

COMPATIBILIDAD DE CUATRO INSECTICIDAS CON PARASITOIDES DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN NAYARIT, MÉXICO

Alicia Gutiérrez-Ramírez¹, Agustín Robles-Bermúdez², O. Jhonathan Cambero-Campos², Gabriela R. Peña-Sandoval², Paola Y. Robles-Navarrete³ y Juana M. Coronado-Blanco⁴

RESUMEN

En México, el cultivo de maíz es la base de la alimentación y se cultivan 6,7 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 6.6 Mg·ha⁻¹. El objetivo de esta investigación fue evaluar los insecticidas de mayor uso para el control de *Spodoptera frugiperda* sobre la entomofauna asociada al maíz. Se utilizó una parcela de 900 m² en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit durante un ciclo del cultivo. Los insecticidas fueron: clorpirifos etil, cipermetrina, metomilo y spinetoram, más un testigo, en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Donde no se aplicaron insecticidas se presentó una tasa de parasitismo natural del 27,5%. Las principales especies no objetivo afectadas fueron *Pristomerus spinator*, *Campoletis sonorensis* y *Cotesia* sp. aff. *Scitula*. En las unidades experimentales tratadas con insecticida la tasa de parasitismo fue de 0 %. El insecticida metomilo (carbamato) fue el más agresivo contra organismos no objetivo seguido por clorpirifos etil (organofosforado) mientras que spinetoram (spinosinas) fue el menos agresivo. Los ingredientes activos generalistas como los carbamatos y organofosforados representan un riesgo para la diversidad de enemigos naturales.

Palabras clave adicionales: Control biológico, metomilo, organofosforados, spinosinas

ABSTRACT

Compatibility of four insecticides with parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Nayarit, Mexico

In Mexico, corn cultivation is the basis of the diet, with a surface of 6.7 million hectares, with an average yield of 6.6 Mg·ha⁻¹. The objective was to evaluate the most widely used insecticides for the control of *Spodoptera frugiperda* on the entomofauna associated with corn. A 900 m² experimental area was used in the Academic Unit of Agriculture of the Autonomous University of Nayarit during one crop cycle. The insecticides were: chlorpyrifos ethyl, cypermethrin, methomyl and spinetoram, plus a control, in a randomized block design with four repetitions. Plants where insecticides were not applied showed a parasitism rate of 27,5 %, and the main non-target species affected were *Pristomerus spinator*, *Campoletis sonorensis* and *Cotesia* sp. aff. *Scitula*. In the experimental units treated with insecticide, the rate of parasitism was 0 %. Methomyl insecticide (carbamate) was the most aggressive against non-target organisms followed by chlorpyrifos ethyl (organophosphate) while spinetoram (spinosins) was the least aggressive. General active ingredients such as carbamates and organophosphates represent a risk for the diversity of natural enemies.

Additional Keywords: Biological control, methomyl, organophosphates, spinosins

INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es de gran importancia ya que ocupa más de la mitad de la superficie nacional sembrada, se registran 6,7 millones de hectáreas, y en

específico para Nayarit se contabilizan 27,387 ha, por esa situación el cultivo se consolida como uno de los principales en el estado (SIAP, 2022). El consumo per capita asciende a 80 kg en la zona urbana y 127 kg en la zona rural (Deras, 2020), además con un uso variado que va desde la

Recibido: Mayo 9, 2023

Aceptado: Diciembre 12, 2023

¹Posgrado de Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México. e-mail: aligura7@hotmail.com

²Unidad Académica de Agricultura y Posgrado de Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México. e-mail: agustin.robles@uan.edu.mx (autor de correspondencia); jhony695@gmail.com; gabriela.sandoval@uan.edu.mx

³Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México. e-mail: yere.rona@gmail.com

⁴Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Victoria, Tamaulipas, México. e-mail: jmcoronado@docentes.uat.edu.mx

producción de harinas para consumo humano, alimento para aves de corral y uso industrial con una gran diversidad de derivados (Hellin et al., 2013). La gestión del conocimiento a partir de información y experiencia existente es una tarea que se sustenta en la tecnología que faciliten el ordenamiento y explotación de procesos con la finalidad de convertirlo en recursos aprovechables. Las nuevas tecnologías productivas exigen a los sistemas de producción la seguridad alimentaria, el incremento de la productividad y calidad por unidad de superficie, así como evitar romper el equilibrio al abrir nuevas áreas agrícolas; ello aunado a que abrir nuevas áreas de producción implica la eliminación de especies vegetales deseables (Guerrero et al., 2021; Almeida y Mendoza, 2021).

