

SUSCEPTIBILIDAD DE *Sitophilus zeamais*  
MOTOSCHULSKY (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)  
DESARROLLADOS EN DOS SUSTRATOS  
ALIMENTICIOS A INSECTICIDAS DE DIFERENTE  
GRUPO TOXICOLOGICO EN COMBINACION  
CON UN SINERGISTA

**HILDA LETICIA SILVA MARTINEZ**

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



**T E S I S**

**B I B L I O T E C A**

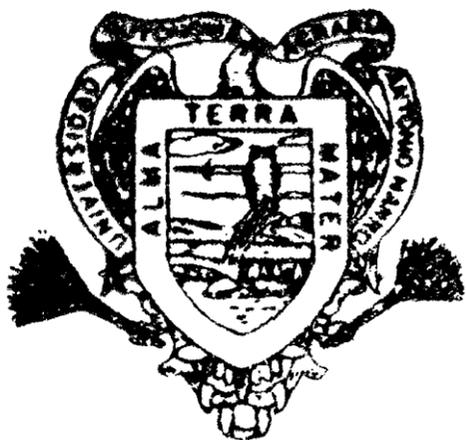
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGIA AGRICOLA

**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coah.**

**NOVIEMBRE DE 1995**

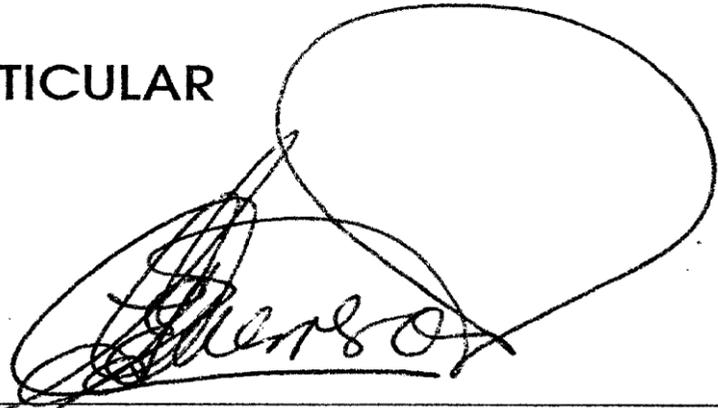


Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría  
como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGIA AGRICOLA**

**COMITE PARTICULAR**

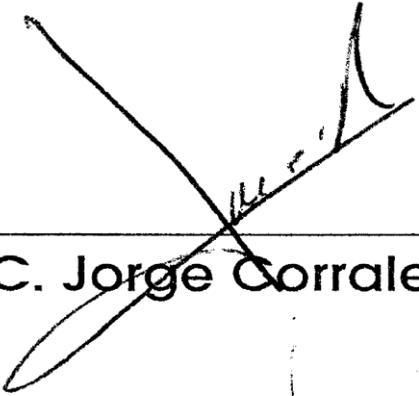
Asesor principal:



---

Dr. Eugenio Guerrero Rodríguez

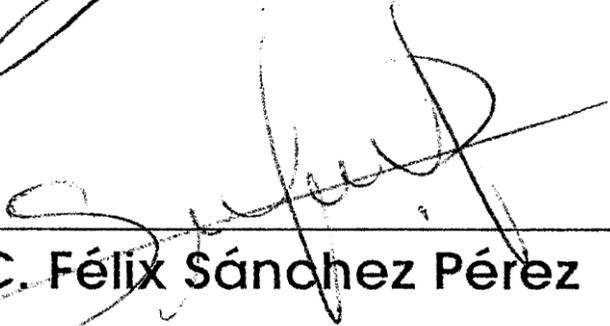
Asesor:



---

M.C. Jorge Corrales Reynaga

Asesor:



---

M. C. Félix Sánchez Pérez



---

Dr. Jesús Fuentes Rodríguez  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre de 1995

# AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural que me brindó la oportunidad de alcanzar una meta más.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", en especial al Departamento de Parasitología Agrícola por haber hecho realidad mi deseo de superación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haberme brindado los medios para llevar a buen fin mis estudios de Postgrado.

Al Dr. Eugenio Guerrero Rodríguez por su amistad, por su magnífica asesoría, sus consejos y acertada orientación así como su valioso apoyo profesional que permitieron la culminación de este trabajo de investigación.

Al Ing. MC. Jorge Corrales Reynaga, por su decidido apoyo, orientación y amistad.

Al Ing. Félix de Jesús Pérez, por su apoyo y disponibilidad de atención.

Especialmente al Ing. MC. Andrés Macías Medrano por su constante apoyo, comprensión y cariño.

A mis compañeros de la generación XV de la Maestría en Parasitología Agrícola por su apoyo y amistad.

# DEDICATORIA

A mis padres:

**Pablo Silva Zamarrón y María del Rosario Martínez de Silva.**

*por su apoyo, confianza, amor y sacrificios que han sido el impulso de esta superación, con todo mi amor y respeto.*

A mis amigas y compañeras de siempre,

**Generación III: Ing. Ma. Elena Valero Ortíz e Ing. Norma**

**Leticia Muñoz de Treviño.**

A mis compadres:

**Ing. Alfredo Díaz Aguirre e Ing. Ma. Luisa Vicuña de Díaz** que

*tanto me han apoyado. Gracias.*

A las familias **Valero Ortiz y Magallanes Valero** por su gran apoyo.

***"No alardees de lo que no entiendas, pero aprende siempre y en toda circunstancia, y la satisfacción será su resultado."***

**Pitágoras**

# COMPENDIO

## SUSCEPTIBILIDAD DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY (COLEÓPTERA: CURCULIONIDAE) DESARROLLADOS EN DOS SUSTRATOS ALIMENTICIOS A INSECTICIDAS DE DIFERENTE GRUPO TOXICOLÓGICO EN COMBINACIÓN CON UN SINERGISTA

POR

HILDA LETICIA SILVA MARTINEZ

MAESTRIA EN

PARASITOLOGIA AGRICOLA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. NOVIEMBRE, 1995

Dr. Eugenio Guerrero Rodríguez - Asesor-

Palabras clave: Susceptibilidad, *Sitophilus zeamais*, picudo del maíz, sinergista.

El presente trabajo de investigación se realizó en el Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de 1993 a 1995, teniendo como objetivo evaluar la susceptibilidad

de *Sitophilus zeamais* a insecticidas de diferente grupo toxicológico, solos y en combinación con un sinergista cuando se han desarrollado en dos sustratos alimenticios (maíz y sorgo).

Se determinaron las líneas de respuesta dosis-mortalidad para obtener los DL50 en  $\mu\text{g/g}$  y así obtener el coeficiente de cotoxicidad.

Analizando los resultados, se encontró que *S. zeamais* fue más susceptible a pirimifos metílico ya que para los insectos desarrollados en los dos sustratos requirió de la menor cantidad, que fue de  $7.5 \mu\text{g/g}$  para maíz y  $5.5$  para sorgo, seguido por malation con  $14.5 \mu\text{g/g}$  para maíz y  $12.3$  para sorgo y fue más tolerante para el carbarilo con  $194$  y  $214 \mu\text{g/g}$  para adultos que se alimentaron de sorgo y maíz respectivamente.

Lo anterior permite observar que en la acción de las oxidasas microsómicas es notorio la mayor actividad de estas enzimas cuando el insecto se desarrolló en el sustrato maíz para el caso de insecticidas fosforados, siendo lo contrario en los otros grupos de tóxicos.

En cuanto a los resultados obtenidos al utilizar la mezcla de insecticida con el sinergista butóxido de piperonilo en términos generales para todos los insecticidas se requirieron dosis menores de

tóxico para obtener el mismo nivel de mortalidad, siendo en el caso de las mezclas la compuesta por la permetrina y el sinergista la que requirió de menor cantidad para matar el 50 por ciento de la población, presentando el más alto coeficiente de cotoxicidad de 24.65x para maíz y 35.46x para sorgo, seguido de carbarilo y sinergista con 4.36x para sorgo y 3.85 para maíz, pirimifos metílico más butóxido de piperonilo para maíz fue de 3.60x y para sorgo de 2.65x, para malation fue de 2.37x para maíz y 2.15x para sorgo y para lindano 2.78x para maíz y para sorgo 1.64x.

## ABSTRACT

SUSCEPTIBILITY OF *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY (COLEÓPTERA: CURCULIONIDAE) GROWN AT TWO SUBSTRATES TO INSECTICIDES OF DIFFERENT TOXICOLOGIC GROUP AT COMBINATION WITH A SYNERGIST

BY

HILDA LETICIA SILVA MARTINEZ

MASTER OF SCIENCE

PLANT PROTECTION

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. NOVEMBER, 1995

Dr. Eugenio Guerrero Rodriguez -Advisor-

**Key words:** Susceptibility, *Sitophilus zeamais*, maize weevil, synergist.

This research was conducted during 1993-1995 at Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, in order to evaluate susceptibility of *Sitophilus zeamais* fed with two diets (maize and sorghum) to insecticides of different toxicologic group alone and combined with a synergist pyperonil butoxide, LD50 ( $\mu\text{g/g}$ ) and cotoxicity level were calculated from dosage-response curves. *S. zeamais* was susceptible to pirimiphos methyl

even at the lowest dosage (7.5  $\mu\text{g/g}$ ) for those with a maize diet and (5.5  $\mu\text{g/g}$ ) for those with sorghum, for malathion *S. zeamais* showed LD50 14.5  $\mu\text{g/g}$  and 12.3  $\mu\text{g/g}$  for insects fed with maize and sorghum respectively. For carbaryl *S. zeamais* showed more tolerant with 194 and 214  $\mu\text{g/g}$  for adults fed with sorghum and maize respectively. With above mentioned we can observe mixed-function oxidases was bigger when the insect was fed with maize in the case of fosforated insecticides, on the other hand it was not the same situation for the others insecticides.

The insecticide plus a synergist pyperonil butoxide generally had a lower LD50 than the insecticide alone, in all cases were required lesser doses. Permethrine and synergist showed highest cotoxicity level 24.65x for maize and 35.46 for sorghum, less efficient results were obtained with lindane and synergist with a cotoxicity coefficient of 1.64x for maize and 2.78x for sorghum.

# INDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	xiv
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xvi
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	4
Importancia de las Plagas de Granos y Productos Almacenados.....	4
Origen y Evolución de los Insectos de Almacén.....	4
Origen de las Infestaciones de Granos.....	5
Clasificación y Distribución de las Plagas.....	5
Picudo del Maíz <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky.....	6
Origen y Distribución.....	6
Ubicación Taxonómica.....	7
Descripción Morfológica.....	7
Biología y Hábitos.....	8
Importancia Económica.....	10
Métodos de Control.....	11
Control Autocida.....	11
Control Biológico.....	11
Control Químico.....	12
En el Mundo.....	12
En México.....	13
Manejo Inadecuado de los Insecticidas.....	14
Definición de Resistencia.....	15
Clases de Resistencia.....	15
Naturaleza de la Resistencia.....	16
Mecanismos de Resistencia.....	17
Mecanismos Metabólicos.....	18
Función Oxidativa Mixta.....	18
Esterasas.....	18
DDTasa.....	19
Glutation S-Transferasa.....	19
Mecanismos No Metabólicos.....	19

Penetración Reducida.....	20
Insensibilidad en el Sitio de Acción.....	20
Colinesterasa insensible.....	20
Mayor Excreción.....	20
Mayor Almacenamiento.....	21
Resistencia del género <i>Sitophilus</i> en el Mundo.....	21
Inducción de Enzimas Detoxificativas en Insectos.....	24
Sistemas Enzimáticos Detoxificativos en Insectos.....	25
Sinergismo.....	27
Definición de Sinergismo y Sinergista.....	27
Importancia de los Sinergistas.....	27
Acción de los Sinergistas.....	28
Sinergistas Utilizados.....	28
Butóxido de Piperonilo.....	29
Insecticidas Evaluados.....	32
Malation.....	32
Pirimifos metílico.....	32
Lindano.....	33
Permetrina.....	33
Carbarilo.....	33
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>34</b>
Ubicación del Experimento.....	34
Procedimiento de Cría.....	34
Productos Utilizados.....	35
Bioensayos.....	35
Análisis Estadístico de la Información.....	38
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>39</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>61</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>64</b>
<b>APENDICE.....</b>	<b>76</b>

# INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Pag.
3.1. Nombre común, estructura química y grupo toxicológico de los productos utilizados en el presente estudio.....	36
4.1. Valores de DL50, DL95 y límites fiduciales de diferentes insecticidas en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo in vitro sin butóxido de piperonilo.....	40
4.2. Valores de DL50, DL95 y límites fiduciales de diferentes insecticidas en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo in vitro con butóxido de piperonilo.....	42
4.3. Coeficientes de correlación y chi cuadrada de las líneas de regresión dosis-mortalidad estimadas de diferentes insecticidas de adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo sin sinergista.....	45
4.4. Coeficientes de correlación y chi cuadrada de las líneas de regresión dosis-mortalidad estimadas de diferentes insecticidas de adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo con sinergista.....	46
4.5. Coeficiente de Cotoxicidad para adultos de <i>S. zeamais</i> expuestos a insecticidas solos y con un sinergista, desarrollados en maíz y sorgo en laboratorio.....	48
A.1. Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a malation.....	73
A.2. Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a malation.....	73
A.3. Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a malation más butóxido de piperonilo.....	73
A.4. Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a malation más butóxido de piperonilo.....	74
A.5. Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a pirimifos metílico.....	74

A.6.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a pirimifos metílico.....	74
A.7.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a pirimifos metílico más butóxido de piperonilo...	75
A.8.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a pirimifos metílico más butóxido de piperonilo..	75
A.9.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a permetrina.....	75
A.10.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a permetrina.....	76
A.11.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a permetrina más butóxido de piperonilo.....	76
A.12.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a permetrina más butóxido de piperonilo.....	76
A.13.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a carbarilo.....	77
A.14.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a carbarilo.....	77
A.15.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a carbarilo más butóxido de piperonilo.....	77
A.16.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a carbarilo más butóxido de piperonilo.....	78
A.17.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a lindano.....	78
A.18.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a lindano.....	78
A.19.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz expuestos a lindano más butóxido de piperonilo.....	79
A.20.	Datos obtenidos en laboratorio para <i>S. zeamais</i> desarrollados en sorgo expuestos a lindano más butóxido de piperonilo.....	79
A.21.	Ecuaciones de predicción de las diferentes líneas de regresión dosis-mortalidad de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo en laboratorio.....	80

# INDICE DE FIGURAS

Fig. No.		Pag.
4.1.	Valores de DL50 y límites fiduciales obtenidos en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo sin y con sinergista.....	43
4.2.	Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para malation y malation más butóxido de piperonilo en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo.....	51
4.3.	Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para pirimifos metílico y pirimifos metílico más butóxido de piperonilo en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo.....	52
4.4.	Líneas de respuesta dosis mortalidad determinadas en laboratorio para permetrina y permetrina más butóxido de piperonilo en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo.....	54
4.5.	Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para carbarilo y carbarilo más butóxido de piperonilo en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo.....	55
4.6.	Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para lindano y lindano más butóxido de piperonilo en adultos de <i>S. zeamais</i> desarrollados en maíz y sorgo.....	57
4.7.	Líneas de respuesta dosis-mortalidad en adultos <i>S. zeamais</i> <del>Matsen</del> a diferentes insecticidas solos y en mezcla con butóxido de piperonilo desarrollados en maíz y sorgo.....	58

# INTRODUCCION

Actualmente la producción de los cultivos se ve limitada por diferentes factores, siendo los principales de tipo fitosanitario como son los insectos, los que causan daños considerables. Estos problemas se presentan desde el campo y continúan durante el almacenamiento de los productos, donde se han reportado a nivel mundial 227 especies infestando productos almacenados, causando en el caso de los cereales en promedio un 10 por ciento de pérdidas, en nuestro país se han reportado 66 especies causando entre el 15 y 25 por ciento dependiendo de la región. Debido a que los granos y sus derivados son fuente importante de nutrientes para el hombre y otros organismos, es importante contar con medidas de control que nos permitan su conservación.

Debido a que el uso de plaguicidas es en la actualidad el método de control más común para contrarrestar las plagas de productos almacenados, ha ocasionado desarrollo de resistencia de algunas de estas plagas a los tóxicos utilizados para su combate, tanto a nivel mundial como nacional, y existen reportes de casos de resistencia de algunas plagas de almacén a insecticidas de contacto como malation y lindano y a fumigantes como fosfuro de aluminio y bromuro de metilo, lo que ha causado preocupación en los almacenadores de granos.

Con respecto al problema de resistencia se han realizado diferentes tipos de estudios para encontrar las medidas adecuadas de control, encontrando que la respuesta de una población a un insecticida está influenciada por el sustrato alimenticio que ingieren durante su desarrollo, en base a esto se han obtenido resultados con plagas de almacén que confirman valores de resistencia superiores a determinado grupo de insecticidas cuando han sido desarrollados sobre cierto sustrato en comparación con insectos de la misma población desarrollados en otro, este tipo de resultados se ha reportado tanto en coleópteros como en lepidópteros.

Otra alternativa que se ha utilizado para un mejor manejo de la resistencia es el uso de sinergistas, como indicadores de resistencia, entre los de uso más común tenemos al butóxido de piperonilo que es un inhibidor de oxidasas microsómicas, que nos permite estimar niveles de resistencia en diversos grupos de insecticidas cuando son degradados por sistemas oxidativos, permitiendo esto establecer estrategias de manejo de las plagas y evitar el aumento de la resistencia por este mecanismo detoxificativo.

