

SUSCEPTIBILIDAD DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) A INSECTICIDAS ASOCIADA A CÉSPED EN QUINTANA ROO, MÉXICO

INSECTICIDE SUSCEPTIBILITY OF *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) ASSOCIATED WITH TURFGRASS AT QUINTANA ROO, MÉXICO

Imelda León-García¹, Esteban Rodríguez-Leyva^{1*}, Laura D. Ortega-Arenas¹, Juan F. Solís-Aguilar²

¹Entomología y Acarología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. (esteban@colpos.mx). ²Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México, México.

RESUMEN

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* es una de las principales plagas que ataca al maíz (*Zea mays* L.) y céspedes (*Paspalum vaginatum* Swartz, *Cynodon dactylon* (L.) Pers.) en el sur de EE.UU., México, Centro y Sudamérica. Este gusano causa daños al follaje y ocasionalmente pérdida de secciones de la carpeta, y su control se realiza mediante insecticidas. El objetivo de esta investigación fue determinar la susceptibilidad de *S. frugiperda* a insecticidas de uso común en campos de golf de Quintana Roo, México, para generar las bases de un programa de manejo. Se evaluó la susceptibilidad a los insecticidas lambda-cyhalotrina, deltametrina, ciflutrina y metomil mediante aplicación tópica en el protórax de larvas de tercer ínstar. La mortalidad se registró 24 h después de aplicar los insecticidas y se determinó la línea de respuesta log dosis probit y los valores de DL₅₀ y DL₉₅. La población de *S. frugiperda* del campo Iberostar Playa Paraíso Golf Club (20° 45' 41" N, 86° 57' 59" O; 3 m altitud) en la Riviera Maya, Quintana Roo, mostró resistencia alta a los insecticidas deltametrina (1002.2x), lambda-cyhalotrina (204.5x), ciflutrina (162.7x) y metomil (183.0x).

Palabras clave: campos de golf, *Paspalum vaginatum*, *Cynodon dactylon*, *Spodoptera frugiperda*, resistencia.

INTRODUCCIÓN

El gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), es una de las plagas más comunes que atacan al

ABSTRACT

The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* is one of the major pests that attacks corn (*Zea mays* L.) and turfgrass (*Paspalum vaginatum* Swartz, *Cynodon dactylon* (L.) Pers.) in the Southern USA, México, Central and South America. This pest causes damage to foliage and sometimes loss of sections of the golf carpet, and it is controlled by insecticides. The objective of this research was to determine susceptibility of *S. frugiperda* to insecticides commonly used in golf courses in Quintana Roo, México, to generate bases for a management program. Susceptibility to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, cyfluthrin and methomyl was evaluated by topical application on the prothorax of third instar larvae. Mortality was recorded 24 h after applying the insecticides and the log dose response line probit and the LD₅₀ and LD₉₅ values were determined. *Spodoptera frugiperda* population of the course Iberostar Playa Paraíso Golf Club (20° 45' 41" N, 86° 57' 59" W; 3 m altitude) at the Riviera Maya, Quintana Roo, showed high resistance to insecticides deltamethrin (1102.2x), lambda-cyhalothrin (204.5x), cyfluthrin (162.7x) and methomyl (183.0x).

Key words: golf courses, *Paspalum vaginatum*, *Cynodon dactylon*, *Spodoptera frugiperda*, resistance.