El cultivo de maíz presenta un complejo de problemas fitosanitarios entre los que destacan como plaga principal al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith); Lepidoptera: Noctuidae), debido a que ocasiona pérdidas superiores al 70% en el rendimiento. En la India se registran daños en campo por *S. frugiperda* del 44 al 100% de las plantas establecidas y la incidencia de daños a la producción en un rango del 22,13 al 46,83 % (Andrews, 1988; Ayala et al., 2013; Navik et al., 2021).

Se implementan diversas técnicas con el objetivo de reducir los daños en la producción de alimentos causados por la acción de insectos plaga y una de estas, es el uso de agroquímicos que representa un papel importante en la reducción de daños a los cultivos. La problemática se complica por el uso y aplicación de productos químicos sin control, ni diagnósticos, muestreos, o análisis de umbrales económicos, mecanismos de resistencia y rotación de ingredientes activos. Asimismo, su alta toxicidad y persistencia en el ambiente, alimentos contaminados e intoxicación crónica y aguda en aplicadores agrícolas, además de la agresividad contra organismos no objetivo son la principal causa de la búsqueda de nuevos métodos de control (Guédez et al., 2008). En México, en el periodo de 2007 al 2017 se aplicó un promedio de 109,763 Mg de agroquímicos y para 2018 existía un padrón de 230 empresas que manipulaban 2,070 ingredientes activos; a ello hay que sumar adherentes, tensoactivos, dispersantes entre otros coadyuvantes (Moo et al., 2020). Aun cuando los fungicidas son los de mayor utilización en los

campos agrícolas mexicanos, los insecticidas registran en promedio 30,500 Mg de ingredientes activos por año, aunado a su gran diversidad (algunos prohibidos en otros países por su efecto ecotoxicológico), persistencia (persistentes en el ambiente y bioacumulables), toxicología (altamente peligrosos) y diversas presentaciones donde se identifica un registro alto de insecticidas generalistas para el control de plagas agrícolas (Bejarano, 2017).

Los efectos del uso de insecticidas sobre los enemigos naturales, visitantes y/o polinizadores que no son objetivo en las aplicaciones químicas para el control de plagas son poco estudiados. Al respecto algunos autores señalan que los adultos de himenópteros parasitoides son más susceptibles a la acción de insecticidas que sus hospederos-plaga, causándoles daños directos e indirectos como la muerte o afectar la longevidad, fecundidad, reproducción, capacidad de búsqueda, tiempo de desarrollo, movilidad e incluso cambios fisiológicos (Luna et al., 2011; Cloyd, 2012).

El control biológico es el uso de organismos benéficos para regular la densidad de población de otro organismo y mantenerla a niveles que no causen daño (Polack et al., 2020). Los parasitoides son insectos que necesitan de un hospedero específico para su desarrollo y al llegar a la etapa adulta, son de vida libre y fungen como controladores biológicos sin efecto al equilibrio ecológico. Los órdenes de Díptera, Coleóptera, Himenóptera y Neuroptera son los que registran mayor número de especies con potencial y uso en control biológico. El uso de estos controladores biológicos son una alternativa segura, exitosa y rentable para el manejo de plagas, donde a nivel mundial se incrementó su uso y aplicación notablemente en las últimas décadas (Guédez et al., 2008; van Lenteren, 2012; Luna, 2020).

Debido a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de cuatro ingredientes activos de diferente grupo químico sobre el control de *S. frugiperda*, así como el impacto sobre las especies de insectos no objetivo asociados al cultivo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del sitio de estudio.

