

Susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* a insecticidas y butóxido de piperonilo en dos sustratos alimenticios

Eugenio Guerrero Rodríguez¹

Hilda Leticia Silva Martínez¹

Jorge Corrales Reynaga¹

RESUMEN. Este trabajo se realizó con adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en granos de maíz y sorgo, a los cuales se les aplicó tópicamente malatión, pirimifos metílico, lindano, permetrina y carbarilo, solos y en combinación con el sinergista butóxido de piperonilo. Se encontró que los niveles de susceptibilidad de *S. zeamais* de mayor a menor al nivel de DL_{50} expresada en $\mu\text{g/g}$ de insecto fueron: pirimifos metílico 7,5 para maíz y 5,5 en sorgo; malatión 14,5 para maíz y 12,3 en sorgo; lindano 13,8 para maíz y 13,1 en sorgo; permetrina 31,8 para maíz y 34,4 en sorgo; carbarilo con 194 y 214 para adultos que se alimentaron de maíz y sorgo, respectivamente. No se observa diferencia entre las DL_{50} por causa de los sustratos.

En la mezcla de los insecticidas con butóxido de piperonilo se requirieron dosis menores de tóxico para obtener el mismo nivel de mortalidad que en los productos solos, aunque en el caso de la permetrina + butóxido de piperonilo el efecto fue mucho mayor, presentando el más alto coeficiente de cotoxicidad, de 24,65X para maíz y 35,46X para sorgo, seguido del carbarilo con 4,36X para sorgo y 3,85X para maíz; pirimifos metílico en maíz fue de 3,60X y para sorgo de 2,65X; malatión 2,37X para maíz y 2,51X para sorgo; y lindano 2,78X para maíz y 1,64 para sorgo. Es claro que las oxidasas de función múltiple juegan un papel importante en la detoxificación de insecticidas, principalmente enfatizándose en el piretroide.

Palabras clave: Sinergismo, oxidasas microsómicas, FOM.

ABSTRACT. Susceptibility of *Sitophilus zeamais* to insecticides and piperonyl butoxide in two food substrata. Research was conducted in order to evaluate susceptibility of *Sitophilus zeamais* fed with two diets (maize and sorghum) to insecticides of different toxicological groups, alone and combined with the synergist piperonyl butoxide. The LD_{50} ($\mu\text{g/g}$) and cototoxicity level were calculated from dosage-response curves. *S. zeamais* was susceptible to pirimiphos methyl even at the lowest dosage, 7.5 for those with a maize diet and 5.5 for those with sorghum; for malathion LD_{50} was 14.5 and 12.3 for insects fed with maize and sorghum, respectively; for lindane it was of 13.8 and 13.1; and 31.8 and 34.4 for permethrine. In the case of carbaril, *S. zeamais* showed more tolerance with 194 and 214 $\mu\text{g/g}$ respectively. There were no differences between LD_{50} caused by the strata (maize and sorghum).

The insecticides plus a synergist, piperonyl butoxide, presented in all cases a lower LD_{50} than the insecticide alone, because a lower dose was required. Permethrine plus the synergist showed the highest cototoxicity level, 24.65X for maize and 35.46 for sorghum. Less efficient results were obtained with carbaril: 4.36X for sorghum and 3.85 for maize. For pirimiphos methyl, the result was 3.6X for maize and 2.65X sorghum; 2.37X for maize and 2.51X for sorghum for malathion; and for lindane the cototoxicity coefficient was of 1.64X for maize and 2.78X for sorghum. It is clear that microsomal oxidases play an important role in the detoxification of insecticides, mainly in the pyrethroid.

Key words: Synergism, microsomal oxidases, FOM.