Por lo anteriormente expuesto, es importante realizar estudios que provean información al respecto y poder decidir los productos y dosis adecuadas de acuerdo al sustrato en el que se desarrollen estos insectos para obtener un mejor control de la plaga. Por lo tanto los objetivos de esta investigación son los siguientes:

Evaluar los niveles de susceptibilidad que *Sitophilus zeamais*

Motschulsky presenta a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos cuyas poblaciones se han desarrollado en dos sustratos alimenticios.

Estimar el papel de las oxidasas microsómicas en la respuesta a los insecticidas solos y en combinación con un sinergista y el efecto según el sustrato alimenticio.

# REVISION DE LITERATURA

## Importancia de las Plagas de Granos y Productos Almacenados

En la actualidad a nivel mundial los insectos que infestan productos almacenados se encuentran agrupados en 227 especies, de las cuales 66 se ha registrado su presencia en México, causando pérdidas entre el 15 y 25 por ciento dependiendo de la región. (Nájera, 1991). La distribución de estas plagas se ha debido al creciente intercambio comercial de granos y semillas y sus subproductos. (Ramírez, 1966). Al respecto Storey *et al.* (1982) citan que las plagas se han trasladado de un lugar a otro convirtiéndose algunas especies en cosmopolitas.

### Origen y Evolución de los Insectos de Almacén

Se cree que los insectos de almacén hacen su aparición en la era neolítica, cuando el hombre comienza a criar animales domésticos, cultivar plantas y a almacenar regularmente cereales en el octavo milenio a.C. Se asume que las especies conocidas hoy como plagas de almacén fueron desarrolladas primeramente en hábitats naturales y después se trasladaron o fueron trasladadas a los lugares de almacenaje, ya que éstos les proporcionaban condiciones adecuadas para su desarrollo. (Solomon, 1965). Algunas especies de insectos actualmente asociadas con los productos almacenados han sido

encontrados en tumbas del antiguo Egipto; insectos como *Tribolium* spp. y *Sitophilus granarius* fueron encontrados en tumbas faraónicas de la sexta dinastía que datan de alrededor de 2500 a 2300 a.C. respectivamente. (Chaddick y Leek, 1972).

### Origen de las Infestaciones de Granos

Existen diferentes formas de ser infestados los granos por insectos; la mayoría de las veces la infestación ocurre en el campo, al ser atacado el grano antes de la cosecha (Ramírez, 1966). En otras ocasiones los insectos son capaces de volar ciertas distancias desde el campo hasta el almacenaje de grano y viceversa (Williams y Floyd, 1970).

Otra causa de infestación por insectos es cuando permanecen granos o desperdicios infestados de un año a otro en los mismos almacenes, lo que ocasiona que al momento de almacenar el grano nuevo en esos lugares se presente fácilmente una infestación. (Pérez, 1988).

### Clasificación y Distribución de las Plagas

Los insectos que se alimentan de granos por lo general son clasificados en tres categorías (Ramírez, 1990) que son:

**Plagas primarias**, insectos que tienen la capacidad de romper la cubierta externa de los granos y penetrarlos o también pueden

ovipositar sobre el grano y al emerger la larva ésta perfora el grano y se alimenta de él.

**Plagas secundarias**, son insectos que se desarrollan después de existir el 'daño en el grano por plagas primarias, normalmente se alimentan de harina y granos rotos y/o perforados por plagas primarias.

**Plagas terciarias**, Se desarrollan después de que los insectos primarios y secundarios han efectuado su daño, se alimentan de impurezas, granos quebrados, residuos dejados por los otros insectos y algunos se alimentan de los hongos desarrollados en el grano que se ha deteriorado.

### **Picudo del Maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky**

#### **Origen y Distribución**

Existió confusión en cuanto al origen de este insecto, pero se cree es originario de la India, lugar del cual fue distribuido a todo el mundo en embarques de grano, convirtiéndose en un insecto cosmopolita (Metcalf y Flint, 1982). Se ha registrado su presencia en Asia Oriental, Península Arábiga, en las zonas productoras de maíz de Africa, Argentina, América Central, en los estados del sur de Estados Unidos. En Australia fue reportado por Champ y Cribb (1965), en Japón fue reportado por Kiritani (1965) en Texas, Estados Unidos, por Morrison (1964) y en Yugoslavia por Maceljski y Korunic (1973).

García (1992) reporta que en términos generales *S. zeamais*, *Sitotroga cerealella* y *Tribolium castaneum* son actualmente las tres plagas más importantes de los granos y productos almacenados en México.

### Ubicación Taxonómica

Borror *et al.* (1989) ubican a *S. zeamais* en la siguiente clasificación:

Reino.....Animal  
 Phylum.....Arthropoda  
 Clase.....Insecta  
 Subclase.....Pterygota  
 Orden.....Coleoptera  
 Suborden.....Polyphaga  
 Superfamilia.....Curculionoidea  
 Familia.....Curculionidae  
 Subfamilia.....Rhynchophorinae  
 Género.....*Sitophilus*  
 Especie.....*zeamais*

### Descripción Morfológica

Existen tres especies de *Sitophilus* reportados: *S. granarius*, *S. oryzae* y *S. zeamais*; las especies *oryzae* y *zeamais* fueron confundidas por años ya que existía la duda de que fueran dos especies diferentes, al respecto Floyd y Newson (1959) establecieron que si existían las dos especies y se basaron para ello en las diferencias de las genitalias. *S.*

*zeamais* fue descrita por Motschulsky en 1855; y fue Boudreaux quien marcó las diferencias externas para separar las dos especies.

El picudo del maíz es de metamorfosis completa, el huevecillo es de forma de pera u ovoide de un color blanco opaco, ensanchado de la parte media hacia abajo y con fondo redondeado, mide aproximadamente 0.7 mm de largo y 0.3 mm de ancho. La larva es blanca aperlada de cuerpo grueso con cabeza pequeña café claro no presenta patas y pasa por cuatro estadios, rara vez se observa ya que se desarrolla en el interior del grano infestado donde se alimenta y pasa a fase de pupa; la cual es de un color blanco pálido al inicio y se torna después a café claro, mide de 2.75 a 3 mm, presenta proboscis larga dirigida hacia la parte anterior y las patas dobladas hacia el cuerpo. El adulto mide de 2.5 a 4.5 mm de longitud, es de color café oscuro, cuerpo cilíndrico y alargado, cabeza prolongada en un pico o proboscis curva y delgada, antenas acodadas y de 8 segmentos, alas funcionales, el protórax densamente marcado con punturas redondas estas punturas parecen estar uniformemente distribuidas, las punturas del pronoto son mas de 20 a lo largo de la línea media de cuello al escutelum (Boudreaux, 1969; Pérez, 1988; Ramírez, 1990; García, 1992).

### **Biología y Hábitos**

La hembra perfora el grano con su aparato bucal y oviposita individualmente los huevecillos dentro del grano y posteriormente lo cubre con una sustancia gelatinosa, una hembra oviposita de 210 a 530 huevecillos durante todo su período de vida, dependiendo de la temperatura los huevecillos eclosionan entre los 3 y 7 días, emergen las

completar su desarrollo la larva utiliza mezcla de desechos y secreciones para construir la celda pupal, generalmente el estado pupal tarda de tres a seis días dependiendo del medio ambiente, al emerger el adulto permanece dentro del grano varios días antes de dejarlo (Pérez, 1988; García, 1992).

Sedlacek *et al.* en 1991 reportaron bajo condiciones de laboratorio que la temperatura es uno de los factores que más afecta a este insecto, mencionando también que el rango de temperatura para el desarrollo de este insecto es entre 15 y 30 °C.

Pérez (1988) menciona que con una temperatura de 25 °C y 70 por ciento de humedad relativa el ciclo dura 40.3 días, a su vez Urrelo y Wright (1989) citan que a 27 °C y 70 por ciento de humedad relativa el ciclo dura 36.2 días.

Kiritani (1965) por otro lado señala que el ciclo de vida de este insecto varía también de acuerdo al tipo de grano sobre el que se desarrolla; así, en sorgo y arroz el período de desarrollo es más corto que en trigo y maíz.

Este insecto se alimenta de diferentes cereales, arroz, trigo, sorgo y maíz principalmente, granos que ataca tanto en campo como en almacén (Urrelo y Wright, 1989; Walgenbach y Burkholder, 1987). No obstante se ha reportado gran versatilidad en sus hábitos alimenticios al haberse detectado en 16 tipos de granos almacenados (Morrison, 1964). El daño es causado tanto por la larva como por el adulto y en maíz

reduce a polvo y cáscara el grano (Urrelo y Wright, 1989; Grenier *et al.*, 1994).

### **Importancia Económica**

La importancia de las pérdidas de productos almacenados es variable, en cuanto a cereales a nivel mundial se ha reportado un 10 por ciento en promedio, pero en nuestro país en pérdidas de granos se han reportado entre un 15 y 25 por ciento. (Nájera, 1991).

*S. zeamais* está considerado como el insecto plaga más dañino de maíz almacenado en Estados Unidos y países tropicales (Sedlacek *et al.*, 1991; Storey *et al.*, 1982).

Pérez (1988) señala que con un promedio de dos insectos por grano se ocasiona un 18.3 por ciento de pérdida en 48 días. Al respecto Coombs (1972) menciona que el número de picudos que se puede desarrollar dentro del grano dependerá del tamaño del grano. normalmente en trigo sólo emerge un adulto por grano y en maíz pueden emerger más.

En nuestro país García (1992) reporta la presencia de *S. zeamais* en los estados de Aguascalientes, Campeche, Coahuila, Edo. de México, Guerrero, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán.

Medrano (1989) hace referencia al grave problema que representa este insecto en el estado de Veracruz, causando pérdidas bastante considerables.

## **Métodos de Control**

Se han desarrollado varios métodos para combatir las plagas de almacén, siendo unos de ellos más factibles que otros:

### **Control Autocida**

Brown *et al.* (1972) realizaron estudios con radiación gamma sobre pupas de *S. zeamais* con una dosis de 5 a 10 krad, esterilizando completamente a los adultos que emergieron de ellas.

### **Control Biológico**

Dentro de los parasitoides que atacan al género *Sitophilus* se encuentran algunas especies pertenecientes a la familia Pteromalidae (Orden Hymenóptera) como son: *Anisopteromalus calandrae* Howard, *Chaetospila elegans* Westwood y *Lariphagus distinguendus* Foerster. Desafortunadamente no son agentes de control efectivo ya que su ciclo de vida es más corto que el de sus hospedantes, aunado a esto tienen baja capacidad reproductiva (Pérez, 1988).

En México Ramírez *et al.* (1993) reportan tres depredadores en plagas de granos almacenados: *Cephalonomia torsalis*, *Teretriosoma nigrescens*, y *Xylocoris flavipes*.

## Control Físico

García (1992) menciona métodos físicos tradicionales como asoleo periódico del grano, humo y mezcla del grano con diversos materiales como ceniza, arena, tierra de diatomea, aceites.

## Control Químico

Para la protección de granos del ataque de insectos por muchos años se ha dependido de tratamientos químicos para erradicar o repeler las plagas. En la actualidad el uso de productos químicos para controlar plagas de granos almacenados ha progresado desde el uso de productos inorgánicos de principio de siglo a la aparición y uso de un gran número de compuestos orgánicos altamente efectivos (Bond, 1973). Así después de la segunda guerra mundial se utilizó el DDT limitadamente para combatir plagas de almacén, después el lindano sustituyó al DDT pues poseía muchas de las características deseadas en esa época (Champ y Dyte, 1976).

En 1958 en los E.U.A. por primera vez es utilizado el malation para controlar plagas de productos almacenados iniciándose así una era de combate efectivo contra estas plagas y aún en nuestros días el malation es uno de los productos más utilizados (Dyte y Blackman, 1972; Haliscak y Beeman, 1983).

En el mundo.- VanderMersch reporta en 1985 los siguientes productos autorizados para utilizarse en la protección de granos y productos almacenados en México y otros países.

## **Insecticidas Organofosforados**

A nivel mundial el malation es el producto más utilizado para proteger los granos almacenados, otro producto de este grupo es el pirimifos metílico más persistente que el malation y tóxico para especies resistentes a este insecticida. Dentro de este mismo grupo se encuentra el diclorvos (DDVP) utilizado para controlar plagas de granos almacenados pertenecientes al orden Lepidoptera (palomillas). A este mismo grupo pertenece el fenitrotion utilizado para tratamiento de estructuras y pisos, también presenta toxicidad para especies resistentes a malation.

## **Piretroides Sintéticos**

Permetrina y deltametrina controlan una amplia gama de insectos incluyendo especies resistentes a insecticidas organofosforados, son de empleo comercial limitado.

## **Fumigantes**

Stadler *et al.* (1990) mencionan dentro del grupo de fumigantes utilizados para el control de plagas de almacén a la fosfina y al bromuro de metilo, productos de uso común en varios países.

En México Pérez (1988) reseña los siguientes productos como los más utilizados para el control de plagas de granos almacenados antes de 1960. DDT a razón de 50 a 75 ppm, dieldrin de 25 a 40 ppm y lindano 5 ppm en maíz y trigo. A partir de 1960 se comienza a utilizar el malation

y después el pirimifos metílico en diferentes dosis para proteger granos y semillas en almacén.

Otro grupo importante de protectores de granos y semillas en los almacenes de nuestro país lo constituyen los fumigantes siendo los más comunes el bromuro de metilo y el fosfuro de aluminio.

### **Manejo Inadecuado de los Insecticidas**

Debido a la práctica tan popular de utilizar el método químico para el control de plagas de granos almacenados y de utilizar cuanta innovación química sale al mercado, ha contribuido a desarrollar resistencia por parte de ciertas poblaciones de especies plaga, aunque la resistencia en este caso no se ha desarrollado tan rápidamente como en las plagas agrícolas y los insectos que atentan contra la salud humana (Bond, 1973).

Así pues, el desarrollo de la resistencia y el desarrollo industrial de productos químicos evoluciona a la par incrementando año con año el número de especies resistentes, lo que hace que la producción de plaguicidas sea cada vez más compleja y costosa (Stadler *et al.*, 1990).

Parkin en 1965 reportó ocho especies de plagas de almacén con resistencia a nueve insecticidas incluyendo los productos más comunes como malation, lindano, piretrinas y bromuro de metilo. Además Pérez en 1988 señala presencia de resistencia a malation y lindano en muchos insectos plaga de productos almacenados en diversos países; entre las plagas señaladas se citan: *T. castaneum*, *T. confusum*, *Rhizopertha*

*dominica*,, *Cryptolestes ferrugineus*, *Oryzaephilus surinamensis*, *O. mercator*, *S. granarius*, *S. oryzae*, *S. zeamais*, *Trogoderma granarium*, *Anagasta kuhniella*, *Ephestia cautella*, *Plodia interpunctella* y *Sitophilus*.

Lagunes y Villanueva en 1994 mencionan la existencia de 504 casos registrados de artrópodos con resistencia a plaguicidas desde 1908 hasta 1989.

### **Definición de Resistencia**

Ball (1981) menciona que la interpretación de la palabra resistencia es relativa, esto coincide con la definición de Brattsten (1989) cuyo concepto de resistencia indica que es compleja y controvertida por ser un fenómeno muy relativo.

Georghiou (1965) define a su vez resistencia como un término usado comúnmente para señalar la habilidad de un organismo para sobrevivir a la aplicación de un tóxico, la cual sería letal para la mayoría de los organismos de una población normal. Esta situación se manifiesta como un fenómeno de selección natural en el cual sobreviven los individuos mejor adaptados (Cremllyn, 1982).

### **Clases de Resistencia**

Se mencionan dos clases que son: resistencia cruzada, fenómeno por el cual una población de artrópodos que es sometida a presión de selección con un plaguicida adquiere resistencia a el y a otros plaguicidas relacionados toxicológicamente que no han sido

aplicados, pero que son afectados al menos por un mecanismo de resistencia común (Georghiou, 1965).

La resistencia cruzada negativa se presenta cuando una población desarrolla resistencia a un insecticida y esto ocasiona aumento de susceptibilidad a otros productos no utilizados para los cuales existía resistencia anteriormente (Georghiou, 1965).

Resistencia múltiple, este término es observado cuando una población desarrolla resistencia a uno o varios insecticidas que han sido aplicados y al mismo tiempo desarrolla resistencia a otros insecticidas de grupos semejantes o diferentes que aun no han sido aplicados, cuando ocurre esto la población posee mecanismos amplios de resistencia.

### **Naturaleza de la Resistencia**

Son dos las teorías que tratan de explicar el papel de los insecticidas con respecto al origen de los genes de resistencia, la primer teoría es la preadaptativa supone que los genes de resistencia ya existen en la población y que los insecticidas sólo seleccionan a los individuos resistentes. Esta teoría es la más aceptada por los estudiosos de la resistencia (Matsumura, 1985).

La segunda teoría postadaptativa asume que los insecticidas producen cambios bioquímicos en los sobrevivientes que hacen que aumente su resistencia (Brown, 1960; De Faz, 1983, Matsumura, 1985; Lagunes y Villanueva, 1994).

Georghiou (1965) clasificó la resistencia en tres tipos que son por comportamiento, morfológica y fisiológica, los que a continuación se describen:

Resistencia por comportamiento se refiere a la capacidad que tienen algunos individuos de una población para sobrevivir a la acción de los insecticidas por medio de sus hábitos, los cuales le proporcionan protección contra la acción de los tóxicos (Georghiou, 1965).

La resistencia morfológica se presenta cuando alguna característica morfológica ocasiona la resistencia (Lagunes y Villanueva, 1994).

La resistencia fisiológica se refiere a la falta de actividad de dosis normales de insecticida debido a la adición de uno o varios mecanismos de protección, tales como penetración reducida, mayor almacenamiento en tejidos inertes, aumento de la excreción, mayor metabolismo o mediante la insensibilidad en el sitio de acción del tóxico (Price, 1991).