INTRODUCTION

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), is one of the most common pests that attacks corn (*Zea mays* L.) in the Southern USA, México, Central and South America (Rojas *et al.*, 2004; Murúa *et al.*, 2006; Farias *et al.*, 2008). This species has several hosts, including grasses (Kumar and Mihm, 2002;

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2011. Aprobado: marzo, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 279-287. 2012.

maíz (*Zea mays* L.) en el sur de EE.UU., México, Centro y Sudamérica (Rojas *et al.*, 2004; Murúa *et al.*, 2006; Farias *et al.*, 2008). Esta especie tiene varios hospederos, entre ellos pastos (Kumar y Mihm, 2002; Martínez *et al.*, 2004). En México, *S. frugiperda* daña el césped, principalmente *Paspalum vaginatum* Swart, de los campos de golf de la Riviera Maya, Quintana Roo (León-García, 2009). En EE.UU. y Canadá se asocia a pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.), pasto ovilla (*Lolium perenne* L.) y agrostis (*Agrostis* spp.) (Reinert *et al.*, 1997; Braman *et al.*, 2004; Pessarakli, 2007).

El gusano cogollero afecta la calidad de los céspedes porque las larvas se alimentan de los márgenes de las hojas y reducen el vigor de las plantas; el daño mayor lo causan cuando muerden la corona de las plantas ocasionando debilitamiento, mal desarrollo y muerte del césped (Potter, 1998; Kumar y Mihm, 2002). Aunque *S. frugiperda* se considera una plaga ocasional en céspedes en los EE.UU., tiene el potencial para dañar severamente los céspedes del sur; en climas tropicales puede ser una plaga de primer orden (Potter, 1998; Johnson *et al.*, 2002; Potter, 2008). En la Riviera Maya, con clima cálido subhúmedo, *S. frugiperda* es una plaga importante en campos de golf pero no hay evaluaciones formales de incidencia y daño y su control se realiza con la aplicación de insecticidas (León-García, 2009).

En la literatura revisada no se encontraron estudios sobre el estado actual de la resistencia a insecticidas de poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de césped, pero esta especie tiene un historial importante de casos de resistencia. Por ejemplo, hubo casos de resistencia a compuestos organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides por al menos dos décadas en EE.UU. (Wood *et al.*, 1981; Georgiou y Mellon, 1983; Yu, 1992). Esta situación se repitió con poblaciones recolectadas en maíz en México con los mismos grupos toxicológicos (Pacheco-Covarrubias, 1993; Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009) y con piretroides (lambdacialotrina) en Brasil (Diez-Rodríguez y Omoto, 2001). A pesar de las propuestas de manejo integrado de plagas, de la rotación de grupos toxicológicos por regiones, del conocimiento de la actividad de las esterasas asociadas con resistencia a insecticidas organofosforados, piretroides y carbamatos en especies de *Heliothis* y *Spodoptera* (Farnsworth *et al.*, 2010), y de la comprensión de la heredabilidad de la resistencia en

Martínez *et al.*, 2004). In México, *S. frugiperda* damages the turfgrass, mainly *Paspalum vaginatum* Swartz, of the golf courses of the Riviera Maya, Quintana Roo (Leon-García, 2009). In the USA and Canada it is associated with Bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.), orchard grass (*Lolium perenne* L.) and bentgrass (*Agrostis* spp.) (Reinert *et al.*, 1997; Braman *et al.*, 2004; Pessarakli, 2007).

The armyworm affects the quality of turfgrass because the larvae feed on leaf margins and reduces plant vigor; the greatest damage is caused when they bite the crown of the plants causing weakness, poor development and death of the turfgrass (Potter, 1998; Kumar and Mihm, 2002). Although *S. frugiperda* is considered an occasional pest in turfgrass in the USA, it has the potential to severely damage turfgrasses of the south; in tropical climates it can be a pest of first order (Potter, 1998; Johnson *et al.*, 2002; Potter 2008). In the Riviera Maya, with tropical climate, *S. frugiperda* is a major pest on golf courses but there are no formal evaluations of incidence and damage and its control is done with the application of insecticides (Leon-García, 2009).