El experimento se llevó a cabo en una parcela de 900 m² ubicada en el campo experimental de la

Gutiérrez et al. Compatibilidad de insecticidas con parasitoides de *Spodoptera frugiperda*

Unidad Académica de Agricultura (UAA) de la Universidad Autónoma de Nayarit, localizado a 21°25' N, 104°53' W en Xalisco, Nayarit, México. La parcela se sembró en el mes de julio, con maíz amarillo criollo regional. Durante el periodo del cultivo la temperatura presentó un promedio de 24 °C y una precipitación de 1250 mm. La distancia entre hileras fue de 0,75 m y se sembraron tres semillas cada 0,50 m en la hilera,

aproximadamente.

Insecticidas. Se seleccionaron cuatro insecticidas por registrarse como los más utilizados por los agricultores en la región de estudio. Los compuestos activos, grupo químico al que pertenecen, mecanismo de acción y dosis utilizada se detallan en el Cuadro 1. Como tratamiento testigo se utilizó solamente aplicación de agua.

Cuadro 1.- Insecticidas evaluados para el control de *Spodoptera frugiperda* en Nayarit, México

Compuesto activo	Grupo químico	Dosis (L·ha ⁻¹)	Mecanismo de acción
Clorpirifos etil	Organofosforados	0,75	Inhibidor de la acetilcolinesterasa
Cipermetrina	Piretroides	0,25	Activador de los canales de sodio
Metomilo	Carbamatos	1,0	Inhibidor de la acetilcolinesterasa
Spinetoram	Espinosinas	0,75	Inhibidor de ácido gamma amino butírico

Muestreo inicial. Dos semanas después de la germinación, con una frecuencia de 4 días se realizaron muestreos sistemáticos en la parcela para conocer el avance de infestación natural de gusano cogollero, y cuando ésta alcanzó un 30 % se colocó sobre el suelo una cubierta de plástico blanco para facilitar la recolecta de los insectos caídos. El procedimiento se realizó, aproximadamente, a los 28 días posteriores a la siembra, y los muestreos se dirigieron hacia la zona central de cada unidad experimental. Las dimensiones de la cubierta plástica fueron 1,50 m de ancho por 2 m de largo (con perforaciones para el acceso de las plantas), con el objetivo de contrastar y recolectar los parasitoides adultos y otros ejemplares derribados por la acción de los tratamientos. Además, inmediatamente después de la aplicación de los insecticidas, las plantas se cubrieron en forma de microtúnel con tela agrícola de origen sintético, de 4 m de largo por 2 m de ancho, que permitió el intercambio gaseoso, además del ingreso de luz y agua (Agribon). La función de la tela agrícola fue la de evitar perder los insectos derribados por agentes externos o climáticos.

Recolección de enemigos naturales y larvas de *S. frugiperda* e insectos no objetivo. Con el objeto de evitar pérdidas por deriva de los ejemplares derribados, después de 24 horas de la aplicación de los insecticidas y con la ayuda de un

pincel se realizó la recolecta de los insectos que se encontraban muertos sobre la superficie plástica (3 m²). Los especímenes recolectados se depositaron en frascos con alcohol al 70 %, previamente etiquetados, para luego realizar el conteo de los ejemplares y la identificación a nivel de familia taxonómica. Una vez que concluyó la recolección de los insectos muertos que se encontraban sobre el plástico, se procedió a la captura de 10 larvas por repetición de *S. frugiperda* vivas del primero al tercer instar del tratamiento testigo. Cada larva se colocó en un vaso de 30 cm³ de capacidad, con dieta sintética, con el objetivo de obtener el porcentaje de parasitismo y especies de parasitoides presentes.

Efectividad de los insecticidas. A las 72 horas después de la aplicación, se realizó un muestreo sistemático cada tercera planta en las tres hileras internas; se consideró este periodo de tiempo para que los insecticidas mostraran su potencial de efectividad. Se descartaron las hileras externas para evitar un posible efecto de orilla. La muestra consistió en registrar el número de larvas muertas y vivas en 10 plantas por unidad experimental con el objetivo de obtener el porcentaje de mortalidad de cada tratamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

Cada unidad experimental contó con 10 m de largo por 3,75 m de ancho (seis hileras), para una superficie de 37,5 m² cada una. El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,05$). Las variables de mortalidad, expresado en porcentaje, se transformaron a arcoseno de raíz cuadrada del porcentaje para ajustar los datos a una distribución normal y luego analizados mediante el paquete estadístico SAS, año 2004 (Cary, NC, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El muestreo previo en el ensayo indicó que se partió de una población uniforme de larvas por tratamiento que varió entre $4,0 \pm 0,11$ y $5,75 \pm 0,02$, con un promedio de 4,8.