Introducción

Los insectos causan daños considerables a los granos almacenados; en el mundo se han reportado 227 especies que afectan estos productos y en México se han reportado 66 especies que causan entre un 15 y un 25%

de pérdidas. El uso de plaguicidas es en la actualidad el método de combate más común para contrarrestar las plagas de productos almacenados, lo que ha ocasionado el desarrollo de resistencia por parte de algunas

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. C.P. 25315 Coahuila, México. eguerdz@hotmail.com.

de estas especies a los tóxicos utilizados para su combate. Para contrarrestar este problema se han planteado alternativas basadas en conocer el impacto de la dieta sobre la susceptibilidad a los insecticidas y el efecto de sinergistas, tanto como indicadores de fuentes de resistencia como para disminuir la cantidad de tóxico requerido (Metcalf 1967, Casida 1970).

Se sabe que los químicos pueden aumentar la actividad de los sistemas detoxificativos al estimular la producción de enzimas; en los insectos, esta capacidad varía de acuerdo con la especie, su estado de desarrollo, el medio ambiente, el desarrollo de resistencia a insecticidas, y la planta hospedante. Los sistemas degradantes más importantes en insectos son las oxidasas microsómicas y glutatión S-transferasa, los cuales actúan sobre carbámicos, fosforados y piretroides. Dichos sistemas enzimáticos pueden ser inducidos (Terriere 1984). Al respecto, Brattsten y Wilkinson (1977) demostraron que algunas sustancias de plantas aumentan la actividad de oxidasas reduciendo la susceptibilidad de las larvas de *Spodoptera eridania* a los insecticidas. Por su parte, Berry *et al.* (1980) señalan que larvas de *Peridroma saucia* alimentadas con hojas de menta presentaron niveles 9X de epoxidasas, que les ayudaron a expresar tolerancia a acefate, metomilo y malatión. A su vez, trabajos con larvas de *Spodoptera frugiperda* muestran que plantas como el maíz, la papa y el camote son buenos inductores de oxidasas, lo que las ayudó a presentar tolerancia a ocho insecticidas (Terriere 1984). Con respecto a las plagas de granos almacenados, Stadler *et al.* (1990) citan que *S. oryzae* desarrollados en centeno fueron 15X tolerantes al DDT y los desarrollados en trigo presentaron una tolerancia 37X a fosforados en comparación con los desarrollados en cebada.

Por otro lado, la presencia de resistencia en especies de *Sitophilus* en el mundo es conocida desde hace varios años; así, Champ y Cribb (1965) en Australia en *S. oryzae* encontraron una colonia resistente a lindano 77,2X en comparación con una susceptible, pero no reportan resistencia a *S. zeamais*. Los resultados de estos estudios pueden variar de acuerdo con la técnica empleada; por ejemplo, Parkin (1965), en Inglaterra, con la técnica de polvo impregnado, usando lindano para razas de *S. zeamais* de distintos países, señala que la proporción de resistencia más alta es de 7,9X para una raza de Kenya. Pero Lemon (1967) determinó una susceptibilidad de *S. zeamais* a malatión de 1024,9 µg/g de insecto. Por su parte De Lima (1972), usando

una exposición o papeles filtro impregnados con lindano, al contrastar con 22 colonias de Kenya encontró una resistencia que varió de 1X hasta 49X.

En México, Arenas y Sánchez (1988) establecieron en *S. zeamais* la dosis letal media (DL_{50}), expresada en µg/g, a varios insecticidas, con los siguientes resultados: carbofurán 1,2; metomilo 4,3; piremifos metílico 4,8; malatión 25,9 y permetrina 28,8. Pérez (1988), en bioensayos con *S. zeamais* de varios estados de México, encontró que para el insecticida malatión la DL_{50} en µg/g varió de 3,08 hasta 14,48; para la permetrina osciló entre 11,96 y 42,12; y para el lindano fue de 49,17 hasta 127,53. García (1992) encontró en poblaciones *S. zeamais* de Veracruz las siguientes DL_{50} : 220,8 para lindano, 18,84 para malatión, 2,38 para permetrina y 3,07 para piremifos metílico.