In the reviewed literature studies were not found on the current status of insecticide resistance of *S. frugiperda* from turfgrass, but this species has a substantial record of cases of resistance. For example, there were cases of resistance to organochlorines, organophosphates, carbamates and pyrethroids for at least two decades in the USA (Wood *et al.*, 1981; Georgiou and Mellon, 1983; Yu, 1992). This situation was repeated with populations collected from corn in México with the same toxicological groups (Pacheco-Covarrubias, 1993; Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009) and with pyrethroids (lambda-cyhalothrin) in Brazil (Diez-Rodríguez and Omoto, 2001). Despite of the proposals for integrated pest management, of rotation of toxicological groups by region, of knowledge about the esterase activity associated with resistance to organophosphate insecticides, pyrethroids and carbamates in *Heliothis* and *Spodoptera* species (Farnsworth *et al.*, 2010), and the understanding of resistance heritability in populations of *S. frugiperda* (Ríos-Díez and Saldamando-Benumea, 2011), organophosphate, carbamates and pyrethroid insecticides have an important role in the pesticide market. Overuse of pyrethroid and carbamate insecticides against *S. frugiperda* in golf courses in the Riviera Maya allows

poblaciones de *S. frugiperda* (Ríos-Díez y Salda-mando-Benumea 2011), los insecticidas organofos-forados, carbamatos y piretroides tienen una función importante en el mercado de los plaguicidas. El uso desmedido de insecticidas piretroides y carbamatos contra *S. frugiperda* en los campos de golf en la Riviera Maya permite proponer la hipótesis de que dicha población plaga ha desarrollado resistencia a los insecticidas usados para su control. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la susceptibilidad de *S. frugiperda* a insecticidas de uso común en los campos de golf en la Riviera Maya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Poblaciones de *Spodoptera frugiperda*

La respuesta a insecticidas se determinó en dos poblaciones, una susceptible y otra de campo. Como población susceptible de referencia se empleó una colonia de *S. frugiperda* recolectada en maíz en el Estado de México, proporcionada por personal del área de Toxicología del Colegio de Postgraduados, mantenida en laboratorio sobre la misma dieta artificial y libre de presión de selección por insecticidas durante ~5 años. La de campo se inició con ~250 larvas recolectadas durante 2007 y 2008, sobre *Paspalum vaginatum* Swartz de un campo de golf en Quintana Roo (Iberostar Playa Paraíso Golf Club, 20° 45' 41" N, 86° 57' 59" O; 3 m altitud). Las larvas se colocaron individualmente en vasos de plástico de 25 mL con dieta artificial (Southland Products Inc®, Lake Village, Arkansas) y se trasladaron al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, para establecer la colonia. Los ensayos de resistencia se realizaron con las generaciones F1 y F2 de la colonia de campo, por lo que se recolectaron larvas periódicamente durante el estudio.

Las larvas se alimentaron hasta obtener pupas las cuales se colocaron en cajas petri con papel absorbente y se mantuvieron en jaulas de organza con armazón de alambre (25×25×35 cm), hasta la emergencia de los adultos que se alimentaron con solución azucarada al 10 %. Grupos de 20 adultos, sin distinción de sexo, se colocaron en bolsas de papel de estraza para la oviposición. Los huevos se recolectaron diariamente y se mantuvieron en un recipiente de plástico (16×16×7.5 cm) hasta la emergencia de las larvas, las cuales se transfirieron a recipientes (25 mL) con dieta individual. La población se mantuvo en una cámara de cría a 27±2 °C, 75±10 % HR y fotoperiodo de 14:10 h luz:oscuridad.

us to propose the hypothesis that the pest population has developed resistance to insecticides used to its control. Therefore, the objective of this study was to determine the susceptibility of *S. frugiperda* to commonly used insecticides in the golf courses on the Riviera Maya.

