Oficial de la Federación. 2 de febrero de 2004. Primera Sección. Artículo Único. p. 2.
- Schlingloff. 2001. Information Security. [cita: 10-dic-04]. <http://www.informatik.uni-bremen.de/~hs/Lehre/L5.pdf>
- Simon, H. A., 1960. The New Science of Management Decision. New York. Harper & Brothers. 8 p.
- Soukhanov, A. H. 1992. The American Heritage. Dictionary of the English Language. Third Edition. Houghton Mifflin Company. Boston, USA. 2140 p.
- Sotelo, G., Lapointe, S. T. y Serrano, M. S., 1993. Bioensayo para el estudio de antibiosis en *Brachiaria* spp. sobre el salivazo de los pastos, *Aeneolamia varia* (Fabricius) (Homoptera: Cercopidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 19(3):97-100.
- Sujii, E. R., A. M. García, E. M. G. Fontes y V. Carvalho. 1995. Efeito da temperatura e umidade sobre o término da diapausa de ovos e densidade populacional da cigarrinha-daspatagens, *Deois flavovicta* (Stål) (Homoptera: Cercopidae). *An Soc. Entomol. Brasil* 24(3):465-478.
- Sujii, E. R., M. A. García and M. G. Fontes E. 2000. Migration and dispersal movement of adult spittlebugs. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(3):471-480.

- Thomadsen, B., S. W. Lin, Laemmrich P., T. Waller, A. Cheng, B. Caldwell, R. Rankin J. Stitt. 2003. Analysis of treatment delivery errors in brachytherapy using formal risk analysis techniques. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 57(5):1492-1508.
- Toledo M., J. A. 1993. Plagas, enfermedades y maleza de la Caña de Azúcar. Serie Protección Vegetal No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 22 p.
- Utrera, V. Y., J. López-Collado, J. M. Valdés-Carrasco, H. Bravo-Mojica y J. Vera-Graziano, 2004. Dispersión de adultos de la mosca pinta *Aeneolamia albofasciata* (Walker) (Homoptera: Cercopidae). *In: XXXIX Congreso Nacional de Entomología*. Entomol. Mex. 3: 463-466.
- Vesely W., E., F. F. Goldberg, N. H. Roberts, and D. F. Haals. 1981. Fault Tree Handbook. Systems of Reliability Research, Office of Nuclear Regulatory Research and US Nuclear Regulatory Commission. Washington, D. C. 146 p.
- Velasco P., H., 1975. Effect of burning pangola grass on the population of spittlebugs and other insects. *Agricultura Técnica en México*. 3(10):357-360.
- Velasco P., M., R. E. Cevallos, D. G. Ibarra, R. F. Romero y J. A. Sifuentes. 1969. La mosca pinta o salivazo: plaga de los pastizales en la costa tropical del Golfo de México. *Fitófilo*. 62:5-11
- Villanueva J., J. A., E. J. De Yta C., R. Alatorre R. y L. D. Ortega A.. 1993. La mosca pinta (*Aeneolamia* sp.) en caña de azúcar en la región de Cardel, Ver.: Avances en su diagnóstico, combate y propuesta de estimación de daño. *In: Simposio Nacional sobre la Capacitación y el Desarrollo Tecnológico en el Campo Cañero Mexicano*. Tomo II. Jalapa, México. pp 408-416.
- Vose, D., 2000. Risk Analysis: A Quantitative Guide. Second Edition. John Wiley & Sons. England. 418 p.
- Zimmermann, H. G., M. Pérez S. C., J. Goluvob, J. Soberon M. y 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](http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/cactoblas.html)



**XI. ANEXOS**

**Anexo 1. Entrevista- Temario de la investigación “Un modelo deductivo de riesgos para el manejo preventivo de la mosca pinta *Aeneolamia postica* Walker (Hemiptera: Cercopidae)”.**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Ingenio, municipio y/o

localidad: \_\_\_\_\_

Tipo de trabajo: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

Tel(s): \_\_\_\_\_

Indique de acuerdo a la escala del recuadro, ¿Cuál es el grado de importancia de los siguientes componentes que son favorables para que la “mosca pinta” se presente en el cultivo de caña de azúcar?