Es importante recordar que el butóxido de piperonilo es un producto seguro para el ser humano, ya que la DL_{50} oral en rata es de 11 500 mg/kg, y en estudios de efectos crónicos no se encontró ningún efecto dañino en rata a dosis de 100 mg/kg, consumidos durante 2 años (Liñán 1997).

Lo anteriormente expuesto nos lleva a considerar la relevancia de conocer la respuesta de *S. zeamais* a insecticidas de uso común para su combate al ser cultivada en dos importantes sustratos de este insecto, el maíz y el sorgo, así como estimar la respuesta de este insecto al butóxido de piperonilo, inhibidor de oxidasas de función múltiple, para establecer mejores estrategias de combate.

Materiales y métodos

El material biológico utilizado en esta investigación fue recolectado en maíz criollo en la ciudad de Saltillo, en Coahuila, México. Los *S. zeamais* fueron colocados en dos sustratos, maíz y sorgo, en recipientes de vidrio con cuatro litros de capacidad. Estos granos fueron previamente fumigados con fosforo de aluminio, para evitar la presencia de insectos o ácaros, y se colocaron 1,5 kg de cada sustrato en los frascos. Los recipientes se taparon con tela de tul sujeta con bandas de caucho para evitar la salida o entrada de insectos, y se colocaron en una cámara de cría a $27 \pm 2^\circ\text{C}$, a una humedad relativa de 70%, para lograr un mejor desarrollo del insecto.

Se evaluaron cinco insecticidas de uso común para la protección de granos y productos almacenados pertenecientes a cuatro grupos toxicológicos y un sinergista; estos fueron: malatión (95% i.a.), piremifos

metílico (88% i.a.), lindano (99% i.a.), carbarilo (99% i.a.), permectrina (87% i.a., con 60% del isómero trans y 40% del isómero cis), y el sinergista butóxido de piperonilo. Los productos evaluados fueron de formulación comercial, excepto el butóxido de piperonilo (98 % i.a.), donado por Loveland de Colorado, EUA.

El método de bioensayo utilizado en este trabajo fue el de aplicación tópica, depositando 1 µl en el dorso del adulto, para lo cual se utilizó un microaplicador manual con un tornillo micrométrico y una jeringa Hamilton de 500 µl. Antes de la obtención de la línea de regresión se evaluaron diluciones de cada ingrediente activo en series de diez, para determinar dosis que se ubicaran entre el cero y el 100% de mortalidad (ventana biológica). Posteriormente, se utilizaron de seis a siete dosis por tóxico para obtener la línea de respuesta dosis-mortalidad. La cantidad de dosis utilizadas para las mezclas de insecticida + sinergista se estimaron utilizando una proporción insecticida-sinergista de 1:20, partiendo de la DL₅₀ estimada para cada insecticida. Se utilizaron como solventes la acetona (99,5%) y el metanol (99,5%), este último solo para el carbarilo.

A las cinco semanas de infestado el sustrato, fue cribado por medio de un tamiz que permitía solo el paso de los gorgojos, los cuales fueron recolectados por medio de una máquina de vacío sin considerar el sexo, utilizando 30 picudos por dosis de producto, incluyendo un testigo, al que solo se le aplicó acetona o metanol. En el caso de las mezclas insecticida + sinergista, el testigo consistió en la aplicación del butóxido de piperonilo con el solvente respectivo. Antes de la aplicación de los tóxicos, los insectos fueron pesados en una balanza analítica Mettler AJ-100, con precisión de diezmilésimas, para establecer la DL₅₀.

Los insectos tratados fueron confinados en vasos de plástico, a los cuales se les colocó en el extremo superior tela de tul sujeta con una banda de caucho y etiquetas que identificaban las dosis, producto, sustrato y solvente. El conteo de mortalidad se realizó a las 24 horas, y el criterio de muerte fue considerar muerto al insecto que no pudo pararse al tocarlo con una aguja de disección, aunque presentará movimientos lentos de patas o alas.