Al analizar la eficacia de los insecticidas evaluados no se observaron diferencias estadísticas significativas en el control de *S. frugiperda* obteniéndose para metomilo y clorpirifos etil un 99,35 % de mortalidad y 97,35 % y 93,35 % para spinetoran y cipermetrina, respectivamente. Los ingredientes activos generalistas tienen la capacidad de reducir la biodiversidad, la toxicidad se manifiesta con base

al origen de la molécula; los piretroides registran alta mortalidad sobre estados adultos de los insectos y los neonicotinoides reportan alta toxicidad sobre estados inmaduros y efectos colaterales sobre polinizadores e insectos visitantes (Prabhaker et al., 2017). En los sistemas productivos intensivos, el uso de moléculas químicas para el control de plagas es altamente frecuente, y se carece de conocimiento técnico para la aplicación de procesos sustentados en el diagnóstico, planeación, ejecución y evaluación, que conlleven a la correcta selección de ingredientes activos y el respeto a la ecología (Díaz et al., 2021). El tratamiento testigo registró un 5,71 % de mortalidad natural (Cuadro 2). En este tratamiento el porcentaje de parasitismo fue de 27,50 % del cual solo emergieron adultos de tres especies: *Pristomerus spinator* Fabricius y *Campoletis sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Cotesia* sp. aff. *scitula* (Hymenoptera: Braconidae). Estos resultados coinciden con los de Corrêa et al. (2006) quienes reportan una tasa de parasitismo de *Eiphosoma laphygmae* Costa Lima (Hymenoptera: Ichneumonidae) entre 3,72 y 33,33 % en parcelas experimentales.

Cuadro 2.- Porcentaje de mortalidad por tratamiento (%) de larvas de *Spodoptera frugiperda* tratadas con insecticidas de diferentes grupos químicos.

Tratamiento	Mortalidad (%) (Post-aplicación)
Agua (testigo)	5,71 a
Metomilo	99,35 b
Clorpirifos etil	99,35 b
Cipermetrina	93,35 b
Spinetoran	97,43 b

Letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

En cuanto al metomilo, como insecticida generalista del grupo químico de los carbamatos, resultó ser el más agresivo para especies insectiles no objetivo o especies a las que no fue dirigida la aspersión, con un promedio de mortalidad de 45,75 % (Cuadro 3), entre los que se encontraron ejemplares pertenecientes a las familias

Braconidae, Ichneumonidae y Carabidae (Cuadro 4). El uso de insecticidas generalistas como el metomil para el control de plagas representa un riesgo para la conservación y la biodiversidad. Gregor et al. (2008) y Medina (2008) mencionan que este compuesto afecta diversos organismos los cuales disminuyen su población después de una

Gutiérrez et al. Compatibilidad de insecticidas con parasitoides de *Spodoptera frugiperda*

aplicación, e incluso afectan la fecundidad de algunos parasitoides himenópteros a la vez que estimulan el crecimiento de organismos plaga, debido al desbalance en las poblaciones de parasitoides y su diversidad. Las moléculas y mezclas utilizadas en campo expresan comportamientos diversos como respuesta biológica (antagonismo, aditividad, sinergismo y potenciación) a la combinación química y a los factores ambientales, y susceptibilidad de la plaga insectil a controlar. Puede existir, incluso, acción sinergista contra aquellos insectos plaga que son reportados con resistencia metabólica, lo que cuestiona el efecto sobre especies que no están expuestas a presión de selección, como los polinizadores, especies no objetivo, o simplemente los fitófagos, cuya presencia no representa riesgo fitosanitario al cultivo (Abellán et al., 2020).