- Altas temperaturas.....( )
- Altas precipitaciones.....( )
- Altas humedades relativas.....( )
- Tipo de suelo.....( ) Por ejemplo: \_\_\_\_\_
- No remoción del suelo (rayar).....( )
- Cultivos adyacentes infestados.....( )
- No control de maleza (pastos).....( )
- Vientos favorables.....( )
- Variedad susceptible.....( )
- Fenología del cultivo susceptible.....( )
  
- Control químico ineficiente o nulo.....( )
- Control biológico ineficiente o nulo.....( )
- Aplicación de los riegos.....( )
- Otros: \_\_\_\_\_ ( )
- \_\_\_\_\_ ( )
- \_\_\_\_\_ ( )

Escala:
4. Muy importante
3. Importante
2. Regular
1. Poco importante

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Anexo 2. Inspección de lotes sembrados con caña de azúcar para predecir el riesgo de ocurrencia de la mosca pinta.

Nombre del propietario o ejidatario: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** a). marcar con una  $\otimes$  el cuadro de cada opción que esté presente en el lote inspeccionado

b). anotar los datos solicitados en las líneas

Preguntas de campo:

Fecha en que se hace la inspección: día: \_\_\_\_\_ mes: \_\_\_\_\_ año: \_\_\_\_\_

¿este lote colinda con otros lotes sembrados con pastos?

¿este lote colinda con otros lotes sembrados con caña?

¿este lote colinda con alguna fuente de agua (río, arroyo, canal o algún escurrimiento)?

¿los lotes colindantes presentan los mismos meses de desarrollo del cultivo?   
(sólo en caso de presentarse caña de azúcar en dichos lotes; e indicar en el croquis de ubicación la edad aproximada de desarrollo en meses de cada uno)

¿alguno de los lotes colindantes presenta síntomas de daño por mosca pinta?

¿el interior del cultivo se encuentra libre de maleza (gramíneas o pastos)?

¿las orillas del lote están libres de maleza (gramíneas o pastos)?

¿el tipo de suelo presente es arcilloso?

Nota: en caso de no observarse este tipo de suelo, anotar el tipo de suelo observado: \_\_\_\_\_

### Preguntas al productor o personal del Ingenio Azucarero:

Variedad: \_\_\_\_\_ Superficie (ha): \_\_\_\_\_

¿cuántos meses de desarrollo tiene el cultivo? (\_\_\_\_)

¿en este lote se ha presentado la mosca pinta en años anteriores?

¿en los lotes colindantes se ha presentado la mosca pinta en años anteriores?

¿se realizó el rayado o remoción del suelo?

¿el cultivo proviene de?                      planta ( )    soca ( )            resoca (no. )