El porcentaje de mortalidad se corrigió mediante la fórmula de Abbott cuando se manifestó mortalidad en el testigo menor al 15%. El análisis de cada bioensayo se realizó por medio del programa POLO-PC. El coeficiente de cotoxicidad se estableció con la fórmula citada por Sun y Johnson (1960), que consiste en dividir la DL₅₀ del producto entre la DL₅₀ de la mezcla.

Resultados y discusión

Bioensayos con insecticidas

Con respecto a la dosis letal media de los insecticidas evaluados, *S. zeamais* presentó mayor susceptibilidad a los productos fosforados (Cuadro 1); así, el pirimifos metílico fue el más eficiente, con datos que varían de 5,5 a 7,5 µg/g, seguido por el malatión y el lindano. Cabe enfatizar que en realidad no hay diferencias entre estos dos productos, ya que las DL₅₀ varían entre 12,3 y 14,5 µg/gr, en tanto que para obtener el mismo nivel de mortalidad con el piretroide permectrina se requieren dosis hasta siete veces más altas con respecto al pirimifos metílico. El carbarilo resultó ser el más ineficiente para controlar a *S. zeamais*, dado que se requirieron hasta 214 µg/gr.

En este sentido, comparar la información presentada por Arenas (1988) permite inferir que para pirimifos metílico y permectrina las DL₅₀ son iguales a las

Cuadro 1. DL₅₀, límites fiduciales y DL₉₅ de diferentes insecticidas en adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo.

Insecticida	Sustrato alimenticio	µg/g		
		DL ₅₀	Límites fiduciales (95%) inferior-superior	DL ₉₅
Malatión	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

obtenidas en este trabajo, en tanto que las DL_{50} para malatión son menores a las reportadas por dicho autor. A su vez, al comparar los resultados con los que cita Pérez (1988), se tiene que permetrina y malatión se ubican en valores similares, pero el lindano presenta valores más bajos que los citados por este investigador; es decir, en general, los gorgojos del maíz se ubican no como individuos resistentes a plaguicidas sino como una población normal con rango de susceptibilidad afín al de otras poblaciones de México.

No hay diferencias en cuanto a la susceptibilidad a los tóxicos evaluados entre los insectos desarrollados en los sustratos maíz y sorgo con respecto a la DL_{50} y DL_{95} (Cuadro 1), y aunque se aprecian pequeñas diferencias entre insecticidas, estas no son significativas, ya que en ocasiones se orientan hacia el sustrato maíz como en malatión, pirimifos metílico y lindano, y en otras hacia el sorgo, como en permetrina y carbarilo (Fig. 1). Esto indica que el alimento que *S. zeamais* haya consumido durante su desarrollo larvario o fase adulta no influye en la presencia de una mayor cantidad de enzimas detoxificantes que conlleve la necesidad de usar más tóxicos para causar los mismos niveles de mortalidad.

Bioensayos con sinergistas

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de DL_{50} de las mezclas de insecticida + sinergista, donde se puede observar que todos los insecticidas requieren dosis menores para alcanzar dicho nivel de mortalidad, lo cual implica que la presencia de oxidasas de función múltiple gobiernan en esta población de picudos la detoxificación de los insecticidas, ya que fueron inhibidas por el butóxido de piperonilo. Cabe resaltar el caso de la permetrina, donde solo se requirió de 1,29 y 0,97 $\mu\text{g/g}$ en las poblaciones desarrolladas en maíz y sorgo, respectivamente. En segundo término se ubicó la mezcla correspondiente al pirimifos metílico, que solo demandó de 2,04 y 2,07 $\mu\text{g/g}$ para picudos provenientes de los sustratos maíz y sorgo, respectivamente. Posteriormente se ubicaron las mezclas del lindano y malatión que varían de 4,7 a 8,4 $\mu\text{g/g}$. El carbarilo presentó los peores resultados, porque aun con el butóxido de piperonilo requirió de 50 $\mu\text{g/g}$ para obtener la DL_{50} .