MATERIALS AND METHODS

Populations of *Spodoptera frugiperda*

The response to insecticides was determined in two populations, one susceptible and one field-collected population. As susceptible reference population a colony of *S. frugiperda* was used; it was collected from corn in the Estado de México, provided by staff of Toxicology of the Colegio de Postgraduados, maintained in laboratory on the same artificial diet and free from insecticide selection pressure for ~5 years. The field population was initiated with ~250 larvae collected during 2007 and 2008, on *Paspalum vaginatum* Swartz of a golf course in Quintana Roo (Iberstar Playa Paraíso Golf Club, 20° 45' 41" N, 86° 57' 59" W; 3 m altitude). Larvae were placed individually in 25 mL plastic cups with artificial diet (Southland Products Inc®, Lake Village, Arkansas) and moved to the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, to establish the colony. Resistance tests were performed with F1 and F2 generations of the field colony, so that larvae were collected periodically during the study.

Larvae were fed up to obtain pupae which were placed in Petri dishes with absorbent paper and maintained in cages with wire frame organza (25×25×35 cm) until emergence of adults that were fed with 10 % sugar solution. Groups of 20 adults, regardless of sex were placed in brown paper bags for oviposition. The eggs were collected daily and maintained in a plastic container (16×16×7.5 cm) until the emergence of larvae, which were transferred to containers (25 mL) with individual diet. The population was maintained in a rearing chamber at 27±2 °C, 75±10 % RH and photoperiod of 14:10 h light:darkness.

Insecticides

Four commonly used insecticides were selected to control *S. frugiperda* in the Riviera Maya, Quintana Roo (Hernández, V. 2006)^[3]. The compounds tested were lambda-cyhalothrin, KARATE ZEON 5 CS®, 92.1 % purity, Cía. Syngenta Agro, S. A. de C. V. [(Pyrethroid (PIRT)); cyfluthrin, BAYTROID®, 96.7 % purity, Cía. Bayer de México, S. A. de C. V. [(Pyrethroid (PIRT)); deltamethrin, DECIS®, 99.2 % purity, Cía. Bayer de

Insecticidas

Se seleccionaron cuatro insecticidas usados frecuentemente para controlar *S. frugiperda* en la Riviera Maya, Quintana Roo (Hernández, V. 2006)^[3]. Los compuestos ensayados fueron lambdacialotrina, KARATE ZEON 5 CS®, 92.1 % de pureza, Cía. Syngenta Agro, S. A. de C. V. [(Piretroide (PIRT))]; ciflutrina, BAYTROID®, 96.7 % de pureza, Cía. Bayer de México, S. A. de C. V. [(Piretroide (PIRT))]; deltametrina, DECIS®, 99.2 % de pureza, Cía. Bayer de México, S. A. de C. V. [(Piretroide (PIRT))]; y metomil, METONATE 90 PS®, 90 % de pureza, Cía. Quimix, S. A. de C. V. [(Carbamato (CAR))]. Los primeros tres insecticidas mantienen abiertos los canales de sodio, mientras que el carbamato interfiere en la transmisión sináptica al inhibir la acetilcolinesterasa. Las concentraciones seriadas de los insecticidas se prepararon en acetona grado analítico (REASOL®).

Procedimiento experimental

Se utilizó el método de aplicación tópica propuesto por The American Entomological Society (Anonymous, 1970), depositando 1 μ L de una concentración conocida del insecticida, diluido en acetona en grado analítico, en el pronoto de cada larva de tercer ínstar (L3). El insecticida se aplicó con una jeringa Hamilton® para cromatografía de 500 μ L, acoplada a un microaplicador manual de repetición.

Primero se determinaron los límites de respuesta a cada insecticida mediante un experimento preliminar (ventana de respuesta biológica), usando dosis de 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 y 1.0 %, para detectar porcentajes de mortalidad del insecto en el intervalo de cero a 100. Luego se intercalaron dosis logarítmicas que cubrieran dicho intervalo para efectuar el ensayo completo. Las dosis usadas para cada insecticida fueron de siete a 11. Para cada dosis se usaron 10 larvas (45 ± 3 mg de peso) y se realizaron cinco repeticiones. Cada repetición incluyó un testigo al cual sólo se aplicó acetona. Las larvas tratadas se mantuvieron individualmente en vasos de plástico con dieta artificial, en las mismas condiciones ambientales de la cámara de cría.