Nota: hacer croquis del lote al reverso con referencia al punto cardinal Norte

### Anexo 3. Parcelas con caña de azúcar verificadas y muestreadas.

**Cuadro 1. Lotes de trabajo con alta incidencia de Mosca Pinta**

Nombre del propietario	Sup. (ha)	Adultos/unidad de muestreo	Ninfas/unidad de muestreo	Variiedad	Resoca	Ejido	Geoposición	msnm	Meses de desarrollo	Mosca pinta en años anteriores	Parcelas conlindantes infestadas	Remoción del suelo	Ingenio azucarero
Fausto Robles Calderón	1.5	3	1	MEX-69-290	3	Cempoala	N 19° 27' 17.2" W 96° 22' 39.1"	18	5.5	Si	No	Si	La Gloria
Mario Montes Reyes	1.5	2	0	CP-72-2086	3	Paso del Bobo	N 19° 26' 08.7" W 96° 22' 56.9"	23	4.5	Si	Si	Si	La Gloria
Alberto Domínguez S.	1.75	0	1	RD-75-10	6	Paso del Bobo	N 19° 26' 3.6" W 96° 22' 48.5"	25.5	4.5	Si	Si	Si	La Gloria
Mª Elena Herrera M.	1.5	5	0	MEX-69-290	1	Col. Fco. I. Madero	N 19° 23' 34.6" W 96° 23' 20"	33	5	Si	Si	Si	La Gloria
Andrés Cruz Alarcon	2.5	2	1	MEX-69-290	3	Col. Fco. I. Madero	N 19° 23' 48.1" W 96° 23' 9"	32	5	Si	Si	Si	La Gloria
Mario Salas León	2.5	4	2	CP-72-2086	1	Chalahuite	N 19° 27' 47.7" W 96° 22' 32.1"	4	6	Si	No	Si	La Gloria
Parcela Escolar El Arenal	4	3	2	CP-72-2086	2	El Arenal	N 19° 25' 46.3" W 96° 22' 28.6"	16	5.5	Si	No	Si	La Gloria
Ramiro García	1.5	2	0	MEX-69-290	2	Ej. P. Carretas	N 19° 18' 29.2" W 96° 23' 59.5"	25	5.5	Si	Si	Si	El Modelo
Antonio Morales M.	2	0	0	MEX-69-290	1	P. P. El Faisán	N 19° 19' 09" W 96° 24' 04.3"	6.3	5.5	Si	Si	Si	El Modelo
Gerónimo Ramírez D.	2.75	3	3	MEX-69-290	2	El Faisán	N 19° 18' 23.7" W 96° 23' 36.7"	27	6	Si	Si	Si	El Modelo

**Cuadro 2. Lotes de trabajo con incidencia mínima de Mosca Pinta**

Nombre del propietario	Sup. (ha)	Adultos/unidad de muestreo	Ninfas/unidad de muestreo	Variiedad	Resoca	Ejido	Geoposición	msnm	Meses de desarrollo	Mosca pinta en años anteriores	Parcelas conlindantes infestadas	Remoción del suelo	Ingenio azucarero
Belem Pastrana R.	2	0	1	RD-75-11	7	P. P. La Gloria	N 19° 25' 13" W 96° 23' 36.5"	10	5	No	No	Si	La Gloria
Bertha Utrera García	1.5	1	0	CP-72-2086	3	El Limón	N 19° 25' 10.8" W 96° 23' 12.5"	25	5	No	No	Si	La Gloria
Eva Marquez C.	2	0	0	CP-72-2086	2	La Gloria	N 19° 25' 13" W 96° 23' 56.2"	12	5	No	Si	Si	La Gloria
Gloria Toral Marín	1	0	0	CP-74-2005	3	Col. Fco. I. Madero	N 19° 24' 45.7" W 96° 23' 0.1"	2	4.5	No	No	Si	La Gloria
Porfirio Velazquez C.	1.75	0	0	MEX-69-290	8	La Gloria	N 19° 25' 05.7" W 96° 23' 49.9"	10	4.5	No	Si	Si	La Gloria
Julia Campos A.	2.5	1	0	MEX-69-290	Planta	Vargas	N 19° 13' 03.1" W 96° 18' 19.4"	22	6	No	Si	Si	El Modelo
Martín Gallardo V.	1.5	0	0	MEX-69-290	4	P. P. Paso de Ovejas	N 19° 17' 56.4" W 96° 25' 19.9"	36	5	No	No	Si	El Modelo
Erasmus Hernández M.	4	2	0	MEX-69-290	3	J. Ingenieros	N 19° 18' 37.2" W 96° 19' 04.8"	7	6	No	Si	Si	El Modelo
Lorenza Méndez F.	2.5	0	0	Q-96	5	J. Ingenieros	N 19° 20' 18" W 96° 20' 19.3"	1	5	No	No	Si	El Modelo
Irma Pérez Morales	1	0	0	MEX-69-290	8	Víbora	N 19° 18' 31.6" W 96° 21' 57.7"	7	4.5	Si	Si	Si	El Modelo