Lo anterior concuerda con lo reportado por Elliot *et al.* (1978), quienes señalan que insecticidas fosforados y piretroides en mezcla con butóxido de piperonilo aplicado a granos en silos a *S. granarius* y *S. oryzae*

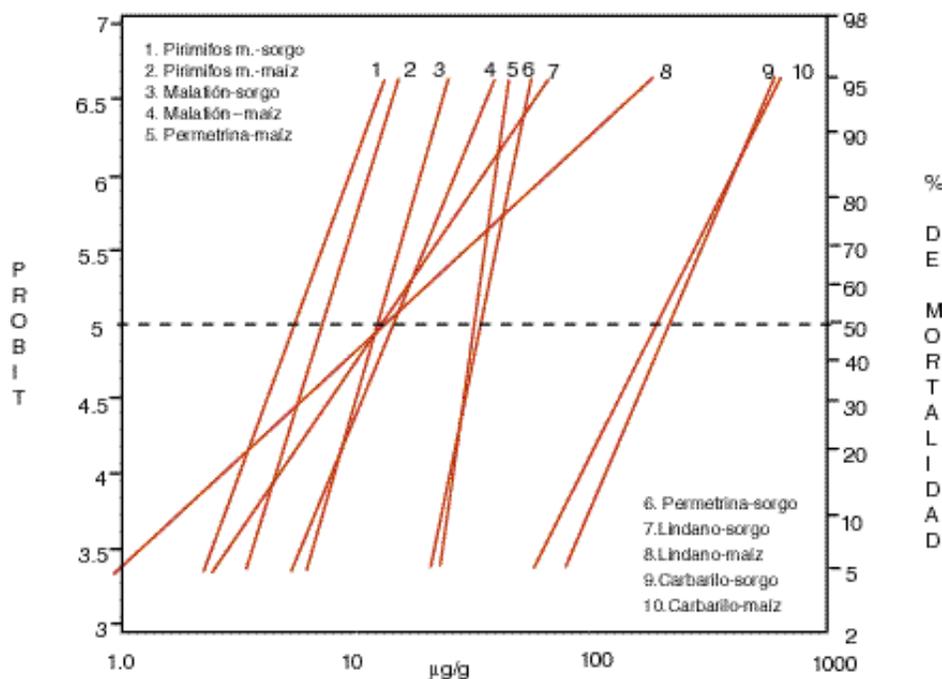


Figura 1. Líneas de respuesta dosis-mortalidad a insecticidas de adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo.

resistentes a fosforados mostraron diferentes niveles de sinergismo, presentando el mejor efecto el piretroide bioresmetrina. A su vez, Samson *et al.* (1990) enfatizan que la mezcla del piretroide deltametrina con butóxido de piperonilo fue más eficiente sobre *S. zeamais*. Esto implica que los picudos de *Sitophilus* en general tienen un sistema oxidante activo para detoxicar más fuertemente los piretroides que otros grupos químicos, aun cuando las diferentes razas de las diversas especies de este género no sean resistentes, por lo que el butóxido de piperonilo ayuda a disminuir las dosis que de estos productos se aplican, incrementando notablemente su eficiencia.

En ese segundo estudio queda clara la importancia de las oxidasas de función múltiple en *S. zeamais* para la detoxificación de los xenobióticos y, por otro lado, se ratifica que el sustrato maíz o sorgo carece de efecto sobre la tolerancia a los tóxicos, tanto a la DL₅₀ como a la DL₉₅ (Cuadro 2).

Los insecticidas tienden a estar apareados sin importar el sustrato, y el carbarilo sigue siendo el producto menos eficiente, aun con la ayuda del butóxido de piperonilo, pero la permetrina mezclada con el sinergista se ubica ahora como el producto más eficiente (Fig. 2).