Después de 24 h de la aplicación de insecticidas se registró la mortalidad individual, donde una larva muerta fue aquella sin capacidad para moverse, desplazarse, o cambiar de posición cuando se ejerció presión en el abdomen con una aguja de disección. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo absoluto fue ≤ 10 % y la mortalidad en los tratamientos se corrigió con de la ecuación de Abbott (Abbott, 1925).

México, S. A. de C. V. [(pyrethroid (PIRT))]; and methomyl, METONATE 90 PS®, 90 % purity, Cia. Quimix, S. A. de C. V. [(carbamate (CAR))]. The first three insecticides kept open the sodium channels, whereas the carbamate interferes with synaptic transmission by inhibiting acetylcholinesterase. The serial concentrations of insecticides were prepared in analytical grade acetone (REASOL®).

Experimental protocol

The topical application method proposed by the American Entomological Society (Anonymous, 1970) was used, depositing 1 μ L of a known concentration of the insecticide, diluted in acetone in analytic grade, on the pronotum of each larva of third instar (L3). The insecticide was applied with a Hamilton® syringe for chromatography of 500 μ L, coupled to a manual micro-applicator of repetition.

First, the response limits were determined for each insecticide by a preliminary experiment (biological response window), using doses of 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 and 1.0 %, to detect insect mortality rates in the range of zero to 100. Then logarithmic doses were intercalated to cover the interval to perform the full test. The doses used for each insecticide were from 7 to 11. For each dose 10 larvae (45 ± 3 mg in weight) were used and five replicates were performed. Each replication included a control to which only acetone was applied. Treated larvae were maintained individually in plastic cups with artificial diet under the same environmental conditions in the rearing chamber.

After 24 h of application of insecticides individual mortality was recorded, where a dead larva was that unable to move, displace or change position when pressure was put on the abdomen with a dissecting needle. The maximum acceptable mortality level for the absolute control was ≤ 10 % and mortality in treatments was corrected with Abbott's equation (Abbott, 1925).

Statistical analysis

Results were analyzed using the program POLO-PC (LeOra Software, 1987) to obtain the log dose response line probit and the values of LD₅₀ and LD₉₅, confidence limits at 95 % and the relative response (RR). RR values at 50 and 95 % mortality were obtained by dividing LD₅₀ or LD₉₅ of the field population between the LD₅₀ or LD₉₅ of the susceptible population. It was considered that the responses of the compared populations were not statistically different when the confidence limits overlapped (Robertson and Preisler, 1992).

³ Hernández, V. 2006. Superintendente del campo de golf Moon Palace Golf & Spa Resort ♦ Hernández, V. 2006. Superintendent of Golf Moon Palace Golf & Spa Resort. (vihernandez@palaceresorts.com).

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante el programa POLO-PC (LeOra Software, 1987) para obtener la línea de respuesta log dosis probit y los valores de DL_{50} y DL_{95} , los límites de confianza al 95 % y la respuesta relativa (RR). Los valores de la RR a 50 y 95 % de mortalidad se obtuvieron al dividir la DL_{50} o DL_{95} de la población de campo entre la DL_{50} o DL_{95} de la población susceptible. Se consideró que las respuestas de las poblaciones comparadas no fueron estadísticamente diferentes cuando los límites de confianza se traslaparon (Robertson y Preisler, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población de *S. frugiperda* proveniente del campo de golf de la Riviera Maya es resistente a los insecticidas piretroides y carbamatos evaluados en este estudio. En las dosis letales DL_{50} y DL_{95} , los límites de confianza al 95 % de la población de campo no se traslaparon con los límites de confianza correspondientes de la población susceptible en ninguno de los casos. Esto situación indica que hay diferencias significativas entre la población de campo y susceptible en ambos grupos de insecticidas (Cuadro 1).