## **Mecanismos de Resistencia**

Los insecticidas pueden producir resistencia en insectos debido principalmente a la participación de algunos mecanismos fisiológicos que se clasifican en metabólicos y no metabólicos (Brown, 1960).

## Mecanismos Metabólicos

Los insecticidas pueden ser metabolizados y transformados en productos menos tóxicos por los insectos como consecuencia de la acción de los sistemas enzimáticos presentes en los insectos. Las principales enzimas responsables del metabolismo de los insecticidas son: función oxidativa mixta (FOM), esterasas, DDTasa y glutatión transferasa (Terriere, 1984; Plapp, 1976; Brown, 1960).

**Función oxidativa mixta.**- La oxidación de las moléculas de insecticidas en el interior del cuerpo de los insectos, por medio del sistema enzimático conocido como función oxidativa mixta (FOM) es de gran importancia, debido a la relación existente entre los niveles de FOM y el grado de tolerancia o resistencia de los insectos hacia una gran diversidad de insecticidas. En los insectos se localiza en el cuerpo graso, tubos de Malpighi y tracto digestivo, por lo que se le considera la primera defensa contra agentes tóxicos de carácter xenobiótico (Brattsten y Wilkinson, 1977; Wilkinson, 1983).

**Esterasas.**- Las esterasas son hidrolasas que rompen los enlaces esteráticos de los organofosforados y producen alcoholes y ácidos que son menos tóxicos y además solubles en agua. Se reportan dos tipos de esterasas: carboxiesterasas y fosfotriesterasas, las cuales constituyen un mecanismo metabólico importante para los compuestos organofosforados (Terriere, 1984, y Matsumura, 1985). Las carboxiesterasas en poblaciones de artrópodos que presentan resistencia por ejemplo a malation las carboxiesterasas atacan al grupo carboxietil del malation y lo hidrolizan (Yasutomi, 1983; Terriere, 1984). Por

su parte las fosfotriesterasas son esterasas hidrolíticas que rompen los enlaces esteráticos de los organofosforados dando lugar a los ácidos y a alcoholes (Pérez, 1988).

**DDTasa.**- Enzima también conocida como dehidroclorinasa, la que metaboliza la molécula del DDT y la transforma a DDE, que es un metabolito menos tóxico para los insectos. El metabolismo del DDT por esta enzima es un factor importante para los individuos resistentes al disminuir la concentración interna de DDT y transformarlo primero a DDE y posteriormente a DDA (Brown, 1960).

**Glutathion S-transferasa.**- Esta enzima es muy importante en el metabolismo de compuestos organofosforados, ya que producen principalmente la dealquilación de los dimetilorganofosforados. Las enzimas consideradas dentro del complejo glutathion s-transferasa se clasifican como glutathion transferasa, s-aril transferasa, s-aralquil transferasa, s-alquenotransferasa y s-epoxittransferasa. A nivel experimental se ha demostrado que la actividad de estos grupos es influenciada por el pH, temperatura y tejido en el que se encuentre (Plapp, 1976; Matsumura, 1985; Price, 1991).

### Mecanismos no Metabólicos

No dependen del metabolismo del insecto; sin embargo, por la participación de estos mecanismos algunos insectos son capaces de producir altos niveles de resistencia a los productos químicos. Los mecanismos pertenecientes a este tipo son:

**Penetración reducida.**- Se ha demostrado que la penetración reducida del tóxico a través del integumento del insecto, le da al insecto cierto grado de resistencia al permitir que dicho tóxico quede expuesto por más tiempo a los complejos enzimáticos detoxificantes, por lo que sólo cantidades subletales llegan al sitio de acción (Matsumura, 1985).

**Insensibilidad en el sitio de acción.**- Los principales factores identificados son:

A) Resistencia al derribo (Kdr) es un mecanismo que afecta tanto a insecticidas del grupo de análogos del DDT como a los piretroides. En un principio se describía a este mecanismo como resistencia al derribo por DDT, describiéndosele después como kdr que son las iniciales del nombre en inglés "knock down resistance". Confiriendo este mecanismo resistencia cruzada entre piretroides y DDT (Miller *et al.*, 1983; Plapp, 1976).

B) Colinesterasa insensible.- Esta enzima está alterada y reduce la opción de que insecticidas organofosforados y carbamatos la inhiban (Hama, 1983).

C) Insensibilidad a ciclodienos.- Es específico para cada insecticida de este grupo (Narahashi, 1983).

**Mayor excreción.**- Este mecanismo generalmente se considera de menor importancia en insectos, pero al presentarse acompañado de otro mecanismo de resistencia aumenta su importancia.

**Mayor almacenamiento.-** En tejidos inertes por lo general en el tejido graso. No hay registros de colonias resistentes solamente por este factor (Lagunes y Villanueva, 1994).

### **Resistencia del Género *Sitophilus* en el Mundo**

Varios estudios a nivel mundial se han realizado para conocer el nivel de resistencia de este género a varios insecticidas en diferentes países. Así, Champ y Cribb (1965) en Australia realizaron un estudio con una colonia de *S. zeamais* y dos colonias de *S. oryzae* (L.) para conocer la respuesta a lindano, malation, ronnel y diazinon, encontrando que la concentración letal media (CL50) a lindano a las 24 horas de exposición de *S. oryzae* fue de 0.0057 por ciento en la colonia susceptible y de 0.44 por ciento para la colonia que presentó una proporción de resistencia de 77.2x, No habiéndose detectado resistencia a malation y diazinon por esta especie, pero si se observó un pequeño incremento en la tolerancia a ronnel. Con referencia a *S. zeamais* no presentó resistencia a ningún insecticida. Estos mismos autores señalaron una cifra de 20x como nivel mínimo para considerar que la resistencia a lindano tenga importancia práctica.

Parkin (1965) en Inglaterra realizó bioensayos con la técnica de polvo impregnado con lindano y mezclado con el grano, varias razas de *S. zeamais* provenientes de varios países encontró que la raza más resistente a lindano fue originaria de Trinidad y Tobago con una proporción de resistencia de 7.9x, seguida de una raza de Kenya que mostró 3.7x, posteriormente una de Rhodesia con 3.1X y otra de Kenya con una proporción de 2.0x.

Por medio de aplicación tópica Lemon (1967) en Inglaterra determinó la susceptibilidad relativa de *S. zeamais* a malation. La dosis letal media se determinó en base a una gráfica de tres puntos, y se obtuvo un valor aproximado de 1024.9  $\mu\text{g/g}$  de insecto que es un valor demasiado alto en relación a otros valores reportados por otros autores.

Champ (1967) en Queensland, Australia, confirmó la resistencia a DDT en *S. oryzae*, utilizando el método de exposición continua en papeles filtro impregnados con DDT.

Así al exponer una colonia de laboratorio susceptible a una dosis al 1 por ciento de DDT, presentó CL50 a tres horas, mientras que otra colonia de laboratorio resistente, su respuesta fue hasta 44 horas, en tanto que una raza proveniente de campo respondió a más de 72 horas. La colonia resistente del laboratorio tuvo una proporción de resistencia de 12.8x para machos y 11.3x para hembras en base a la respuesta a las 24 horas de exposición, usando concentraciones variables de DDT. La raza de campo no pudo ser medida con este método.

En Kenya, De Lima (1972) utilizó una colonia de *S. zeamais* susceptible a lindano, como línea base para compararla con otras 22 colonias procedentes de diferentes partes del país. Los bioensayos se realizaron por medio de la exposición a papeles filtro impregnados con lindano, encontró que los niveles de resistencia variaron desde 1x hasta 49x, es decir que hubo insectos que fueron hasta 49 veces más resistentes que los de la colonia susceptible.

Carter *et al.* (1975) en Inglaterra realizaron una serie de bioensayos por el método de polvo impregnado con insecticida y encontraron que cismetrina más butóxido de piperonilo (B.P.) fue el compuesto más tóxico contra una población de *S. zeamais* resistente a malation, con una concentración media de 0.28 ppm, en orden de toxicidad le siguieron: bioresmetrina + B.P. con 0.38 ppm, fenitrotion con 0.95 ppm, tetrametrina + B. P. con 2.8 ppm, piretrinas + B. P. con 3.0 ppm y finalmente malation con 4.2 ppm. Se observó que esta colonia fue 4.6 X más resistente a malation que una raza susceptible de laboratorio con 0.91 ppm.

En tanto que en los Estados Unidos Haliscak y Beeman (1983) en pruebas con malation en una colonia de *S. oryzae* al ser comparada con una colonia susceptible, encontraron resistencia.

En nuestro país el primer reporte sobre resistencia de insectos plaga de granos almacenados a insecticidas fue dado por Champ y Dyte (1976) quienes reportaron que las poblaciones de *S. zeamais* son resistentes a lindano pero no dieron valor alguno de proporción de resistencia ni tampoco indicaron en base a que población susceptible encontraron resistencia (Pérez, 1988).

Posteriormente Arenas y Sánchez (1988) en México determinaron la DL50 de una población de *S. zeamais* procedente de Chapingo, estado de México, a siete insecticidas diferentes por el método de aplicación tópica, obteniendo que el insecticida más tóxico fue el carbofuran con un valor de DL50 de 1.2 µg/g de insecto seguido en orden de toxicidad descendente fue el metomil con 4.3, pirimifos

metílico con 4.8, malation con 25.9, permetrina con 28.8, dimetoato con un valor de 58.9 y monocrotofos con 63.4  $\mu\text{g/g}$ .

García (1992) reporta para poblaciones de *S. zeamais* procedentes de Veracruz las siguientes CL50 y CL95 al ser evaluadas por el método de aplicación tópica para los insecticidas, pirimifos metílico 8 y 15 ppm; malation 49 y 185 ppm; permetrina 66 y 126 ppm; y lindano 573 y 2627 ppm respectivamente.

Pérez (1993) evaluó la susceptibilidad a insecticidas en tres poblaciones de *S. zeamais* procedentes de tres estados de la República Mexicana, con el método de aplicación tópica. Encontrando que la población de Guanajuato presentó a deltametrina un valor de 0.009  $\mu\text{g/insecto}$  seguida por las poblaciones de Chiapas y Jalisco con DL50 de 0.011 0.017  $\mu\text{g/insecto}$ . No teniendo una concordancia entre productos y estados ya que los resultados fueron variables, así para pirimifos metílico la población más tolerante fue Guanajuato con 0.048  $\mu\text{g/insecto}$ , para lindano la población menos susceptible fue la de Jalisco con 0.439  $\mu\text{g/insecto}$ . Para malation la población de Guanajuato presentó valores de 0.251 y finalmente para DDT la población más tolerante fue Guanajuato 2.114  $\mu\text{g/insecto}$ .

## **Inducción de Enzimas Desintoxicativas en Insectos**

Estudios recientes sobre desintoxicación en insectos han revelado una nueva versatilidad por parte del insecto para adaptarse a su ambiente y esta es dada por la inducción, proceso en el cual un estímulo químico aumenta la actividad del sistema de desintoxicación

mediante la producción de enzimas adicionales. Probablemente todos los insectos poseen esta capacidad, la que variará de acuerdo a las especies, el estado de desarrollo, y la naturaleza del medio ambiente más reciente del insecto; la variación en la actividad desintoxicativa es causa por lo menos de la toxicidad selectiva de los insecticidas, el desarrollo de resistencia a insecticidas y la selección de plantas hospederas (Terriere, 1984).

Price (1991) señala que la desintoxicación metabólica es considerada como la principal ruta para el desarrollo de la resistencia.

### **Sistemas Enzimáticos Desintoxicativos en Insectos**

Los tres sistemas más importantes en insectos son: oxidasas microsómicas, glutatión s-transferasa, estas dos son importantes en el metabolismo de insecticidas organofosforados y las carboxiesterasas degradan insecticidas carbámicos, organofosforados y piretroides, así como hormonas juveniles y sus análogos, actualmente existe evidencia de la inducción de todas estas enzimas en los insectos (Terriere, 1984).

Brattsten *et al.* (1977) demostraron la primer evidencia de la presencia de sustancias naturales en plantas hospederas que aumentan la actividad de las oxidasas de función mixta debido a ello reducen la susceptibilidad de larvas de *Spodoptera eridania* (Kramer) a los insecticidas.

Berry *et al.* (1980) por su parte reportan que al alimentar larvas de *Peridroma saucia* con hojas de menta en éstas fueron nueve veces más

altos los niveles de epoxidasas-aldrin que cuando las larvas se alimentaron de otras plantas hospederas como alfalfa, frijol y betabel y que los niveles de epoxidasas fueron seis veces más activas que las larvas alimentadas con una dieta artificial. La tolerancia fue a acefate, metomil y malation.

Terriere (1984) hace mención a los resultados obtenidos al utilizar hojas de maíz para alimentar larvas de *Spodoptera frugiperda* las cuales fueron más tolerantes en una prueba con ocho insecticidas que las larvas alimentadas con hojas de soya. Además señala que algunas plantas que causan inducción de G-s-transferasa en *S. frugiperda* como mostaza y nabo tuvieron solamente un ligero efecto sobre el sistema de oxidasas microsómicas y otras plantas como el maíz, papa y camote buenas inductoras de oxidasas no tuvieron efecto sobre las G-s-transferasas.

Con respecto a estudios realizados sobre inducción de sistemas enzimáticos desintoxicativos en plagas de granos almacenados Stadler *et al.* (1990) hacen mención de como el tipo y cantidad de alimento disponible en el medio influye sobre el tamaño del insecto, supervivencia y tolerancia a los plaguicidas; aun mas, en este último aspecto está influenciado por el alimento incorporado durante el desarrollo así como también por la ingesta más reciente.

Los resultados obtenidos en poblaciones de *S. oryzae* desarrolladas sobre centeno y presionadas con DDT se obtuvieron valores de resistencia de 15X más a los que se desarrollaron sobre cebada. Y para insecticidas fosforados se observó que en poblaciones

criadas sobre trigo la resistencia fue 37 veces superior que en las desarrolladas sobre cebada. Así se demuestra que la dieta afecta a corto plazo la susceptibilidad de una población a insecticidas y a largo plazo la velocidad de desarrollo de la resistencia (Stadler *et al.*, 1990).

## **Sinergismo**

Se presenta sinergismo cuando la toxicidad de una mezcla es mayor que la suma de la toxicidad de los componentes considerados en forma separada, siempre y cuando uno de los componentes de la mezcla no tenga acción tóxica (De Faz, 1983; Metcalf, 1967; Barberá, 1976).

Sinergista se define como un producto químico que no es tóxico al insecto en estudio, a la dosis utilizada pero aumenta la toxicidad de un insecticida cuando es utilizado en combinación con éste (Casida, 1970; Price, 1991).

### **Importancia de los Sinergistas**

Los sinergistas en general inhiben las rutas metabólicas las cuales pueden estar modificadas o amplificadas. El uso de los sinergistas en los bioensayos pueden indicar los mecanismos bioquímicos que están envueltos en la desintoxicación (Devonshire, 1990). La importancia de los sinergistas para el entomólogo radica en que hacen más económico y eficiente el control de insectos; además aumentan el espectro de actividad de un insecticida y restauran la actividad de un insecticida contra cepas resistentes a insecticidas. Así, el uso de sinergistas con

insecticidas puede proveer el modo más factible para prevenir el desarrollo de razas resistentes de plagas.

Aparte de todo esto lo fundamental de los sinergistas es que permiten un mayor conocimiento de los mecanismos de desintoxicación en insectos, y los procesos bioquímicos básicos involucrados en resistencia a insecticidas y el modo de acción de los insecticidas (Metcalf, 1967). Mucha de la útil información sobre insecticidas químicos que se ha obtenido y que se puede obtener es mediante investigaciones apropiadas con sinergistas (Casida, 1970).

### **Acción del Sinergista**

La potencia del sinergismo varía grandemente de acuerdo al insecticida o xenobiótico, y las especies involucradas. Para un máximo efecto, el sinergista debe penetrar o entrar al organismo y ser transportado y acumulado en el sitio de la función mixta oxidativa u otro sitio enzimático tan rápidamente o más rápidamente que el insecticida en el sitio activo, y también debe existir una gran afinidad y una proporción de metabolismo más baja que el insecticida (Casida, 1970; Metcalf, 1967).

### **Sinergistas Utilizados**

Barberá (1976) ubica a los sinergistas derivados del metilendoxifenil entre los sinergistas más importantes, ya que existen más estudios sobre ellos y han sido los más utilizados, a este grupo pertenecen el sesamin, sesamolín, safrole, isosafrole, dihidrosafrole,

butóxido de piperonilo, sulfoxide, propil-isome, tropital, sesamex, miristicin y otros. Este grupo presenta una marcada actividad sinérgica con piretrinas, carbamatos, fosforados y derivados clorados.

Casida (1970) reporta como los sinérgicos utilizados comercialmente en los Estados Unidos a cuatro sinérgicos derivados del metilendioxifenil a saber: butóxido de piperonilo, sulfoxide, propil-isome y tropital siendo el primero el dominante. El N-alkil es otro grupo de sinérgicos donde se encuentran el SKF 525A, Lilly 18947, MGK 264, WARFantiresistant, este sinérgico es particularmente activo para DDT. Otro grupo existente es el del O-(2-propinil) éteres y ésteres que incluye los ariléteres, oximéteres y fosfanatoésteres. Un grupo más de sinérgicos incluye el dipropilparaoxon, DEF, TOCP, butil-O-metil-carbanilato. Existen otros compuestos sinérgicos como el octaclorodipropileter (sinérgico comercial) y ciertos 1,2,3,-benzotiadiazoles que son sinérgicos para piretroides y carbamatos, así como ciertos tiocianatos son sinérgicos de carbamatos.