El clorpirifos etil, como insecticida generalista, presentó el mismo modo de acción que el metomilo y ocasionó un promedio de mortalidad de 27,25 % de insectos no objetivo, constituyéndose así como el segundo tratamiento con mayor diversidad de mortalidad entre los que se encuentran varias familias de parasitoides y depredadores. Hill y Foster (2000) mencionan que clorpirifos, reduce el número de hembras cuando el parasitoide es expuesto a dicha sustancia,

mientras que Corrêa et al. (2006) reportan que el porcentaje de parasitismo antes de una aplicación de clorpirifos fue de 87,74 % y después de ésta se redujo a tan solo el 2,46 %, y afectó principalmente al parasitoide *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae). Además, clorpirifos presentó un control sobre la plaga de 97,54 %, valor ligeramente inferior al obtenido en el presente trabajo. Orozco et al. (2019) describen que el cultivo de maíz registra una gran diversidad, similitud y abundancia de parasitoides como en los sistemas naturales, y el control biológico es una estrategia de manejo de menor impacto al ambiente y una alternativa factible que contribuye a la sustentabilidad, con reducción del número de aplicaciones químicas. Sin embargo, esta estrategia de manejo es afectada por el uso indiscriminado de ingredientes activos que alteran el equilibrio ecológico de las regiones productoras. Badii y Varela (2008) y Stapel et al. (2000) señalan que insecticidas del grupo toxicológico de los organofosforados, como clorpirifos etil, son tóxicos a organismos no objetivo como insectos benéficos y otros organismos de vida silvestre. En el caso de parasitoides pueden llegar a afectar la respuesta de vuelo y longevidad, como es el caso de *Microplitis croceipes* Cresson (Hymenoptera: Braconidae).

Cuadro 3.- Porcentaje de mortalidad de insectos no objetivo por tratamiento en aplicaciones de diferentes insecticidas para el control de *Spodoptera frugiperda*

Tratamiento	Insectos no objetivo (%)
Agua	3,5 b
Metomilo	45,75 a
Clorpirifos etil	27,25 ab
Cipermetrina	24,75 ab
Spinetoran	6,00 b

Letras diferentes indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

La cipermetrina, un ingrediente activo clasificado dentro de los insecticidas generalistas, presentó un promedio de mortalidad de organismos no objetivo de 24,75 % ubicándolo como el tercer insecticida más tóxico entre los evaluados y afectó a una amplia diversidad de individuos, entre los cuales se registraron las familias de Carabidae, Sirphidae, Tachinidae, Ichneumonidae y Braconidae (Cuadro 4). Estos

antecedentes coinciden con los trabajos de Jones et al. (1998) y Coutinho et al. (2003), quienes mencionan que los piretroides afectan a adultos del parasitoide *Cotesia* sp. (Hymenoptera: Braconidae). Además, los piretroides (como la cipermetrina), junto a insecticidas carbamatos y fosforados, tienen efectos sobre especies insectiles y microbiales benéficos, y en específico, inhiben la germinación de esporas (Arcila, 2020).

Cuadro 4.- Mortalidad promedio por tratamiento de insectos no objetivo por orden y familia por efecto colateral del uso de insecticidas para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frujiperda*)

Tratamiento	Coleoptera										Diptera											
	An	Ca	Cr	Cu	El	Pa	Sc	St	Te	As	Ch	Cl	Ct	Do	Dr	He	Mu	Ph	Si	Ta	Tp	Ti
T₁ (Clorpirifos etil)	3,50	0,00	9,25	0,00	0,50	0,00	0,00	3,00	1,75	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	1,25	0,25	0,00
T₂ (Cipermetrina)	2,25	0,25	10,25	0,00	0,25	0,00	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50
T₃ (Metomilo)	5,25	0,50	12,75	0,25	0,00	0,00	0,50	4,25	1,75	0,00	0,75	0,00	1,25	1,25	0,50	0,25	1,25	0,25	0,75	0,25	1,50	0,75
T₄ (Spinetoram)	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
T₅ (Agua)	0,25	0,00	0,50	0,00	0,00	0,25	0,75	0,25	0,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

An= Anthicidae, Ca= Carabidae, Cr= Chrysomellidae, Cu= Curculionidae, El= Elateridae, Pa= Passalidae, Sc= Scarabaeidae, St= Staphylinidae, Te= Tenebrionidae, As= Ascilidae, Ch= Chloropidae, Cl= Culicidae, Ct= Curtonotidae, Do= Dolichopodidae, Dr= Drosophilidae, He= Heleomyzidae, Mu= Muscidae, Ph= Phoridae, Si= Sirphyidae, Ta= Tachinidae, Tp= Tephritidae, Ti= Tipullidae,