Coefficiente de cotoxicidad

Con los datos de DL₅₀ obtenidos de los picudos expuestos a insecticidas solos y a las mezclas de insecticida con el sinergista, se calculó el coeficiente de cotoxicidad (Cuadro 3). La permetrina, que no presentó la mejor acción insecticida, al mezclarse con el sinergista

inhibe fuertemente las oxidasas que trabajan sobre este piretroide, por lo que presentó el más alto coeficiente de cotoxicidad: 24,65X para maíz y 35,46X para sorgo, por lo que ahora para obtener la DL₅₀ se requiere poca cantidad del tóxico, que varía de 0,97 a 1,29. Esto implica que las enzimas oxidantes de *S. zeamais* trabajan fuertemente para degradar rápidamente la permetrina. Por el contrario, se puede observar que la acción más pobre del sinergista fue con el lindano, con un coeficiente de cotoxicidad de solo 1,64X y 2,78X para insectos desarrollados en maíz y sorgo, respectivamente. Lo anterior puede deberse a que normalmente las oxidasas de función múltiple actúan más activamente sobre los piretroides, pero la acción sobre los clorados es mucho menor (Lagunes y Villanueva 1995). Como se puede observar con respecto a los inhibidores de colinesterasa, como los productos fosforados y carbámicos, el grado de aumento de actividad de los insecticidas por la inhibición de oxidasas fue ligeramente mayor que en el lindano, donde la DL₅₀ varió de 2X a 4X, por lo que el efecto no es tan fuerte como en el caso de los piretroides. Esto enfatiza que las enzimas oxidantes participan en la degradación de los insecticidas evaluados, aunque los niveles de sinergismo suelen ser bajos para la mayoría de los tóxicos.

En cuanto a la relación entre sustratos (Cuadro 3), los *S. zeamais* presentaron un coeficiente de cotoxicidad prácticamente igual entre los desarrollados en maíz y en sorgo, lo cual confirma que un sustrato en particular no propicia una inducción de oxidasas que obligue a reducir la susceptibilidad a tóxicos y por ende a soportar mayor cantidad de insecticidas.

Cuadro 2. DL₅₀, límites fiduciales y DL₉₅ de diferentes insecticidas con butóxido de piperonilo en adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo.

Insecticida + sinergista	Sustrato alimenticio	µg/g		
		DL ₅₀	Límites fiduciales (95%) inferior-superior	DL ₉₅
Malatión + bp	maíz	6,10	(5,5 – 6,8)	18,1
	sorgo	5,70	(5,2 – 6,3)	16,8
Pirimifos metílico + bp	maíz	2,04	(1,8 – 2,2)	4,3
	sorgo	2,07	(1,8 – 2,2)	6,3
Permetrina + bp	maíz	1,29	(1,2 – 1,3)	2,9
	sorgo	0,97	(0,8 – 2,2)	2,5
Carbaril + bp	maíz	50,45	(42,5 – 58,8)	208,8
	sorgo	49,20	(41,0 – 57,8)	206,3
Lindano + bp	maíz	8,40	(7,0 – 9,7)	30,6
	sorgo	4,70	(3,6 – 5,5)	27,8

bp = butóxido de piperonilo.