### **Butóxido de Piperonilo**

Price (1991) señala al butóxido de piperonilo como el sinérgico más comúnmente utilizado, derivado del metilendioxifenil y utilizado en las formulaciones comerciales de algunos piretroides para combatir la tolerancia natural de los insectos debido al ataque oxidativo sobre el ingrediente activo por el sistema de función mixta oxidativa de los insectos, ya que este sinérgico es el más conocido inhibidor de este sistema.

El butóxido de piperonilo fue desarrollado como sinergista del piretro por Herman Wachs en 1947 (Wachs, 1947). Es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos, es estable a la luz y no es corrosivo, su punto de ebullición es de 180 C, la dosis letal media (DL50) oral aguda para ratas es de 7,500 mg/kg, y la DL50 dermal para conejo es de 1,880 mg/kg.

El nombre aceptado por USDA para el butóxido de piperonilo es butil carbitol 6-propilpiperonil éter; algunos nombres comerciales son: Butoxide, NIA 5273, Butacide, Butocide e Incite, este último fue el utilizado en esta investigación. En piretrinas se usa en proporciones de 5:1 a 20:1.

Uso de butóxido de piperonilo.- Wilson (1949) reportó el uso de butóxido de piperonilo y otros compuestos de piperonil aplicados a partes seleccionadas de moscas y encontró que estos compuestos inhibían la recuperación del kdr.

Incho y Greenberg (1952) realizaron estudios sobre el efecto sinérgico del butóxido de piperonilo con los componentes activos separados del piretro y con los ésteres ácidos del crisantemo sobre mosca casera. Al respecto Ware (1960) menciona que las proporciones de penetración de butóxido de piperonilo en mosca doméstica, solo y con el tóxico fueron generalmente las mismas y que la proporción de penetración del butóxido de piperonilo no determinó su rol como sinergista o antagonista. Pero Georghiou (1962) hace referencia sobre el uso del butóxido de piperonilo, como sinergista ya que al utilizarlo en

una cepa resistente de moscas caseras redujo el nivel de resistencia existente.

Weaving (1969) realizó un estudio con plagas de frijol almacenado *Acanthoscelides obtectus*, *Zabrotes subfasciatus* y *Callosobruchus chinensis* para conocer la susceptibilidad de estos brúquidos a polvos que contenían piretrinas y butóxido de piperonilo encontrando que 48 horas después las tres especies presentaron susceptibilidad similar a las piretrinas con una DL50 entre 6.6 y 8.0 ppm. La proporción óptima de sinergista para *A. obtectus* y *Z. subfasciatus* fue 1:10. Las exposiciones a los seis días mostraron susceptibilidades similares, pero indicaron un alto factor de sinergismo para *A. obtectus* y una proporción óptima de sinergismo de por lo menos 1:15.

Elliot *et al.* (1978) concluyen que de la mayoría de los insecticidas piretroides y organofosforados evaluados en silo (insecticida mezclado con grano), el mejor producto en base a costo y eficiencia fue bioresmetrina con butóxido de piperonilo, controlando cepas de *Rhizopertha dominica* (una susceptible, y una resistente a organofosforados), una cepa resistente a malation de *S. granarius*, y una susceptible y una resistente de *S. oryzae*.

Samson *et al.* (1990) evaluó <sup>al or</sup> la eficacia de deltametrina aplicada a maíz en combinación con diferentes proporciones de butóxido de piperonilo, en laboratorio contra *S. zeamais*. observando que con la adición de butóxido de piperonilo en 8 mg kg<sup>-1</sup> protegió el maíz contra cepas de *S. zeamais* similares a QSZ102 por 24 semanas, mientras que

con  $16 \text{ mg kg}^{-1}$  protegió por 48 semanas. Sin embargo la deltametrina sinergizada fue menos efectiva contra una cepa de *S. oryzae* QS056.

Los derivados del metilendioxifenil normalmente actúan como sinergistas sin embargo bajo ciertas circunstancias pueden antagonizar la acción de los insecticidas (Wahla *et al.*, 1976).

## **Insecticidas Evaluados**

### **Malation**

Producto organofosforado con propiedades insecticida y acaricida sintetizado en 1950 con denominación química: 0,0-dimetil-S-(1,2-dicarbetoxi-etil)-ditiofosfato. Insecticida de amplio espectro de acción, actúa por contacto e ingestión. No es sistémico. Este compuesto fue el primer fosforado de baja toxicidad, posee una DL50 oral aguda de 1400 mg/kg y DL50 dermal aguda de 400 mg/kg que lo ubica en la categoría III toxicológica (Muñoz, 1985).

### **Pirimifos Metílico**

Producto fosforado sintetizado en 1970 con denominación química: 2dietilamino-6-metilpirimidin-4-il dimetil fosforotionato, tiene acción insecticida y acaricida de contacto y fumigante. La DL50 oral aguda para ratas hembras es de 2,050 mg/kg; la DL50 dermal aguda para conejos es más de 2000 mg/kg, ubicado en la categoría III (Martin, 1971; CICOPLAFEST, 1994).

## Lindano

Insecticida clorado de acción de contacto e ingestión principalmente; de larga persistencia. La dosis oral aguda para ratas es de 90 mg/kg es moderadamente tóxico, correspondiente al grupo III. (Sittig, 1980; CICOPPLAFEST, 1994).

## Permetrina

Producto perteneciente al grupo de los piretroides, con denominación química: 3 fenoxifenilmetil -1-2, 2-dicloroetenil-2, 2-dimetil-ciclopropa-nocarboxilato. Insecticida de acción de contacto e ingestión. La DL50 oral aguda para ratas varía de 430 a 4000 mg/kg lo cual es ligeramente tóxico, correspondiente a la categoría III. (Sittig, 1990; CICOPPLAFEST, 1994).

## Carbarilo

Primer insecticida carbámico que apareció en el mercado nacional en 1959. Su denominación química es 1-naftil-N-metil carbamato. Insecticida de acción de contacto e ingestión; la DL50 oral aguda es de 500 mg/kg y la DL50 dermal aguda es de 4000 mg/kg correspondiente a la categoría III (Montes, 1985; CICOPPLAFEST, 1994).

# **MATERIALES Y METODOS**

## **Ubicación del Experimento**

El presente estudio se realizó en una cámara de cría en el Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

El material biológico utilizado en esta investigación fue colectado en un muestreo realizado en maíz criollo en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

## **Procedimiento de Cría**

Las poblaciones de adultos de *S. zeamais* fueron colocadas en dos sustratos maíz y sorgo en recipientes de vidrio con capacidad de cuatro litros, estos sustratos fueron previamente fumigados con fosforo de aluminio, para eliminar otros posibles insectos o ácaros presentes, y se colocó un kilogramo y medio de cada sustrato en los recipientes. A los recipientes se les colocó tela de tul sujeta con bandas de caucho para evitar la salida del insecto y entrada de otros organismos, estos recipientes posteriormente fueron colocados en una cámara de cría a una temperatura de  $27 \pm 2$  °C y una humedad relativa de 70 por ciento, para lograr un mejor desarrollo del insecto.

Los bioensayos fueron realizados con insectos desarrollados sobre los dos sustratos después de que se obtuvo la cantidad de insectos necesarios para llevar a cabo los bioensayos.

## **Productos Utilizados**

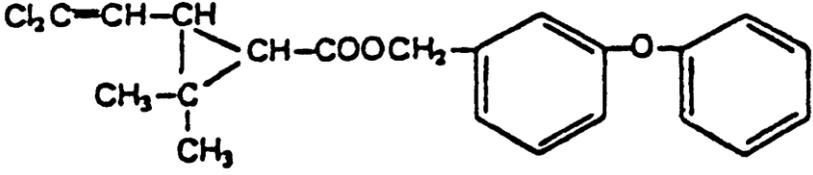
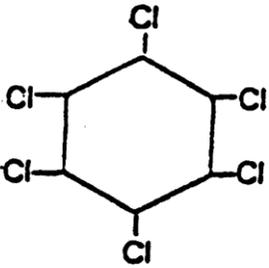
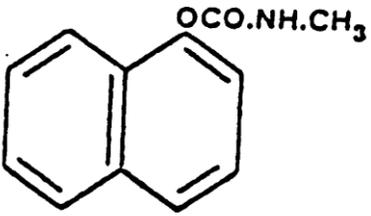
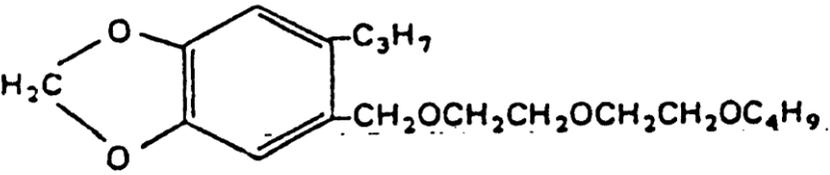
Se evaluaron cinco plaguicidas pertenecientes a cuatro grupos toxicológicos diferentes y un sinergista, productos que son utilizados comúnmente para la protección de granos y productos almacenados. Estos fueron; malation, pirimifos metílico, lindano, carbarilo, permetrina y el sinergista butóxido de piperonilo; los cinco insecticidas utilizados fueron de formulación comercial, a excepción del butóxido de piperonilo que fue donado por la Compañía Loveland de Colorado, E. U. A. En el Cuadro 3.1 se muestran los productos, sus estructuras y grupos toxicológicos.

## **Bioensayos**

El método de bioensayo utilizado en este trabajo de investigación fue el de aplicación tópica, que consiste en depositar una cantidad de acetona con una dosis conocida del tóxico, en la superficie dorsal del insecto adulto, para lo cual se utilizó un microaplicador manual, que consta de un tornillo micrométrico graduado de manera que permite liberar una cantidad conocida en cada graduación (1ml) así como una microjeringa marca Hamilton.

Se utilizaron de seis a siete dosis por cada tóxico, previo a esto las dosis fueron ubicadas mediante un estudio de ventana biológica, esta

Cuadro 3.1. Nombre común, estructura química y grupo toxicológico de los productos utilizados en el presente estudio.

Insecticida Nombre común	Estructura Química	Grupo Toxicológico
Malation	$  \begin{array}{c}  (\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS.SCHCOOC}_2\text{H}_5 \\    \\  \text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5  \end{array}  $	Organofosforado  F-CX
Pirimifos metílico	$  \begin{array}{c}  (\text{CH}_3\text{O})_2\text{PS.O}-\text{C} \\  \diagup \quad \diagdown \\  \text{CH} \quad \text{C.CH}_3 \\  \diagdown \quad \diagup \\  \text{N} \quad \text{N} \\    \\  \text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3  \end{array}  $	Organofosforado  FH
Permetrina		Piretroide  PIRT
Lindano		Organoclorado  OC-Be
Carbarilo		Carbamato  CC-MM
Butóxido de piperonilo		Metilendioxi- fenil

técnica consiste en evaluar un amplio rango de concentraciones de ingrediente activo hasta determinar las dosis que se ubican entre la DL50 y la DL100 con las dosis antes mencionadas se obtuvo la respuesta dosis-mortalidad. La cantidad de dosis utilizadas para las mezclas de sinergista-insecticida fueron las mismas que para los tóxicos usando una proporción sinergista-insecticida de 20:1. Se utilizaron como solventes la acetona y el metanol, éste último sólo para el carbarilo.

Aproximadamente a las cinco semanas de infestado el sustrato éste fue cribado por medio de un tamiz que permitía el paso de los adultos pero no del grano, estos adultos fueron colectados por medio de una máquina de vacío y sin considerar el sexo se escogieron 30 picudos por tóxico así como a los testigos a los cuales sólo se les agregó acetona, y en el caso del carbarilo se uso metanol, en el caso de las mezclas de insecticida-sinergista se corrió un bioensayo sólo con butóxido de piperonilo.

Los insectos tratados fueron colocados en vasos deplástico a los cuales se les puso en el extremo superior tela de tul sujeta con una banda de caucho y etiquetas que identificaban las dosis y los sustratos, posteriormente fueron colocados nuevamente en la cámara de cría.

Previamente a la aplicación de los tóxicos los insectos fueron pesados en una balanza analítica para poder establecer la DL50.

Transcurridas 24 horas se registró la mortalidad, el criterio de muerte fue cuando el insecto no respondió a estímulos y no camina aunque presentara movimientos lentos de patas o alas al estar postrado.

El porcentaje de mortalidad se corrigió mediante la fórmula de Abbot cuando se manifestó mortalidad en el testigo menor a 15 por ciento.

$$MC = \frac{x - y}{100 - y} (100)$$

## Análisis Estadístico de la Información

El análisis de cada bioensayo se realizó por medio de un programa computarizado para Probit, denominado PC Probit desarrollado por Camacho (1990). Los resultados obtenidos fueron la ecuación de predicción, DL50, DL95, límites fiduciales y la línea de respuesta dosis-mortalidad la que se graficó en papel logaritmo-probit; se estimó además el valor de chi cuadrada ( $X^2$ ) para cada serie de datos. Estimándose también la correlación de la regresión ( $r^2$ ). La proporción de cotoxicidad para estimar el nivel de sinergismo de las mezclas se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$PC = \frac{\text{DL50 del Producto}}{\text{DL50 de la Mezcla}}$$

Cabe aclarar que los datos se analizaron en ppm y los datos de DL50, límites fiduciales, DL95 y coeficiente de cotoxicidad se transformaron directamente a microgramos por gramo, esto debido a características del propio tema.

## RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se describen los resultados obtenidos de los bioensayos realizados en el presente estudio presentando la siguiente secuencia. Valores de DL50 así como la presentación de sus límites fiduciales, DL95, coeficiente de cotoxicidad y por último las líneas de regresión dosis-mortalidad y su tendencia. Es de señalar que los resultados de los bioensayos aparecen en el Apéndice.

Con respecto a la dosis letal media (DL50) de los insecticidas evaluados, en el Cuadro 4.1 se muestran los resultados, encontrando que *S. zeamais* presentó mas susceptibilidad a pirimifos metílico (fosforado) ya que para los insectos desarrollados en maíz, sólo requirió 7.5  $\mu\text{g/g}$  y para los desarrollados en sorgo se requirió aún menos 5.5  $\mu\text{g/g}$ , es decir se logró matar el 50 por ciento de la población con la menor dosis. Asimismo para malation el otro producto del grupo de los fosforados presentó una DL50 de 14.5  $\mu\text{g/g}$  para los individuos provenientes del sustrato maíz y 12.3 para el sustrato sorgo, en cuento al grupo de los clorados el picudo del maíz presntó al lindano una DL50 de 13.8 y 13.1  $\mu\text{g/g}$  para los desarrollados en maíz y sorgo respectivamente, aunque no se tiene diferencia estadística, posteriormente ya se requirieron dosis mucho más altas para el caso del producto de los piretroides permetrina se obtuvieron DL50 de 31.8 y 34.4  $\mu\text{g/g}$ , la relación que se presentó es inversa ya que fue para los provenientes de sorgo y maíz, pero sin duda este insecto presentó más tolerancia

para el carbarilo del grupo de los carbámicos, con 194 y 214  $\mu\text{g/g}$  para adultos que se alimentaron de sorgo y maíz respectivamente.