Cuadro 4 (continuación). Mortalidad promedio por tratamiento de insectos no objetivo por efecto colateral del uso de insecticidas para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frujiperda*)

Tratamiento	Collembola Dermaptera		Hemiptera							Hymenoptera					Orthoptera	
	Is	Fr	At	Ce	Ci	Co	Mi	Ps	Ap	Br	Fo	Ic	Sl	Tr	Ot	
T₁ (Clorpirifos etil)	2,50	0,00	0,25	0,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	1,00	
T₂ (Cipermetrina)	1,25	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1,00	0,25	0,00	0,25	2,50	
T₃ (Metomilo)	0,00	0,50	1,00	1,00	4,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	3,25	0,25	0,25	0,50	0,50	
T₄ (Spinetoram)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,75	
T₅ (Agua)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	

Cll=Collembola, Is= Isotomidae, De=Dermaptera, Fr= Forficulidae, At= Anthocoridae, Ce= Cercopidae, Ci= Cicadellidae, Co= Coreidae, Mi= Miridae, Ps= Psyllidae, Ap= Aphidae, Br= Braconidae, Fo= Formicidae, Ic= Ichneumonidae, Sl= Scelionidae, Or=Orthoptera, Tr= Tetrigidae, Ot= Otros.

Spinetoran, del grupo químico de las spinosinas, fue el insecticida menos tóxico para los organismos insectiles presentes en el momento de la aplicación, con un promedio de mortalidad de 6,0 %, valor que no mostró diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 3). La respuesta biológica del spinetoran puede ser afectada por diversos factores bióticos y abióticos como la temperatura, luz y humedad relativa, aunado al estado biológico de la especie (Ramírez et al., 2022). Alegre et al. (2021) encontró que el spinetoran tiene alta toxicidad para larvas y adultos de *Chrysoperla externa* pero bajo efecto sobre huevos y pupas.

Luna et al. (2011) reportan a este grupo de insecticidas como moderadamente tóxicos por presentar una mortalidad de organismos benéficos de 80,99 %. Sin embargo, Besard et al. (2011) mencionan que spinetoram es 52 veces menos tóxico que spinosad contra insectos no objetivo, como sucede por ejemplo en el caso del abejorro *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). Sin embargo, el spinetoram tiene alta propensión al desarrollo de resistencia debido a que las diferentes spinosinas fomentan el desarrollo de resistencia cruzada (Lira et al., 2020). Por lo anterior descrito, existen alternativas en el mercado que representan un área de oportunidad en el manejo químico de plagas agrícolas, con menor impacto al entorno ecológico y son considerados insecticidas específicos.

En el manejo de plagas del maíz y otros cultivos intensivos se debe considerar un control menos agresivo con el ambiente, específicamente, el control biológico representa una estrategia sustentable que bien aplicada y sustentada en el monitoreo sistematizado, pronóstico, diagnósticos correctos y umbrales de acción, reducen significativamente el número de aplicaciones químicas. Las liberaciones en momentos óptimos, en presencia de la plaga a niveles incipientes, permiten un control biológico más eficiente y aceptable en sistemas de producción de la agricultura orgánica (Hernández et al., 2019).

Finalmente, no se puede generalizar al clasificar a las diferentes sustancias insecticidas como perjudiciales o no perjudiciales contra organismos presentes y no objetivo solo por pertenecer al mismo grupo químico. Sin duda, son muchos los estudios que aún faltan por realizarse

para conocer las interacciones que existen entre el grupo planta-ambiente-insecticida y el efecto en el entorno ecológico, así como los organismos que son afectados de forma directa o indirecta en su entorno y los efectos letales o subletales para dichas especies.

CONCLUSIONES

Las moléculas químicas representan ventajas en el control del gusano cogollero en maíz al reducir significativamente su población y presencia. Sin embargo, se deben seleccionar alternativas sustentables, tales como el spinetoram que representan un menor impacto sobre los controladores biológicos de plagas presentes de manera natural.