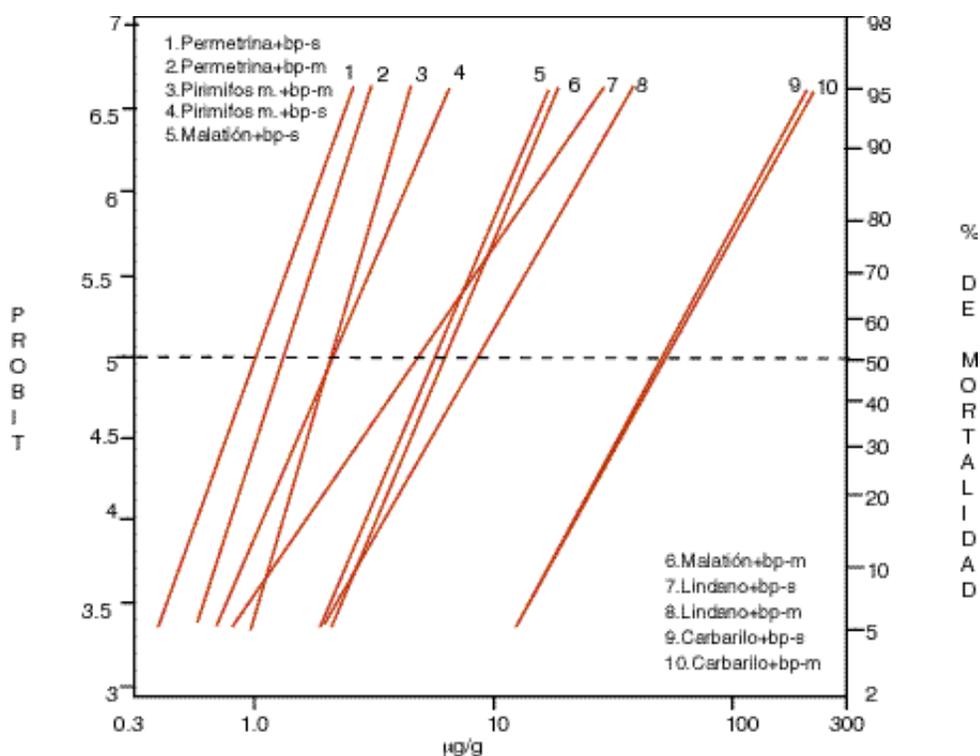


Figura 2. Líneas de respuesta dosis-mortalidad a mezclas de insecticidas y butóxido de piperonilo (bp) de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz (m) y sorgo (s).

Cuadro 3. Coeficiente de cotoxicidad de adultos de *Sitophilus zeamais* desarrollados en maíz y sorgo a insecticidas y butóxido de piperonilo.

Insecticidas y mezclas	Sustrato	DL ₅₀ µg/g	Coefficiente de cotoxicidad	Ecuación de predicción
Malatión	maíz	14,50		Y= 2,27 + 3,95X
Malatión + bp	maíz	6,10	2,37	Y= 0,12 + 3,55X
Malatión	sorgo	12,30		Y= 3,83 + 5,27X
Malatión + bp	sorgo	5,70	2,15	Y= 0,10 + 3,61 X
Pirimifos metílico	maíz	7,50		Y= 3,07 + 5,29X
Pirimifos metílico+ bp	maíz	2,04	3,60	Y= 0,01 + 5,12X
Pirimifos metílico	sorgo	5,50		Y= 0,82 + 4,38X
Pirimifos metílico+ bp	sorgo	2,07	2,65	Y= 2,04 + 3,29X
Permetrina	maíz	31,80		Y=10,95 + 7,55X
Permetrina + bp	maíz	1,29	24,65	Y= 1,77 + 4,25X
Permetrina	sorgo	34,40		Y=11,77 + 7,62X
Permetrina + bp	sorgo	0,97	35,46	Y= 2,76 + 3,90X
Carbarilo	maíz	194,30		Y= 4,10 + 3,11 X
Carbarilo + bp	maíz	50,45	3,85	Y= 1,26 + 2,66X
Carbarilo	sorgo	214,70		Y= 5,67 + 3,66X
Carbarilo + bp	sorgo	49,20	4,36	Y= 1,02 + 2,65X
Lindano	maíz	13,80		Y= 2,38 + 1,46X
Lindano + bp	maíz	8,40	1,64	Y= 0,30 + 2,97X
Lindano	sorgo	13,10		Y= 0,96 + 2,35X
Lindano + bp	sorgo	4,70	2,78	Y= 2,30 + 2,13X

bp = Butóxido de piperonilo

Conclusiones

Los adultos de *S. zeamais* desarrollados en maíz mostraron las siguientes DL₅₀ en µg/g: pirimifos metílico 7,5; lindano 13,8; malatión 14,5; permetrina 31,8 y carbarilo 194,3.