**Cuadro 4.1. Valores de DL50, límites fiduciales y DL95 de diferentes insecticidas en adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo in vitro sin butóxido de piperonilo.**

Tratamiento	Sustrato alimenticio	DL50	$\mu\text{g/g}$	
			Límites fiduciales al 95%	DL95
Malation	Maíz	14.5	(14.4 - 16.5)	40.0
	Sorgo	12.3	(11.5 - 13.1)	25.2
Pirimifos metílico	Maíz	7.5	(7.0 - 7.9)	15.4
	Sorgo	5.5	(5.0 - 5.7)	13.1
Permetrina	Maíz	31.8	(31.5 - 32.0)	44.3
	Sorgo	34.4	(33.4 - 35.7)	56.8
Carbarilo	Maíz	194.3	(174.7 - 206.3)	640.4
	Sorgo	214.7	(198.6 - 233.4)	603.4
Lindano	Maíz	13.8	(10.9 - 16.8)	184.7
	Sorgo	13.1	(11.3 - 15.2)	66.5

En el Cuadro 4.2 se presentan los resultados del DL50 cuando se utilizó el sinergista butóxido de piperonilo en mezcla con los insecticidas ya mencionados encontrando que en términos generales para todos los insecticidas se requirieron dosis menores del tóxico para obtener el mismo nivel de mortalidad, lo cual implica que la presencia de oxidasas son las que gobiernan en esta población de picudos la detoxificación de los insecticidas las que fueron inhibidas por el butóxido, de ahí que se requieran dosis menores de estos tóxicos, cabe señalar que es notorio el

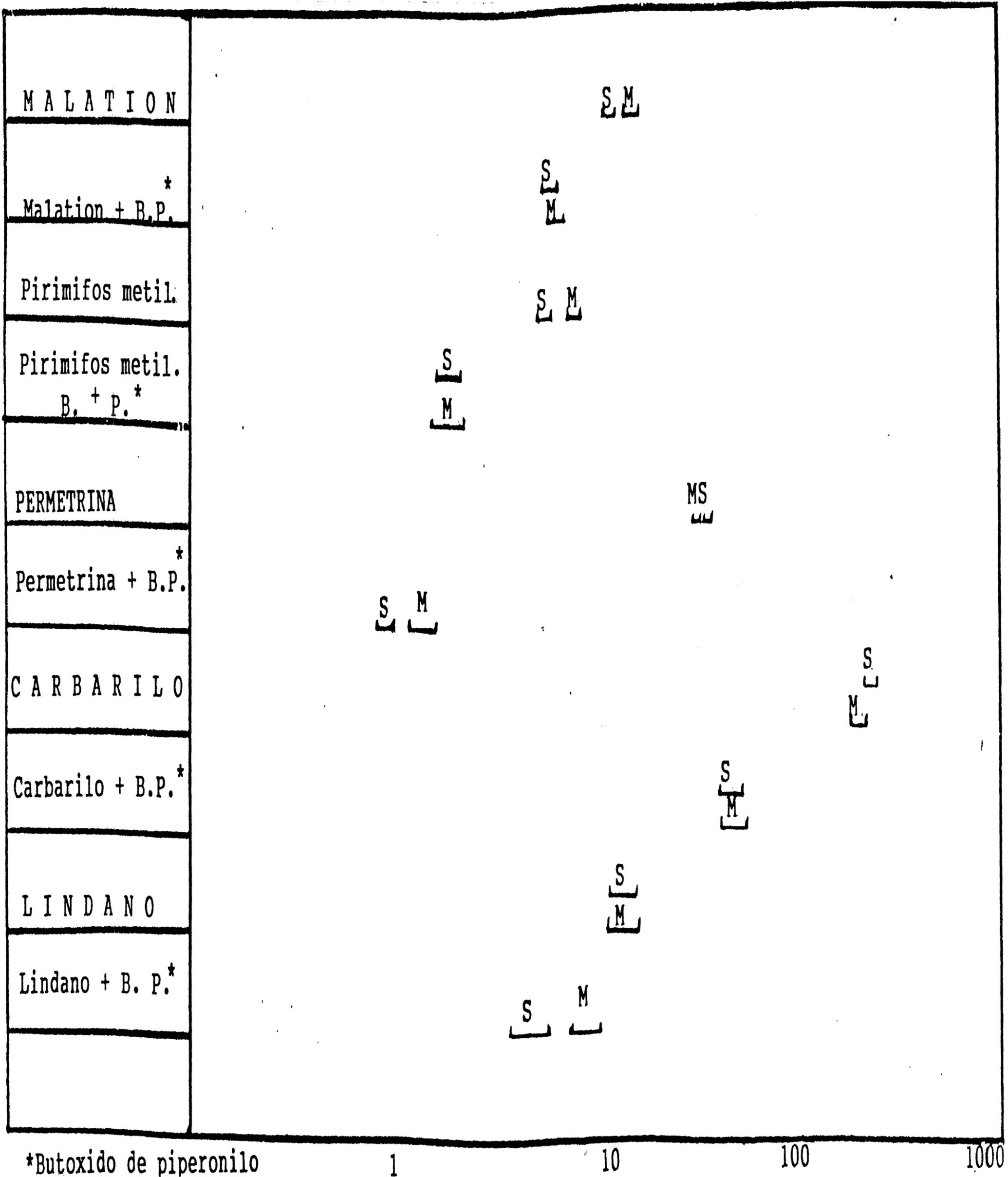
caso de la permetrina donde sólo se requirió de 1.29 y 0.97  $\mu\text{g/g}$  para matar el 50 por ciento de la población desarrollada en maíz y sorgo respectivamente, seguida esta mezcla por la del pirimifos metílico que ahora sólo requirió de 2.04 y 2.07  $\text{g/g}$  para los picudos provenientes de los sustratos maíz y sorgo respectivamente, posteriormente se ubicó la mezcla del lindano que en el caso de la población desarrollada en sorgo requirió de 4.70  $\mu\text{g/g}$  y en maíz de 8.40  $\mu\text{g/g}$ , con respecto a la mezcla del malation y el sinergista la DL50 obtenida fue de 5.7 y 6.1  $\mu\text{g/g}$  para individuos cuyo sustrato alimenticio fue maíz y sorgo respectivamente; una vez más en este Cuadro se puede observar que *S. zeamays* presentó más tolerancia para la mezcla de carbarilo y el sinergista requiriendo de 50.45 y 49.20  $\mu\text{g/g}$  para los adultos alimentados en maíz y sorgo respectivamente, aunque también es notorio el descenso en la necesidad de insecticidas, lo que corrobora el porque este producto no es muy recomendable para el control de este insecto.

En cuanto al DL95 que se presenta en el Cuadro 4.1, es claro que se tiene una tendencia normal a aumentar en proporción de 2 a 3 veces en comparación al DL50 aunque en el caso del lindano fue mayor y en el de la permetrina un poco menor. En el Cuadro 4.2 el DL95 también presenta una tendencia a aumentar de dos a tres veces en comparación al DL50 aun cuando es claro que en esta ocasión se requirieron dosis mucho menores de insecticidas a causa de la presencia del sinergista butóxido de piperonilo, repitiéndose el caso del lindano en sorgo que fue mayor, seguido por el carbarilo en ambos sustratos y presentándose el menor valor para permetrina en los dos sustratos alimenticios.

**Cuadro 4.2. Valores de DL50, límites fiduciales y DL95 de diferentes insecticidas en adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo *in vitro* con butóxido de piperonilo.**

Tratamiento	Sustrato alimenticio	DL50	$\mu\text{g/g}$ Límites fiduciales al 95%	DL95
Malation	Maíz	6.00	(5.5 - 6.8)	18.1
	Sorgo	5.70	(5.2 - 6.3)	16.8
Pirimifos metílico	Maíz	2.04	(1.8 - 2.2)	4.3
	Sorgo	2.07	(1.8 - 2.2)	6.3
Permetrina	Maíz	1.29	(1.2 - 1.3)	2.9
	Sorgo	0.97	(0.8 - 1.0)	2.5
Carbarilo	Maíz	50.45	(42.5 - 58.8)	208.8
	Sorgo	49.20	(41.0 - 57.8)	206.3
Lindano	Maíz	8.40	(7.0 - 9.7)	30.6
	Sorgo	4.70	(3.6 - 5.5)	27.8

En lo que respecta a diferencias estadísticas entre los productos evaluados esta se basa en los límites fiduciales del DL50 que se presentan en los Cuadros 4.1 y 4.2, pero que se representan en la Figura 4.1 donde se tiene una representación gráfica observándose que los insectos que provienen del sustrato maíz despertaron un mayor número de enzimas oxidativas que hacen que el insecto tolere dosis más altas, estadísticamente diferentes en los insecticidas fosforados, en tanto que ya no se observa diferencia estadística a nivel de sustrato una vez que se inhiben estas oxidasas en tanto que en el resto de los grupos toxicológicos esta relación se invierte ya que los insectos que se



\*Butoxido de piperonilo

1

10

100

1000

Figura 4.1 Valores de DL50 y límites fiduciales obtenidos en adultos de *Sitophilus zeamais* Motsch desarrollados en maíz y sorgo sin y con sinergista.

desarrollaron en sorgo muestran más tolerancia a permetrina y carbarilo aunque estadísticamente no hay diferencia, y en el caso del lindano fueron iguales.

Esta figura también nos permite ver los desprendimientos que se tienen en los resultados al agregar butóxido de piperonilo lo que señala que en general se tiene una diferencia notoria en todos los insecticidas cuando se agregó el sinergista lo que implica que si se tiene una inhibición del sistema oxidativo el cual es un sistema enzimático que participa en la degradación de estos tóxicos, así se puede señalar que el mejor efecto se logra en la mezcla con permetrina ya que ahora la diferencia estadística entre los adultos que provienen de maíz y sorgo es muy alta, hay que enfatizar que si bien es notoria la diferencia en las DL50 de fosforados y carbámicos, ahora se muestra una separación en distancia parecida, en un nivel no fuerte, pero el caso más bajo se presenta con el lindano en donde sólo los insectos que provienen de alimentarse en el sustrato sorgo tienen una inhibición más clara de oxidasas que permite que el DL50 sea menor y estadísticamente diferente a los que vienen de maíz, estas pequeñas separaciones indican en lo general que las oxidasas no son causa de una alta resistencia a insecticidas aunque como ya se vio si participan más activamente en degradación de moléculas en el caso del piretroide ya que se abate mucho la necesidad del tóxico al incluir el sinergista butóxido de piperonilo. Esto nos indica además que dependiendo del sustrato en que se alimenten los insectos se promueve la formación de enzimas particulares a productos primarios o secundarios presentes en las semillas que hace que la respuesta a los insecticidas en el proceso

de degradación sea mayor o menor según sea el acople y preferencia que presenten a las diferentes moléculas y sitios sensibles de los tóxicos.

**Cuadro 4.3. Coeficientes de determinación y chi cuadrada de las líneas de regresión dosis mortalidad estimadas de diferentes insecticidas de adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo sin sinergista.**

Tratamiento	Sustrato	$r^2$	$X^2$	G. L.	P
Malation	Maíz	0.9976	0.02284	4	0.99
	Sorgo	0.9911	0.14445	3	0.97
Pirimifos metílico	Maíz	0.9704	0.46826	4	0.95
	Sorgo	0.9627	0.03299	3	0.99
Permetrina	Maíz	0.9644	0.14128	4	0.99
	Sorgo	0.9975	0.00163	2	0.99
Carbarilo	Maíz	0.9908	0.22457	5	0.99
	Sorgo	0.9983	0.05159	4	0.99
Lindano	Maíz	0.9805	0.13737	4	0.99
	Sorgo	0.9035	0.16113	3	0.99

En el Cuadro 4.3 se presentan los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) para las líneas de regresión dosis/mortalidad para *S. zeamais* expuestos a insecticidas sin sinergista, donde se puede observar en general que los valores estimados se presentan mayores a 0.95 y los más bajos nunca inferiores a 0.90, todos los grupos de insecticidas se mantuvieron arriba del 0.95 a excepción del lindano en sorgo que el valor obtenido fue de 0.90, estos altos valores nos dicen que se presentó un buen ajuste ya que la disposición de los puntos obtenidos tendieron a una línea perfecta. Al mismo respecto en el Cuadro 4.4 se puede

observar que los valores de  $r^2$  también se presentaron superiores a 0.95 en todos los casos. Lo anterior implica que la metodología que se siguió fue más que satisfactoria dado que permitió que los valores de mortalidad obtenidos en respuesta a las dosis evaluadas manifestaron una excelente tendencia para obtener una línea de regresión dosis-mortalidad más que satisfactoria en la gran mayoría de las pruebas con productos solos y en mezcla con butóxido de piperonilo.

**Cuadro 4.4. Coeficientes de determinación y chi cuadrada de las líneas de regresión dosis mortalidad estimadas de diferentes insecticidas de adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo con sinergista.**

Tratamiento	Sustrato	$r^2$	$X^2$	GL.	P
Malation	Maíz	0.9981	0.05117	3	0.99
	Sorgo	0.9899	0.10686	3	0.99
Pirimifos metílico	Maíz	0.9823	0.01345	3	0.99
	Sorgo	0.9761	0.10719	3	0.99
Permetrina	Maíz	0.9517	0.45958	4	0.97
	Sorgo	0.9861	0.83104	4	0.90
Carbarilo	Maíz	0.9730	0.19869	2	0.90
	Sorgo	0.9623	0.16747	2	0.90
Lindano	Maíz	0.9926	0.21057	3	0.97
	Sorgo	0.9512	0.05068	3	0.99

En cuanto al valor de chi cuadrada ( $x^2$ ) en el Cuadro 4.3 los valores obtenidos fueron bajos lo que indica que tienen poca separación de la línea final de la dosis-mortalidad de la mortalidad observada, lo que permite señalar que los valores para estimar

probabilidad tendrá valores altos. Como se observa en el mismo Cuadro, por lo que respecta a número de dosis evaluadas en estos bioensayos fue en lo general de 5 a 6, lo que además del buen ajuste ya comentado permite que el nivel de confiabilidad sea muy alto por lo que la probabilidad de que se obtengan datos estadísticamente iguales a los presentados en este trabajo varió del 95 al 99 por ciento, incluso para el tratamiento de permetrina en sorgo con sólo cuatro dosis.

En relación al Cuadro 4.4 los valores de  $\chi^2$  presentaron una situación similar de valores bajos que permite buenos niveles de confiabilidad, a excepción del carbarilo que en ambos sustratos el número de dosis fue de cuatro, lo que permitió que en este caso el nivel de probabilidad sea del 90 por ciento, en caso de la permetrina que también mostró un 90 por ciento de probabilidad de ocurrencia del evento no se debe a un bajo número de dosis sino a un desajuste entre los datos de mortalidad observada y la línea de respuesta dosis-mortalidad, en el resto de los tratamientos el ajuste en cuanto a probabilidad fue excelente ya que varió del 97 al 99 por ciento. Lo anterior nos indica que no hay diferencia en estos resultados según sea el sustrato y el insecticida al compararlos con relación al sinergista en cuanto a  $r^2$  y  $\chi^2$ .

De acuerdo a los datos obtenidos de los picudos expuestos a insecticidas solos y a las mezclas de insecticida con el sinergista con respecto al DL50 de los dos casos se calculó el coeficiente de cotoxicidad. Así en el Cuadro 4.5 se puede observar que aunque la permetrina no presenta la mejor acción insecticida al mezclarse con el sinergista inhibe fuertemente las oxidasas que trabajan sobre los

**Cuadro 4.5. Coeficiente de Cotoxicidad en adultos de *Sitophilus zeamais* expuestos a insecticidas solos y con un sinergista (butóxido de piperonilo) desarrollados en maíz y sorgo.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Sustrato</b>	<b>DL50 μg/g</b>	<b>Coeficiente de cotoxicidad</b>
Malation	Maíz	14.5	
Malation + b.p.*	Maíz	6.1	2.37
Malation	Sorgo	12.3	
Malation + b.p.	Sorgo	5.7	2.15
Pirimifos metílico	Maíz	7.5	
Pirimifos met+b.p.	Maíz	2.04	3.60
Pirimifos metílico	Sorgo	5.5	
Pirimifos met+b.p.	Sorgo	2.07	2.65
Permetrina	Maíz	31.8	
Permetrina + b.p.	Maíz	1.29	24.65
Permetrina	Sorgo	34.4	
Permetrina + b.p.	Sorgo	0.97	35.46
Carbarilo	Maíz	194.3	
Carbarilo + b.p.	Maíz	50.45	3.85
Carbarilo	Sorgo	214.7	
Carbarilo + b.p.	Sorgo	49.20	4.36
Lindano	Maíz	13.8	
Lindano + b.p.	Maíz	8.40	1.64
Lindano	Sorgo	13.1	
Lindano + b.p.	Sorgo	4.70	2.78

\* Butóxido de piperonilo

piretroides, por lo que presentó el más alto coeficiente de cototoxicidad de 24.65x para maíz y 35.46x para sorgo, por lo que se requiere poca cantidad de insecticida para matar el 50 por ciento de la población, por el contrario se puede observar que la acción más pobre del sinergista fue con el lindano con un coeficiente de cototoxicidad de sólo 1.64x y 2.78x para maíz y sorgo respectivamente. Lo anterior puede deberse a que en forma ordinaria en los insectos como en otros organismos las oxidasas actúan fuertemente sobre los piretroides, pero la acción sobre los clorados es sumamente pobre. Como se puede observar con respecto a los inhibidores de colinesterasa como son los productos fosforados y carbámicos el grado de aumento de actividad por inhibición de oxidasas fue ligeramente mayor que en el caso del lindano cuya toxicidad varía en lo general de 2 a 4x.

En cuanto a la relación entre sustratos para los fosforados los insectos desarrollados en maíz presentaron un coeficiente de cototoxicidad más alto que los desarrollados en sorgo y para el resto de los productos se presentó lo contrario, los insectos desarrollados en sorgo mostraron un coeficiente de cototoxicidad más alto que los desarrollados en maíz. Lo anterior como ya se comentó, esto pudiera ser debido a que los insectos desarrollados en maíz propician más oxidasas que actúan sobre fosforados que es la causa que se requiera mayor dosis del producto para causar la DL50. Y caso contrario ocurre con el resto de los grupos toxicológicos con respecto al sorgo aunque las diferencias en lo general son bajas en cuanto a diferencias de efectividad al nivel del DL50 se refiere (Figura 4.1).

En la Figura 4.2 se presentan las líneas de regresión dosis-mortalidad para malation en relación con los sustratos alimenticios del insecto, como se puede apreciar a nivel del DL50 existió poca diferencia; más sin embargo, a nivel del DL95 si presenta una clara diferencia ya que se requirió una mayor dosis para matar a la población que se desarrolló en maíz, presentando a su vez una menor pendiente, en el caso del sorgo presentó una mayor pendiente. En el caso de la mezcla del tóxico con butóxido de piperonilo en los dos sustratos la posición de las líneas presentan una pendiente paralela es decir la población mantiene una respuesta parecida, pero al nivel del DL50 aunque se tiene una separación clara, estadísticamente fueron iguales las respuestas; cabe hacer notar que al nivel del DL95 para los picudos que provenían del sustrato sorgo fue un poco más bajo que para los provenientes de maíz. Además se puede observar que las líneas de la mezcla regresaron un poco al origen lo que nos comprueba una vez más la actividad del sinergista con este insecticida del grupo de los fosforados sobre las oxidasas microsómicas.