Los ingredientes activos generalistas como metomilo y clorpirifos etil representan un riesgo potencial para la diversidad de especies que fungen como indicadores de biodiversidad y controladores biológicos y que mantienen el equilibrio ecológico en los sistemas de producción en maíz.

La cipermetrina, clasificado también como insecticida generalista, presentó un promedio de mortalidad de organismos no objetivo de 24,75 % y mostró ser el grupo químico menos agresivo por ser de menor persistencia y menor efecto tóxico entre los otros productos generalistas evaluados.

LITERATURA CITADA

1. Abellán-Lozoya, J.J., E. Fernández., C. Grávalos-Riesco y L.P. Bielza. 2020. Los carbamatos sinergizan la toxicidad del acinatrín en poblaciones resistentes del trips occidental de las flores (Thysanoptera: Thripidae). In: Proceedings of the 8th Workshop on agri-food research: WiA.19. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, CRAI Biblioteca, 2020. pp. 57-60.
2. Alegre, A., Joyo, G.E., y Iannacone, J. 2021. Toxicidad de spinetoram y matrine sobre los estados de desarrollo de dos enemigos naturales: *Chrysoperla externa* y *Ceraeochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae). Agriscientia 38(1): 61-80.

3. Almeida I.P., y P.J.G. Mendoza. 2021. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del maíz. *Revista Peruana de Innovación Agraria* 1(1): 130-150.
4. Andrews, K.L. 1988. Latin america research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida entomologist* 71(4): 630-653.
5. Arcila-Moreno, A. 2020. Efecto de los agroquímicos en el control natural. *In*: P. Benavides Machado y C.E. Góngora (eds.). *Efecto de los Agroquímicos en el Control Natural*. Cenicafé, Bogotá. pp. 158-185.
6. Ayala, R.O., F., Navarro y G.E. Virla. 2013. Evaluation of the attack rates and level of damages by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affecting corn-crops in the northeast of Argentina. *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo* 45(2): 1-12.
7. Badii, H.M. y S. Varela. 2008. Insecticidas organofosforados: Efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT (Cultura Científica y Tecnológica)* 5(28): 1-27.
8. Bejarano, G.F. (ed.) 2017. *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Ed. Rapam, México.
9. Besard L, V.G. M. Abdu-Alla y G. Smagghe. 2011. Lethal and sublethal side- effect assessment supports a more benign profile of spinetoram compared with spinosad in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Pest Management Science* 67(5): 541-547.
10. Cloyd R.A. 2012. Indirect effects of pesticides on natural enemies. *In*: R.P. Soundararajan (ed.). *Pesticides – Advances in Chemical and Botanical Pesticides*. IntechOpen, London. Capítulo 6.
11. Corrêa F.M. de L.M., A.M. Penteadó e I. Cruz. 2006. Efeito do inseticida chlorpyrifos e sua interação com inimigos naturais na supressão de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 5: 325-339.
12. Coutinho P.M, M.M. Fialho, M.M. Motta, G.L. Moreira y F.F. Lemes. 2003. Selectividade de insecticidas a *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) e *Cotesia* sp. (Hymenoptera: Braconidae) inimigos naturais de *Ascia monuste orseis* (Godart, 1818) (Lepidoptera: Pieridae). *Ciência Rural, Santa Maria*. 33: 183-188.
13. Deras-Flores H. 2020. Guía técnica: el cultivo de maíz. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San Salvador. <https://n9.cl/tqfa20>
14. Díaz-Vallejo, J., A. Villarreal., L. Estrada y L. Hernández-Cadena. 2021. Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud Pública de México* 63(4): 486-497.
15. Gregor J.D, D. Eza, E. Ogusuku y M.J. Furlong. 2008. Uso de insecticidas y consecuencias ecológicas. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Publica* 25(1): 74-100.
16. Guerrero-Meléndez, T.Y., A.B. Ríos Alvarado, R.V. Roque Hernández y V.P. Saldívar-Alonso. 2021. La gestión y transferencia de conocimiento sobre el maíz en México a través del desarrollo de ontologías de dominio: un desafío actual. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores* 8(2): Artículo 32.
17. Guédez C., C. Castillo, L. Cañizales y R. Olivar. 2008. Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Revista Semestral Academia* 7: 50-74.
18. Hellin J., A. Keleman, D. López, L. Donnet y D. Flores. 2013. La importancia de los nichos de mercado: Un estudio de caso del maíz azul y del maíz para pozole en México. *Revista fitotecnia mexicana* 36: 315-328.
19. Hernández-Trejo A., B. Estrada-Drouaillet, R. Rodríguez-Herrera., J. M. García Girón., S. A. Patiño-Arellano y E. Osorio-Hernández. 2019. Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(4): 803-813.
20. Hill T.A. y R.E. Foster. 2000. Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Economic Entomology* 93(3): 763-768.