La DL₅₀ en µg/g para los insectos desarrollados en sorgo fue: pirimifos metílico 5,5; malatión 12,3; lindano 13,1; permetrina 34,4 y carbarilo 214,7.

Todos los insecticidas son degradados por oxidases de función múltiple, pero no se observó diferencia en cuanto a susceptibilidad por el sustrato de procedencia entre maíz y sorgo.

Los coeficientes de cotoxicidad de los insectos desarrollados en maíz y sorgo para los insecticidas en mezcla con butóxido de piperonilo fueron, de mayor a menor: permetrina 35X y 24X, carbarilo 3,85X y 4,36X, pirimifos metílico 3,60X y 2,66X, malatión 2,37 y 2,15, y lindano con 1,64X y 2,78X.

Literatura citada

- Arenas, LC; Sánchez, H. 1988. DL₅₀ de siete insecticidas de diferentes grupos toxicológicos aplicados a *Sitophilus zeamais*. Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). Resumen del XXIII Congreso Nacional de Entomología. Morelia, Michoacán. Sociedad Mexicana de Entomología. p. 232.
- Brattsten, LB; Wilkinson, CF. 1977. Herbivore plant interactions: Mixed – function oxidases and secondary plant substances. *Science* 96: 1349–1352.
- Berry, RE; Yu, SJ; Terriere, LC. 1980. Influence of host plants on insecticide metabolism and management of variegated cutworm. *Journal of Economic Entomology* 73:771-774.
- Casida, JE. 1970. Mixed function oxidase involvement in the biochemistry of insecticide synergists. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 18:753-772.
- Champ, BR; Cribb, JN. 1965. Lindane resistance in *Sitophilus orizae* (L.) and *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) in Queensland. *J. Stored Prod. Res.* 1:9-24.
- De Lima, C. 1972. Lindane resistance in field strains of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) in Kenya. *J. Stored Prod. Res.* 8:167-175.
- Elliott, MN; Janes, NF; Potter. 1978. The future of pyrethroids in insect control. *Annual Review of Entomology* 23:443-469.
- García, RI. 1992. Susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos de tres áreas de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. Instituto de Ciencia y Cultura. 54 p.
- Lagunes, TA; Villanueva, JA. 1995. Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Montecillos, Texcoco, México. 264 p.
- Lemon, RW. 1967. Laboratory evaluation of some additional organophosphorus insecticides against stored product beetles. *J. Stored Prod. Res.* 3:283-287.
- Liñán, VC. 1997. Farmacología vegetal. Madrid, España, Ediciones Aerotécnicas p. 166-167.
- Metcalf, RL. 1967. Mode of action of insecticide synergists. *Annual Review of Entomology* 12:229-256.
- Parkin, EA. 1965. The onset of insecticide resistance among field population of stored products insects. *J. Stored. Prod. Res.* 1:3-8.
- Pérez, MJ. 1988. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) de varias localidades de México. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 142 p.
- Samson, PR; Parker, RJ; Hall, EA. 1990. Synergized deltamethrin as a protectant against *Sitophilus zeamais* Motsch. and *S. oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 26:155–161.
- Stadler T; Picollo, MI; Zerba, EN. 1990. Factores ecofisiológicos relacionados con la susceptibilidad a insecticidas y la resistencia a malatión en *Sitophilus orizae*. (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Argentina, *Boletín de Sanidad Vegetal*. 16:743–754.
- Sun, YP; Johnson, ER. 1960. Analysis of joint action of insecticides against home flies. *Journal of Economic Entomology* 53:887–892.
- Terriere, L.C. 1984. Induction of detoxication enzymes in insects. *Ann. Rev. Entomol.* 29:71-88.