En la Figura 4.3 para el caso del pirimifos metílico otro producto fosforado, observamos que las cuatro líneas tanto del producto solo como las de la mezcla presentaron casi la misma tendencia aunque se puede ver que la línea de la mezcla del sustrato sorgo presentó una línea con menor pendiente es decir con ligera tendencia a la horizontalidad en comparación con la de maíz, esto nos indica que esta población presentó una respuesta ligeramente más heterogénea a este tóxico. En cuanto a las líneas de mezcla de tóxico con sinergista la línea de respuesta al sustrato maíz tiende a ser más vertical lo que pudiera implicar una inhibición más fuerte de las enzimas detoxificativas de tipo

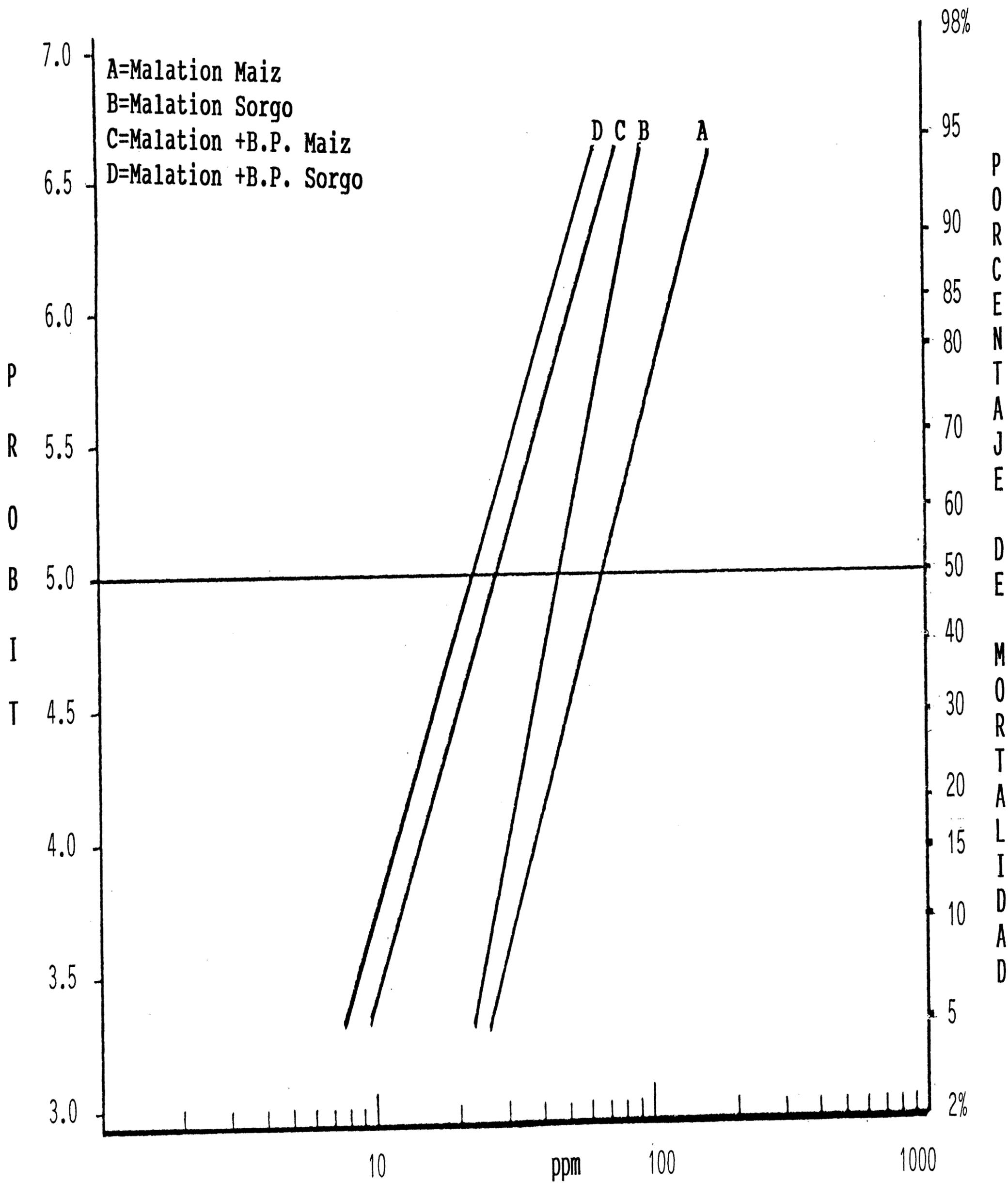


Figura 4.2 Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para malation y malation mas butóxido de piperonilo en adultos de Sitophilus zeamais Motsch desarrollados en maíz y sorgo.

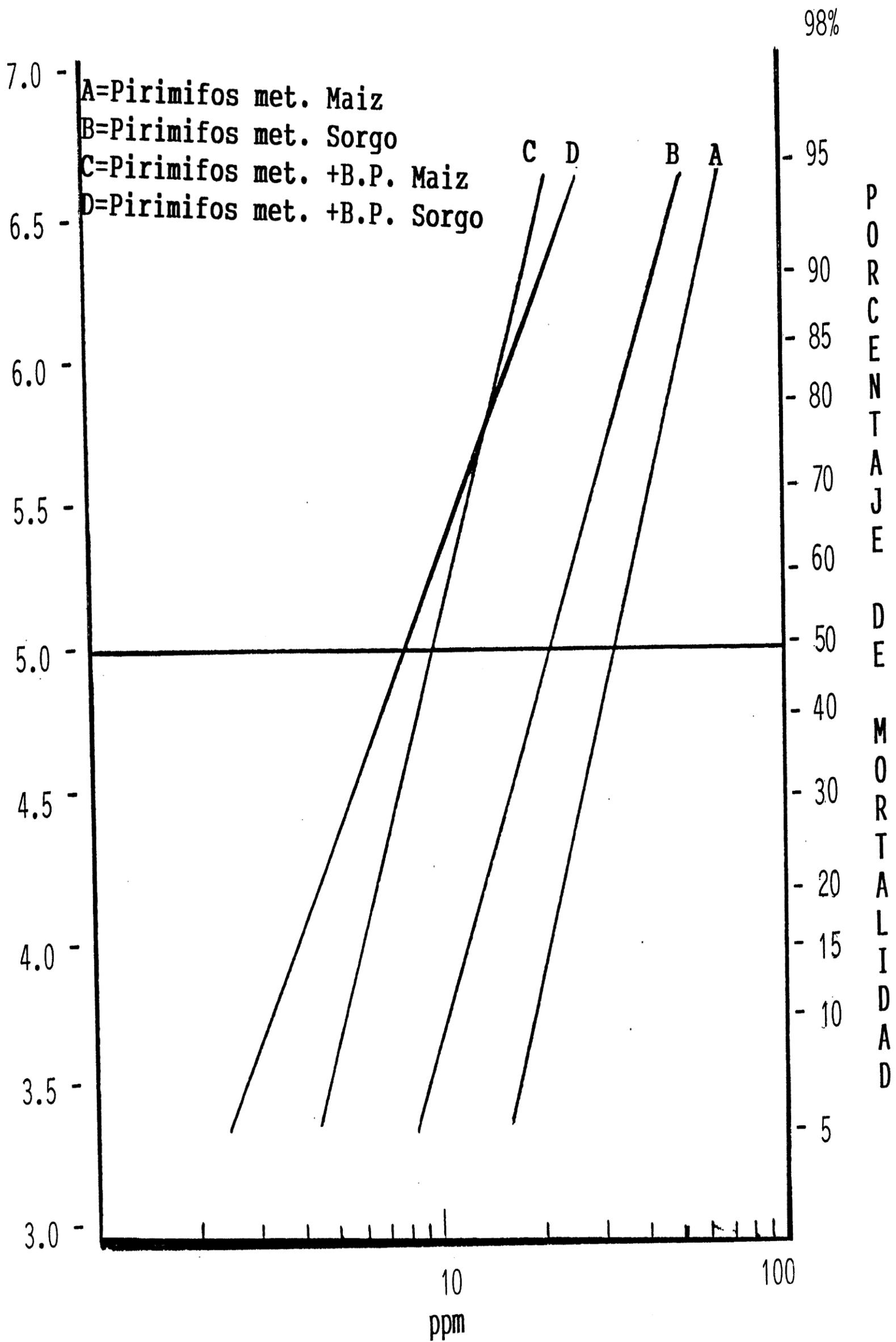


Figura 4.3 Línea de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para pirimifos metilico y pirimifos metilico mas butóxido de piperonilo en adultos de Sitophilus zeamais Motsch desarrollados en maíz y sorgo.

oxidativo, aunque no se descarta que dicha respuesta obedezca más a un efecto al azar a la hora de seleccionar los insectos para el bioensayo, en lo general se puede observar la pequeña cantidad que se utilizó de tóxico en las líneas de la mezcla con el sinergista y una ligera acción como sinergista.

Al utilizar la permetrina (piretroide), se puede observar en la Figura 4.4 que existió una mínima diferencia entre los niveles de DL50 entre los sustratos sin el sinergista, en tanto que en las líneas de la mezcla con el sinergista, aunque ligera la diferencia es clara al nivel de la dosis letal media, pero cabe señalar la gran distancia que existe entre las líneas sin y con el butóxido, ya que las líneas de la mezcla regresaron notoriamente al origen, si bien la tendencia entre estas líneas se puede decir que es casi paralela, cabe mencionar que la tendencia que muestran estas líneas de regresar al origen es el efecto de utilizar el sinergista butóxido de piperonilo, al inhibir las oxidasas, además resulta notorio que la inhibición mayor de enzimas fue para los insectos que provienen del sustrato sorgo.

Para el caso del carbarilo en la Figura 4.5 se puede observar la gran cantidad de tóxico que se requirió para matar tanto al 50 como al 95 por ciento de la población, en cuanto a la tendencia de las líneas del producto solo, no existió diferencia al nivel del DL50 más sin embargo si existió una pequeña diferencia al nivel del DL95 ya que la población del sorgo requirió una cantidad un poco mayor para matar al 95 por ciento de la población; aunque debido a la gran relación de la respuesta puede ser mas bien situación del azar. Como se puede observar en las líneas de la mezcla es notoria también la reducción del

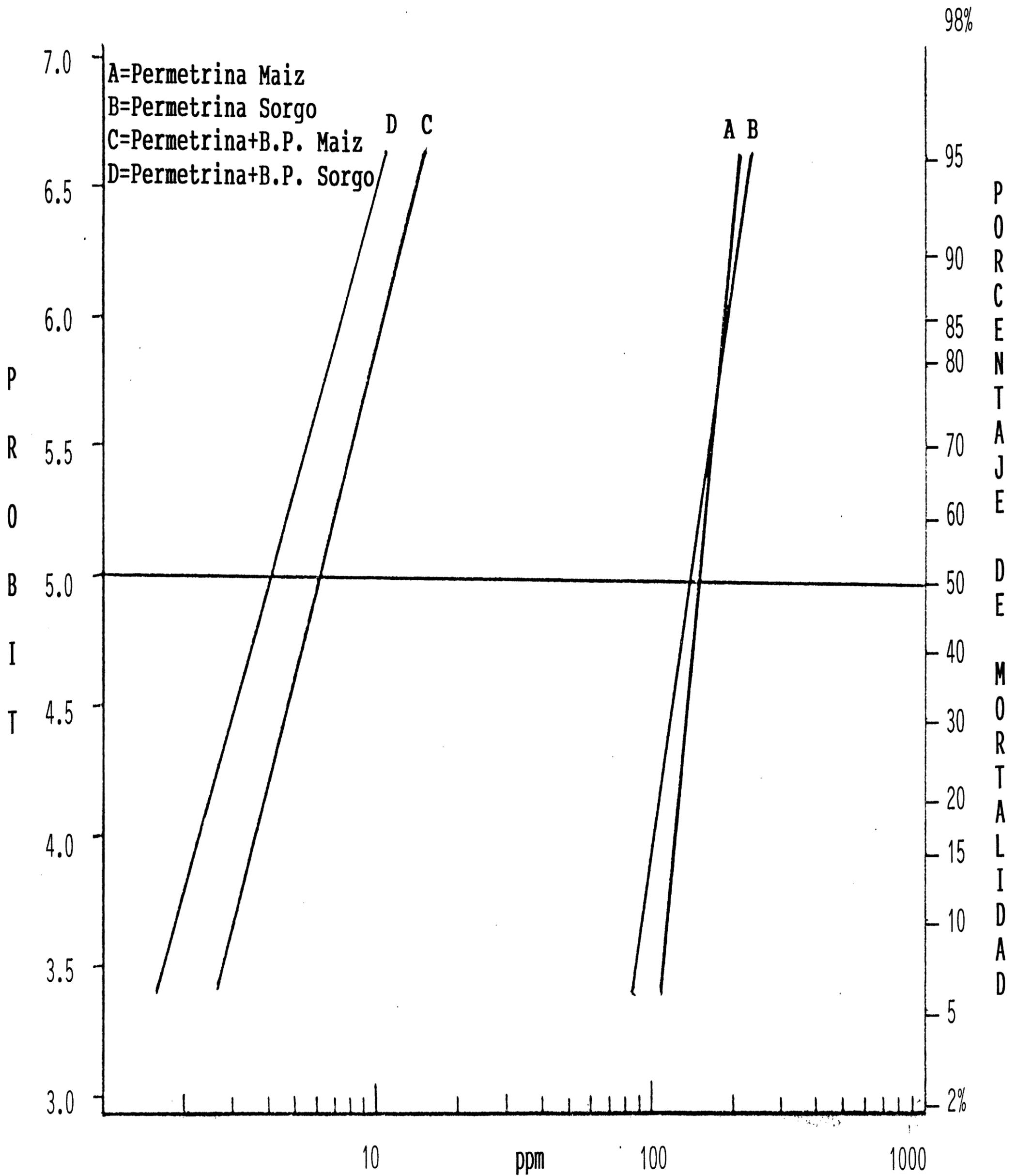


Figura 4.4 Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para permetrina y permetrina mas butóxido de piperonilo en adultos de Sitophilus zeamais Motsch desarrollados en maíz y sorgo.

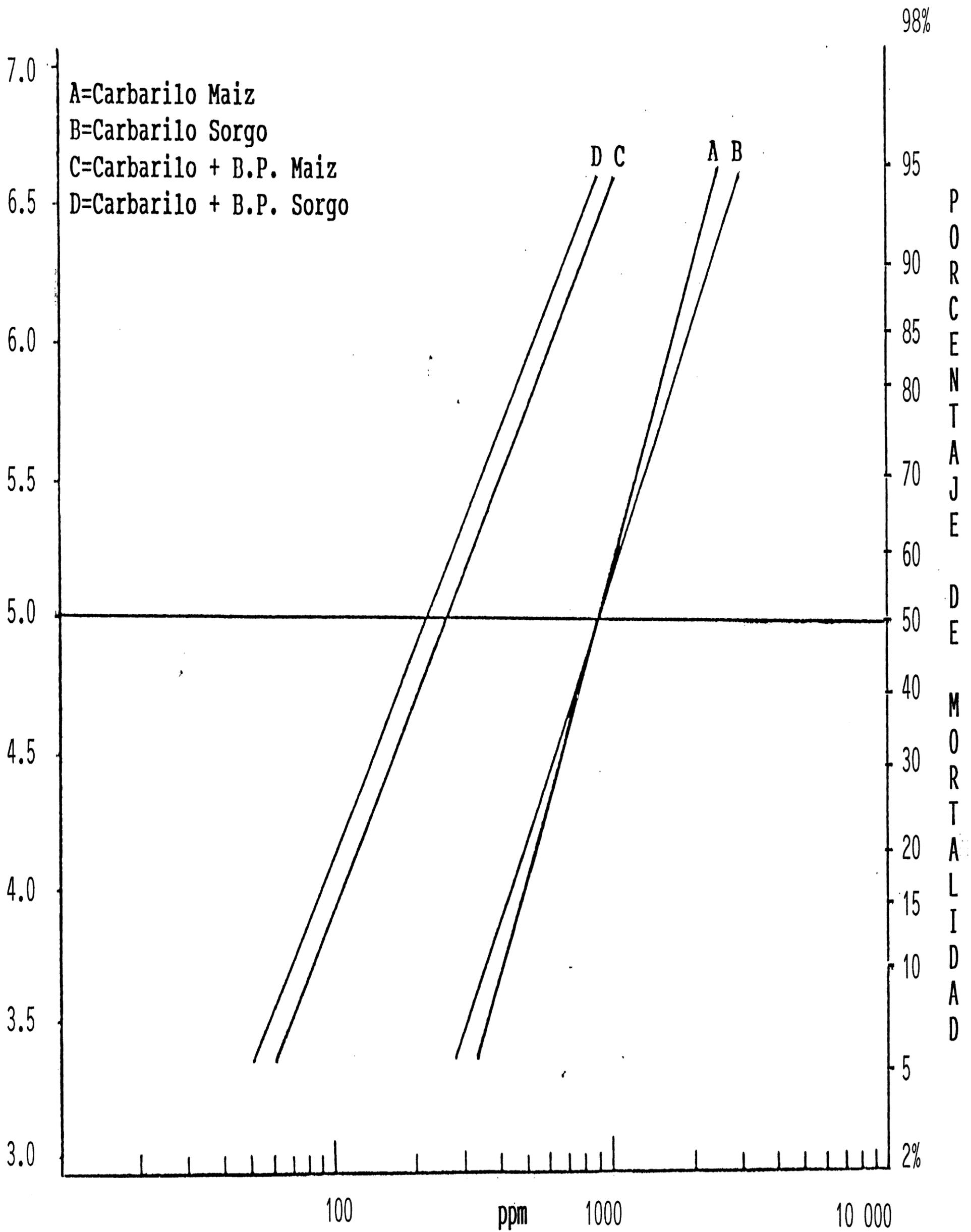


Figura 4.5 Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para carbarilo y carbarilo mas butóxido de piperonilo en adultos de Sitophilus zeamais Motsch desarrollados en maíz y sorgo.

tóxico al utilizar el sinergista, aunque en cuanto a la tendencia de las líneas de la mezcla tendieron un poco más a la horizontalidad.