21. Jones A.W., M.A. Ciomperlik y D.A. Wolfenbarger. 1998. Lethal and sublethal effects of insecticides on two parasitoids attacking *Bemisia argentifolli* (Homoptera: Aleyrodidae). *Biological Control* 11: 70-76.
22. Lira, E.C., A. Bolzan., A.R. Nascimento., F.S. Amaral., R.H. Kanno., Kaiser, I.S. y C. Omoto. 2020. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) al espinetoram: herencia y resistencia cruzada al spinosad. *Pest Management Science* 76(8): 2674-2680.
23. Luna C.A., F.J.R. Lomeli, L.E. Rodríguez, A. L.D. Ortega y D.L.P.A. Huerta. 2011. Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Acta Zoológica Mexicana* 27 (3): 509-526.
24. Luna, M.G. 2020. Parasitoides. In: L.A. Polack, R.E. Lecuona y S.N. López (comp.) *Control Biológico de Plagas en Horticultura*. Instituto de Ecología, Buenos Aires. pp. 75-88.
25. Medina, P., J. Morales, G. Smagghe y E. Viñuela. 2008. Toxicity and kinetics of spinosad in different developmental stages of the endoparasitoid *Hyposoter didymator* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and its host *Spodoptera littoralis* larvar (Lepidoptera: Noctuidae). *BioControl* 53: 569-578.
26. Navik O., A. Shylesha, J. Patil, T. Venkatesan, Y. Lalitha y T.R. Ashika. 2021. Daño, distribución y enemigos naturales del gusano cogollero invasivo *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) bajo maíz de secano en Karnataka, India. *Protección de Cultivos* 143: 105536.
27. Moo-Muñoz, A.J., E.P. Azorín-Vega, N. Ramírez-Durán y M.P. Moreno-Pérez. Estado de la producción y consumo de plaguicidas en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23(1): 43.
28. Orozco-Peón, O., A. González-Moreno., E. Ruiz y J.M. Tun-Suárez. 2019. Comunidades y gremios de parasitoides (Hymenoptera: Ichneumonidae) en cultivo de maíz y selva baja caducifolia circundante. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(17): 195-205.
29. Polack, L.A. 2020. Control biológico clásico. In: L.A. Polack, R.E. Lecuona y S.N. López (comp.) *Control Biológico de Plagas en Horticultura*. Instituto de Ecología, Buenos Aires. pp. 107-112.
30. Prabhaker, N., S. Naranjo., T. Perring y S. Castle. 2017. Comparative toxicities of newer and conventional insecticides: against four generalist predator species. *Journal of Economic Entomology* 110(6): 2630-2636.
31. Ramírez-Cerón, D., E. Rodríguez-Leyva, J.R. Lomeli-Flores, L., Soto-Rojas, S., Ramírez-Alarcón y A. Segura-Miranda. 2022. Toxicity and residual activity of insecticides against *Diadegma insulare*, a parasitoid of the diamondback moth. *Insects* 13(6): 514.
32. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consulta de julio, 2023).
33. Stapel, J. O., A.M. Cortesero., y W.J. Lewis. 2000. Disruptive sublethal effects of insecticides on biological control: altered foraging ability and life span of a parasitoid after feeding on extrafloral nectar of cotton treated with systemic insecticides. *Biological Control* 17: 243-249.
34. Van Lenteren, J.C. 2012. *IOBC Internet Book of Biological Control*. Zürich. Version 6. <https://n9.cl/bp29yc> (consulta de marzo, 2020).