Como se puede observar en la Figura 4.6 para el caso del lindano si es muy notoria la diferencia entre la línea del sustrato maíz por su tendencia a la horizontalidad en comparación con las otras líneas que mantuvieron una tendencia parecida, esto nos dice que esta población desarrollada en maíz presentó una mayor tendencia a la heterogeneidad quizá debido a que propició la presencia de enzimas que favorecen una mayor degradación de este clorado y por ende mayor necesidad de tóxico para matar niveles altos de la población, razón por la cual a su vez la respuesta en la línea de la mezcla con el sinergista se torna más vertical. En términos generales es poca la acción sinérgica para este insecticida.

En la Figura 4.7 se tiene una vista completa de todas las líneas de regresión dosis-mortalidad y se puede establecer una mejor comparación en la tendencia de las líneas, en donde destacan por su posición la línea del lindano maíz que tendió más a la horizontalidad, también se puede apreciar claramente en el extremo más alejado al origen las líneas correspondientes al carbarilo en ambos sustratos ya que fue este producto el que requirió más tóxico para matar tanto al 50 como al 95 por ciento. En el extremo opuesto podemos observar que destacan cuatro líneas que tienden a acercarse al origen, que son las correspondientes a la mezcla de permetrina más butóxido de piperonilo y pirimifos metílico en ambos sustratos.

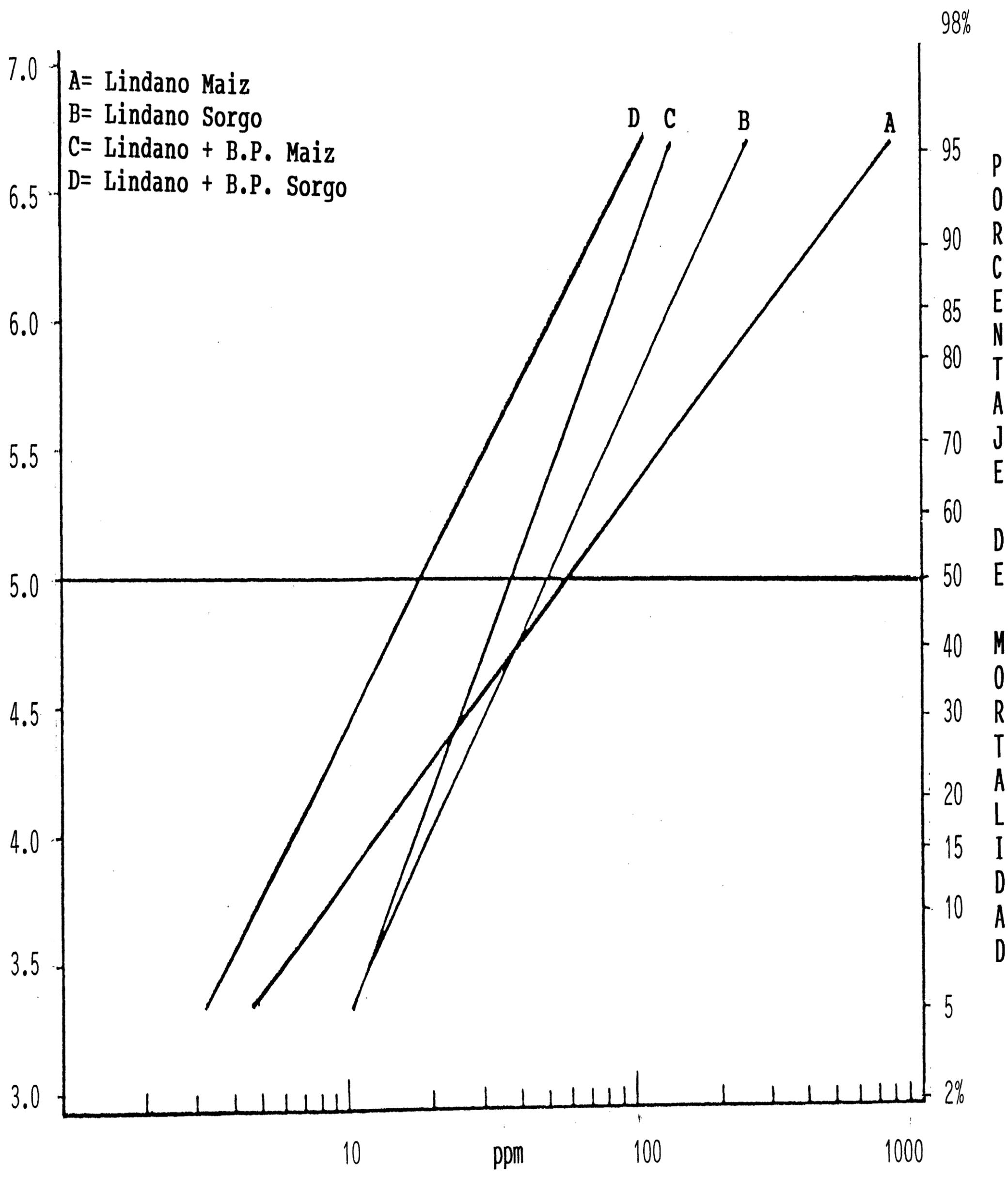


Figura 4.6 Líneas de respuesta dosis-mortalidad determinadas en laboratorio para lindano y lindano mas butóxido de piperonilo en adultos de Sitophilus zeamais Motsch desarrollados en maíz y sorgo.

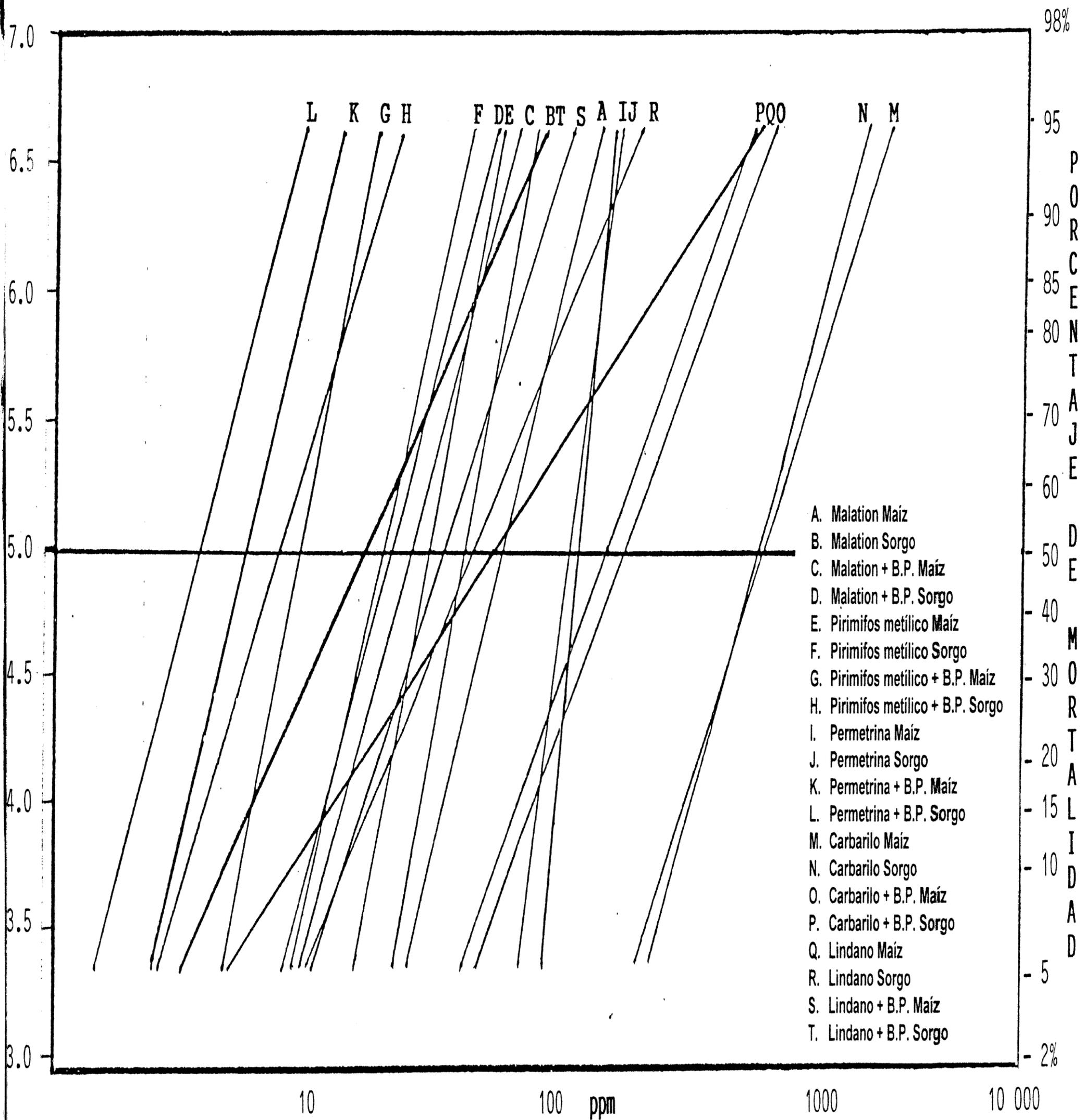


Figura 4.7 Líneas de respuesta dosis-mortalidad en adultos de *Sitophilus zeamais* Motsch a diferentes insecticidas solos y en mezcla con butóxido de piperonilo desarrollados en maíz y sorgo.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

En la evaluación de adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz a los diferentes insecticidas solos, éstos mostraron mayor susceptibilidad de acuerdo al grupo toxicológico según su DL50 en el siguiente orden: fosforados (pirimifos metílico 7.5 µg/g), clorados (lindano 13.8 µg/g), fosforados (malation 14.5 µg/g), piretroides (permetrina 31.8 µg/g), carbámicos (carbarilo 194.3 µg/g).

Para los desarrollados en sorgo fue el siguiente orden: pirimifos metílico (5.5 µg/g), malation (12.3 µg/g), lindano (13.1 µg/g), permetrina (34.4 µg/g) y carbarilo (214.7 µg/g).

En cuanto a la respuesta de este insecto a la acción de oxidasas microsómicas, se observó que ésta fue mayor cuando el insecto se desarrolló en el sustrato maíz, ya que se requirió mayor cantidad de tóxico para obtener el DL50 ya mencionado en el párrafo anterior, resultando lo contrario en los otros grupos de insecticidas.

Con respecto a la proporción sinérgica, ésta fue mayor para la mezcla de la permetrina con el sinérgico butóxido de piperonilo con los siguientes valores: 35x y 24x para los dos sustratos sorgo y maíz

respectivamente. Siguiéndole la mezcla del carbarilo y el sinergista en sorgo con 4.36x y para maíz 3.85x, el sinergismo más bajo fue para la mezcla de lindano en maíz con 1.64x y para la misma mezcla en sorgo fue de 2.78x.

## RESUMEN

Tomando en cuenta el grave problema que se ha generado con el uso inadecuado de los plaguicidas y que ha causado desarrollo de resistencia de diferentes plagas, se han realizado diferentes tipos de estudios para encontrar medidas de control más adecuadas, como es el caso de la influencia del sustrato alimenticio sobre la respuesta de una población a un insecticida y el uso de sinergistas.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Teniendo como objetivo evaluar la susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* a insecticidas de diferente grupo toxicológico, solos y en combinación con un sinergista cuando se han desarrollado en dos sustratos.

El material biológico utilizado en esta investigación se colectó en un muestreo realizado en maíz criollo en la ciudad de Saltillo, Coahuila y fueron colocados en dos sustratos maíz y sorgo, puestos después en una cámara de cría a una temperatura de  $27 \pm 2$  °C y una humedad relativa de 70 por ciento, los bioensayos fueron realizados con insectos

desarrollados sobre los dos sustratos. Se evaluaron cinco insecticidas de formulación comercial pertenecientes a cuatro grupos toxicológicos diferentes y un sinergista a saber: malation, pirimifos metílico, lindano, carbarilo, permetrina y el sinergista butóxido de piperonilo. El método de bioensayo utilizado fue el de aplicación tópica, se utilizaron de seis a siete dosis por cada tóxico, se utilizaron como solventes la acetona y el metanol solo en el caso del carbarilo. A las 24 horas se registró la mortalidad y el porcentaje de mortalidad se corrigió mediante la fórmula de Abbot cuando la mortalidad en el testigo fue menor a 15 por ciento. El análisis de cada bioensayo se realizó por medio de un programa computarizado para Probit, los resultados obtenidos fueron la ecuación de predicción, DL50, DL95, límites fiduciales y la línea de respuesta dosis-mortalidad, además se estimó el valor de chi cuadrada ( $X^2$ ) para cada serie de datos, la correlación de la regresión  $r^2$ , y el coeficiente de cotoxicidad. De acuerdo a características del sistema sólo los datos de DL50, límites fiduciales, DL95 y coeficiente de cotoxicidad se transformaron directamente a microgramos por gramo.

Con respecto a la dosis letal media de los insecticidas evaluados, se encontró que el insecto resultó ser más susceptible a los productos del grupo de los fosforados, para el pirimifos metílico requirió sólo 7.5  $\mu\text{g/g}$  para individuos desarrollados en maíz y 5.5  $\mu\text{g/g}$  para los desarrollados en sorgo; mientras que para el malation el otro fosforado se obtuvieron valores de DL50 de 14.5  $\mu\text{g/g}$  y 12.3  $\mu\text{g/g}$  para los insectos

desarrollados en sorgo; mientras que para el malation el otro fosforado se obtuvieron valores de DL50 de  $14.5 \mu\text{g/g}$  y  $12.3 \mu\text{g/g}$  para los insectos provenientes de maíz y sorgo respectivamente, en cuanto al producto del grupo de los clorados, el lindano la DL50 para ambos sustratos fue de  $13.8$  y  $13.1 \mu\text{g/g}$  respectivamente, para la permetrina las dosis requeridas fueron de  $31.8$  y  $34.4 \mu\text{g/g}$  solo que a la inversa el primer valor para insectos provenientes de sorgo y el segundo para los desarrollados en maíz presentándose en el caso del carbarilo mayor tolerancia, ya que se requirieron  $194$  y  $214 \mu\text{g/g}$  para adultos desarrollados en sorgo y maíz respectivamente. En cuanto al uso de la mezcla del insecticida con el sinergista se observó que al utilizar la permetrina y el butóxido de piperonilo se requirieron solo  $1.29$  y  $0.97 \mu\text{g/g}$  para matar el 50 por ciento de las poblaciones desarrolladas en maíz y sorgo respectivamente, seguida por la mezcla del pirimifos metílico y el sinergista las DL50 fueron de  $2.04$  y  $2.07 \mu\text{g/g}$  para los picudos provenientes de maíz y sorgo respectivamente, para el producto del grupo de los clorados, la mezcla del lindano en el caso del sorgo requirió de  $4.70 \mu\text{g/g}$  y para el maíz de  $8.40 \mu\text{g/g}$ , para la mezcla del malation y el sinergista las DL50 obtenidas fueron de  $5.7$  y  $6.1 \mu\text{g/g}$  para insectos provenientes de maíz y sorgo respectivamente, en tanto que para carbarilo y butóxido se requirió de  $50.45$  y  $49.20 \mu\text{g/g}$  para los adultos alimentados en maíz y sorgo respectivamente.

Con respecto al DL95 ésta presentó una tendencia normal a aumentar de dos a tres veces en comparación al DL50 aunque en el caso del lindano fue mayor y en el de la permetrina un poco menor.

En cuanto al coeficiente de cotoxicidad la mezcla de permetrina y butóxido de piperonilo presentó el más alto coeficiente de cotoxicidad de 24.65x para maíz y 35.46x para sorgo y el menor fue para el lindano con un coeficiente de cotoxicidad de 1.64x y 2.78 para maíz y sorgo respectivamente.

## LITERATURA CITADA

- Arenas L., C. y H. Sánchez A. 1988. DL50 de siete insecticidas de diferentes grupos toxicológicos aplicados a *S. zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae). Memorias del XXIII Congreso Nacional de Entomología. Morelia, Mich. p. 233.
- Ball, H. J. 1981. Insecticide resistance a practical assessment. Entomological Soc. of America. 27 (4):261-262. U.S.A.
- Barberá, C. 1976. Pesticidas agrícolas. Ed. Omega. Barcelona, España. 569 p.
- Berry, R. E., S. J. Yu and L. C. Terriere. 1980. Influence of host plants on insecticide metabolism and management of variegated cutworm. J. Econ. Entomol. 73:771-774. U.S.A.
- Bond, E. J. 1973. Chemical control of stored grain. Insects and mites. Grain storage part of a system. Sinha Muir. The Avi Publishing Co. USA. Cap.6 p. 137-179.
- Borror, D. J., D. M. DeLong and Ch. A. Triplehorn. 1989. An introduction to the study of insects. Sixth ed. Saunders College Pub. Philadelphia. U.S.A. 875p.
- Boudreaux, H. B. 1969. The identity of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 62 (1): 169-172.
- Brattsten, L. B. and C. F. Wilkinson. 1977. Herbivore plant interactions: Mixed-function oxidases and secondary plant substances. Sci. 196: 1349-1352. U.S.A.
- Brattsten, L. B. 1989. Insecticide resistance: Research and management. Pestic. Sci. 26: 329-332. U.S.A.
- Brown, A. W. 1960. Mechanisms of resistance against insecticides. Ann. Rev. Entomol. 5: 301-319. U.S.A.
- Brown, G. A., J. H. Brower and E. W. Tilton. 1972. Gamma radiation effects on *Sitophilus zeamais* and *S. granarius*. J. Econ. Entomol. 65 (1): 203-205. U.S.A.

- Carter, S. W.; P. R. Chadwick and J. C. Wickham. 1975. Comparative observations on the activity of pyrethroids against some susceptible and resistant stored products beetles. *J. Stored Prod. Res.* 2: 135-142. U.S.A.
- Casida, J. E. 1970. Mixed function oxidase involvement in the biochemistry of insecticide synergists. *J. Agr. Food Chem.* 18 (5): 753-772. U.S.A.
- CICOPLAFEST, 1994. Catálogo oficial de plaguicidas 1994. SARH, S. S., SECOFIN. México. 481p.
- Coombs, C. W. 1972. The interpretation of experiments assessing the susceptibility of stored cereals to attack by *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 8:81-82. U.S.A.
- Cremllyn, R. J. 1982. Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Edit. LIMUSA. Mexico. 356p.
- Chaddick, P. R. and F. Leek. 1972. Further specimens of stored products insects found in ancient egyptian tombs. *J. Stored Prod. Res.* 8:83-86. U.S.A.
- Champ, B. R. 1967. The inheritance of DDT resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in Queensland. *J. Stored Prod. Res.* 3: 321-334. U.S.A.
- Champ, B. R. and J. N. Cribb. 1965. Lindano resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) in Queensland. *J. Stored Prod. Res.* 1:9-24. U.S.A.
- Champ, B. R. and C. E. Dyte. 1976. Informe de la prospección mundial de la FAO sobre susceptibilidad a los insecticidas de las plagas de granos almacenados. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma Italia. 336 p.
- De Faz, F. C. A. 1983. Principios de protección de plantas. Edit. Científica Técnica. La Habana, Cuba. 600p.
- De Lima, C. P. F. 1972. Lindane resistance in field strains of *Sitophilus zeamais* Motsch. in Kenya. *J. Stored Prod. Res.* 8 (3):167-175. U.S.A.
- Devonshire, A. L. 1990. Biochemical and molecular genetic analysis of insect populations resistant to insecticides. *Pest and Diseases. Brighton Crop. Protection Conference.* p. 889-896.
- Dyte, C. E. and D. G. Blackman. 1972. Laboratory evaluation of organophosphorus insecticides against susceptible and malathion resistant strains of *Tribolium castaneum* (Herbst)

Coleoptera: Tenebrionidae). J. Stored Prod. Res. 8: 103-109. Elliot, M. N., N. F.

Janes and C. Potter. 1978. The future of pyrethroids in insect control. Ann. Rev. Entomol. 23:443-469. U.S.A.

Floyd, E. H. and L. D. Newson 1959. Biological study of the rice weevil complex. Ann. Entomol. Soc. Am. 52:687-695. U.S.A.

García, R. I. 1992. Susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos de tres áreas de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Inst. de Ciencia y Cultura. División de Ciencias Biológicas. Saltillo, Coahuila. 54 p.

Georghiou, G. P. 1962. Carbamate insecticides: toxic action of synergized carbamates against twelve resistant strains of the housefly. J. Econ. Entomol. 55(5):768-772. U.S.A.

Georghiou, G. P. 1965. Genetic studies on insecticide resistance. Adv. Pest Control Res. 6:171-230.

Grenier, A. M., B. Pintureau and P. Nardon. 1994.- Enzymatic variability in three species of *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae) J. Stored Prod. Res. 30 (3):201-213. U.S.A.

Haliscak, J. P. and R. W. Beeman. 1983. Status of malation resistance in five genera of beetles infesting farm stored corn, wheat and oats in the United States. J. Econom. Entomol. 76:717-722.

Hama, H. 1983. Resistance to insecticides due to reduced sensitivity acetylcholinesterase. In: Georghiou, G. P. and T. Saito Eds. Pest Resistance to Pesticides. Plenum Press New York. USA. p. 333-366.

Incho, H. H. and H. Greenberg. 1952. Synergistic effect of pyperonil butoxide with the active principles of pyrethrum and with allethrolone esters of chrysanthemum acids. J. Econ. Entomol. 45(5):794-799. U.S.A.

Kiritani, K. 1965. Biological studies on the *Sitophilus* complex (Coleoptera: Curculionidae) in Japan. J. Stored Prod. Res. 1:169-176.

Lagunes, T. A. y J. A. Villanueva. 1994. Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 264 p.

Lemon, R. W. 1967. Laboratory evaluation of some additional organophosphorus insecticides against stored product beetles. J. Stored Prod. Res. 3:283-287.

- Maceljski, M. and Z. Korunic. 1973. Contribution to the morfology and ecology of *Sitophilus zeamais* Motsch. in Yugoslavia. J. Stored. Prod. Res. 9:225-234.
- Martin, H. (Ed.) 1971. Pesticide Manual British Crop. Protection Council. 495p.
- Matsumura, F. 1985. Toxicology of insecticides. 2 edit. Plenum Press. New york USA. 598p.
- Medrano, J. R. M. 1989. Infestación y período crítico de ataque en campo de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) en cinco municipios del estado de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Univ. Aut. Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila. 54 p.
- Mersch Van der, Ch. 1985. Plaguicidas utilizados para la protección de granos y productos almacenados. Curso de orientación para el buen uso y manejo de plaguicidas. Asoc. Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes, A. C. 374 p.
- Metcalf, R. L. 1967. Mode of action of insecticide synergists. Ann. Rev. Entomol. 12:229-256. U. S. A.
- Metcalf, R. L. y W. P. Flint. 1982. Insectos destructivos e insectos utiles, sus costumbres y su control. Edit. CECOSA, México. 1208 p.
- Miller, T. A., L. Salgado V. and S. N. Irving. 1983. The kdr factor in pyrethroid resistance. In: Pest resistance to pesticides. G. P. Georghiou and T. Saito. Eds. Plenum Press0 New York. U.S.A. p. 353-366.
- Montes, C. J. 1985. Insecticidas carbámicos. Curso de orientación para el buen uso y manejo de plaguicidas. Asoc. Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes. A. C. 374p.
- Morrison, E. O. 1964. The effect of particle size of shorgum grain on development of the weevil *Sitophilus zeamais*. J. Econ. Entomol. 57(3):390-391. U. S. A.
- Muñoz, G. R. 1985. Insecticidas piretroides. Curso de orientación para el buen uso y manejo de plaguicidas. Asoc. Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes. A. C. 374 p.
- Nájera, R. M. 1991. Ecología y control del barrenador de los granos *Prostephanus truncatus* en el centro de Jalisco. INIFAP Publicación especial No. 5. México.

- Narahashi, T. 1983. Resistance to insecticides due to reduced sensitivity of the nervous system. In: Georghiou G. P. and T. Saito eds. Pest resistance to pesticides. Plenum Press New York USA. p. 333-366.
- Parkin, E. A. 1965. The onset of insecticide resistance among field populations of stored products insects. J. Stored Prod. Res. 1:3-8.
- Pérez, M. J. 1988. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) de varias localidades de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 142 pp.
- Pérez, M. J. 1993. Susceptibilidad a insecticidas en tres poblaciones del picudo del maíz. *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) en tres estados de México. Memorias del XXVIII Congreso Nal. de Entomología. Soc. Mexicana de Entomología. Cholula, Puebla. p. 193-194.
- Plapp, F. W. 1976. Biochemical genetics of insecticide resistance. Ann. Rev. Entomol. 21:179-197. U. S. A.
- Price, N. R. 1991. Insect resistance to insecticides:Mechanisms and diagnosis. Comp. Biochem. Physiol. 100 (3):319-326.
- Ramírez, G. M. 1966. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Ed. CECSA, México. 300 p.
- Ramírez, M. M. 1990. Biología y hábitos de insectos de granos almacenados. Curso sobre Insectos de Granos y Semillas de almacén. Aguascalientes, Ags. México. p. 1-51.
- Ramírez, M.M., J. A. Gonzalez, J.J. Olmos y J. M Márquez. 1993. Entomofauna en los sistemas de almacenamiento de maíz y sorgo de San Juan de los Lagos, Jal. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Entomología. Soc.Mexicana de Entomología. Cholula, Puebla. p.366.
- Samson, P. R., R. J. Parker and E. A. Hall. 1990. Synergized delthamethrin as a protectant against *Sitophilus zeamais* Motsch and *S. oryzae* (L.) (Coleoptera:Curculionidae) on stored maize. J. Stored Prod. Res. 26(3):155-161.
- Sedlacek, J. D., R. J. Barney and M. Siddiqui. 1991. Effect of several management tactics on adult mortality and progeny production of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae) on stored corn in the laboratory. J. Econ. Entomol. 84(3):1041-1046. U. S. A.

- Sittig, M. (Ed.) 1980. Pesticide manufacturing and toxic materials control Encyclopedia. Noyes Data Corp. U. S. A. 810 p.
- Solomon, M. E. 1965. Archeological records of storage pests: *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera:Curculionidae) from an egyptian pyramid tomb. J. Stored Prod. Res. 1:105-107.
- Stadler, T., M. I. Picollo, y E. N. Zerba. 1990. Factores ecofisiológicos relacionados con la susceptibilidad a insecticidas y la resistencia a malation en *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera:Curculionidae). Boletín San. Veg. Plagas Argentina. 16:743-754.
- Storey, C. L.; D. B. Sauer, O. Ecker and D. W. Fulk. 1982. Insect infestation in wheat and corn exported from the United States. J. Econ. Entomol. 75:827-832. U.S.A. Terriere, L.C. 1984. Induction of detoxication enzymes in insects. Ann. Rev. Entomol. 29:71-88. U.S.A.
- Urrelo, R. and V. F. Wright. 1989. Development and behavior of immature stages of the maize weevil (Coleoptera:Curculionidae) within kernels of resistant and susceptible maize. Ann. of the Entomol. Soc. of Am. 82(6):712-716. U. S. A.
- Wachs, H. 1947. Synergistic insecticides. Sci. 105(2733):530. Wahla, M. A., R. G. Gibbs and J. B. Ford. 1976. Diazinon poisoning in large white butterfly larvae and the influence of sesamex and pyperonil butoxide. Pestic. Sci. 7:367-371.
- Walgenbach, C. A. and W. E. Burkholder. 1987. Mating behavior of the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 80:578-583. U. S. A.
- Ware, G. W. 1960. The penetration of pyperonil butoxide as a synergist and as an antagonist in *Musca domestica* L. J. Econ. Entomol. 53 (1):14-16. U. S. A.
- Weaving, S. J. A. 1970. Susceptibility of some bruchid beetles of stored pulses to powders containing pyrethrins and pyperonil butoxide. J. Stored Prod. Res. 6:71-77.
- Wilkinson, C. F. 1983. Role of mixed function oxidases in insecticide resistance. In :Georghiou G. P. and T. Saito Eds. Pest Resistance to Pesticides. Plenum Press New York. p.175-205. U. S. A.
- Williams, R. N. and E. H. Floyd. 1970. Flight habits of the maize weevil *Sitophilus zeamais*. J. Econ. Entomol. 63(5):1585-1588.

Wilson, S. Ch. 1949. Pyperonil butoxide, pyperonil cyclonene, and pyrethrum applied to selected parts of individual flies. J. Econ. Entomol. 42:423-428. U.S.A.

Yasutomi, K. 1983. Role of detoxification esterases in insecticides resistance. In: Georghiou G. P. and T. Saito. Eds. Pest Resistance to Pesticides. Plenum Press New York. USA. p.249-263.

# APPENDICE

**Cuadro A.1. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a malation.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de mortalidad
20	4.54	30	1	3
40	9.09	30	5	16
60	13.63	30	12	40
70	15.90	30	15	50
80	18.18	30	18	60
90	20.45	30	22	73

**Cuadro A.2. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a malation.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
20	5.26	30	5	13*
40	10.52	30	15	48
60	15.78	30	18	58
70	18.42	30	25	82
80	21.05	30	28	92

\* Por Abbott

**Cuadro A.3. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a malation + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
5	1.13	30	2	3*
10	2.27	30	4	7
20	4.54	30	10	31
40	9.09	30	20	65
60	13.63	30	28	93

\* Por Abbott

**Cuadro A.4. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a malation + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
5	1.31	30	4	7*
10	2.63	30	6	15
20	5.26	30	12	36
40	10.52	30	25	82
60	15.78	30	29	95

\* Por Abbott

**Cuadro A.5. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a pirimifos metílico.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de mortalidad
15	3.40	30	3	10
20	4.54	30	4	13
30	6.81	30	5	17
40	9.09	30	10	33
50	11.36	30	26	86
60	13.63	30	29	97

**Cuadro A.6. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a pirimifos metílico.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de mortalidad
15	3.94	30	6	20
20	4.54	30	16	53
30	7.89	30	22	73
40	10.52	30	27	90
50	13.15	30	28	93

**Cuadro A.7. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a pirimifos metílico + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de mortalidad
5	1.13	30	3	10
10	2.27	30	15	50
13	2.95	30	22	73
15	3.40	30	26	86
20	4.54	30	29	96

**Cuadro A.8. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a pirimifos metílico + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
5	1.31	30	10	30*
10	2.63	30	16	51
13	3.42	30	24	79
15	3.94	30	26	85
20	4.54	30	28	92

\* Por Abbott

**Cuadro A.9. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a permetrina.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de mortalidad
120	27.27	30	5	16
130	29.54	30	12	40
140	31.81	30	18	60
160	36.36	30	25	83
180	40.90	30	26	86
200	45.45	30	29	96

**Cuadro A.10. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a permetrina.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
120	31.57	30	7	18*
140	36.84	30	15	46
150	39.47	30	21	68
160	42.10	30	26	86

\* Por Abbott

**Cuadro A.11. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a permetrina + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
0.5	0.11	30	4	3*
1.0	0.22	30	5	7
3.0	0.68	30	8	18
5.0	1.13	30	10	26
6.0	1.36	30	15	44
7.0	1.59	30	25	81

\* Por Abbott

**Cuadro A.12. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a permetrina + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
0.5	0.13	30	8	24*
1.0	0.26	30	10	31
3.0	0.78	30	13	41
5.0	1.31	30	18	58
6.0	1.57	30	23	75
7.0	1.84	30	29	95

\* Por Abbott

**Cuadro A.13. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a carbarilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
200	45.45	30	3	7*
300	68.18	30	4	10
500	113.63	30	5	13
700	159.09	30	14	44
1000	227.27	30	16	51
1500	340.90	30	24	79
2000	454.54	30	29	95

**Cuadro A.14. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a carbarilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
200	52.63	30	2	3*
300	78.94	30	3	7
500	131.57	30	6	17
700	184.21	30	12	38
1000	263.15	30	18	58
1500	394.73	30	27	89

\* Por Abbott

**Cuadro A.15. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a carbarilo + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
100	22.72	30	7	18*
300	68.18	30	9	25
500	113.63	30	25	81
700	159.09	30	28	92

\* Por Abbott

**Cuadro A.16. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a carbarilo + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
100	26.31	30	8	23*
300	78.94	30	10	30
500	131.57	30	27	89
700	184.21	30	28	92

\* Por Abbott

**Cuadro A.17. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a lindano.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
25	5.68	30	10	31*
50	11.36	30	14	44
100	22.72	30	18	58
200	45.45	30	20	65
300	68.18	30	26	86
400	90.90	30	27	89

\* Por Abbott

**Cuadro A.18. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a lindano.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
30	7.89	30	8	21*
50	13.15	30	18	57
100	26.31	30	25	82
200	52.63	30	28	89
300	78.94	30	29	95

\* Por Abbott

**Cuadro A.19. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz expuestos a lindano + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
10	2.27	30	10	28*
30	6.81	30	14	42
60	13.63	30	20	64
120	27.27	30	29	95

\* Por Abbott

**Cuadro A.20. Datos obtenidos en laboratorio para *Sitophilus zeamais* desarrollados en sorgo expuestos a lindano + butóxido de piperonilo.**

ppm	µg/g	No. de Individuos	Individuos muertos	% de Mort. corregida
10	2.63	30	10	28*
20	5.26	30	17	54
30	7.89	30	22	72
60	15.78	30	25	82
90	23.68	30	29	95

\* Por Abbott

**Cuadro A.21. Ecuaciones de predicción de las diferentes líneas de regresión dosis-mortalidad de *Sitophilus zeamais* desarrolladas en maíz y sorgo en laboratorio.**

Tratamiento	Ecuación de Predicción
Malation - Maíz	$Y_A = -2.27 + 3.96X$
Malation - Sorgo	$Y_B = -3.83 + 5.27X$
Malation + b.p.- Maíz	$Y_C = -0.12 + 3.55X$
Malation + b.p.- Sorgo	$Y_D = 0.10 + 3.61X$
Pirimifos met. - Maíz	$Y_A = -3.07 + 5.29X$
Pirimifos met. - Sorgo	$Y_B = -0.82 + 4.38X$
Pirimifos met. + b.p. Maíz	$Y_C = 0.01 + 5.12X$
Pirimifos met. + b.p. Sorgo	$Y_D = 2.04 + 3.29X$
Permetrina - Maíz	$Y_A = -10.95 + 7.55X$
Permetrina - Sorgo	$Y_B = -11.17 + 7.62X$
Permetrina + b.p.- Maíz	$Y_C = 1.77 + 4.25X$
Permetrina + b.p.- Sorgo	$Y_D = 2.76 + 3.90X$
Carbarilo - Maíz	$Y_A = -4.10 + 3.11X$
Carbarilo - Sorgo	$Y_B = -5.67 + 3.66X$
Carbarilo + b.p.- Maíz	$Y_C = -1.26 + 2.66X$
Carbarilo + b.p.- Sorgo	$Y_D = -1.02 + 2.65X$
Lindano - Maíz	$Y_A = 2.38 + 1.46X$
Lindano - Sorgo	$Y_B = 0.96 + 2.36X$
Lindano + b.p.- Maíz	$Y_C = 0.30 + 2.97X$
Lindano + b.p.- Sorgo	$Y_D = 2.30 + 2.13X$