En general, los niveles de resistencia encontrados en la población de *S. frugiperda* de campo a los piretroides lambdacialotrina (204.5 y 290.6x), ciflutrina (162.7 y 564.6x), y deltametrina (207.8 y 10002.2x)

RESULTS AND DISCUSSION

The population of *S. frugiperda* from the golf course in the Riviera Maya is resistant to pyrethroid and carbamate insecticides evaluated in this study. In both lethal doses, LD_{50} and LD_{95} , confidence limits at 95 % of the field population did not overlap with the corresponding confidence limits of the susceptible population in either case. This situation indicates that there are significant differences between the field and susceptible population in both groups of insecticides (Table 1).

In general, resistance levels found in the field population of *S. frugiperda* to pyrethroids lambda-cyhalothrin (204.5 and 290.6x), cyfluthrin (162.7 and 564.6x) and deltamethrin (207.8 and 10002.2x) were higher than those found for insecticide methomyl (183.0 and 29.7x) of carbamates group (Table 1). However, all these resistance levels should be considered high. This study is the first formal report of the current status of insecticide susceptibility of *S. frugiperda* in turfgrass of golf courses in the Riviera Maya. According to available information on the management of golf courses in that locality, the insecticides methomyl and lambda-cyhalothrin are used to combat this pest, one of the most important in the turfgrass (León-García, 2009). Therefore, despite not getting the record number of applications per season, most likely the resistance levels recorded in this study are related to exposure history.

Cuadro 1. Toxicidad de insecticidas en larvas de *Spodoptera frugiperda* provenientes de un campo de golf de Quintana Roo, México.

Table 1. Toxicity of insecticides in larvae of *Spodoptera frugiperda* from a golf course in Quintana Roo, México.

Población	n [†]	Insecticida	b±EE [‡]	$DL_{50}^{\S}$ (95 % LC ^b)	$DL_{95}^{\S}$ (95 % LC ^b)	$Pr>\chi^{2a}$	RR ₅₀ ^{††}	RR ₉₅ ^{††}
Campo	450	Lambdacialotrina	1.08±0.84	0.388 (0.279-0.530)	12.935 (7.758-25.118)	4.2	204.5	290.6
Susceptible	450		1.20±0.10	0.0019 (0.0014-0.0025)	0.044 (0.026-0.088)	3.4		
Campo	450	Deltametrina	0.92±0.72	0.380 (0.265-0.547)	22.485 (11.901-51.580)	6.7	1002.2	207.8
Susceptible	600		0.67±0.52	0.00038 (0.0002-0.0006)	0.108 (0.044-0.366)	10.3		
Campo	500	Ciflutrina	1.04±0.89	2.594 (1.402-5.280)	96.275 (31.396-756.056)	17.8	162.7	564.6
Susceptible	450		1.59±0.13	0.0159 (0.0127-0.0200)	0.170 (0.114-0.291)	2.0		
Campo	400	Metomil	1.35±0.12	1.757 (1.332-2.301)	28.561 (17.629-55.608)	4.4	183.0	29.7
Susceptible	550		0.82±0.63	0.0095 (0.0057-0.015)	0.960 (0.388-3.592)	10.8		

[†] Número de larvas tratadas. [‡] Error estándar de la pendiente. [§] Dosis letal DL_{50} , DL_{95} = μ g/larva. ^b Límites de confianza al 95 %. ^a Probabilidad de que la línea log dosis-probit se ajuste a una línea recta. ^{††} Respuesta relativa: $RR_{50(95)} = DL_{50(95)} \text{ población de campo} / DL_{50(95)} \text{ población susceptible}$. [‡] Number of treated larvae. [‡] Standard error of the slope. [§] Lethal dose LD_{50} , LD_{95} = μ g/larva. ^b Confidence limits at 95 %. ^a Probability that the log dose-probit line fits a straight line. ^{††} Relative response: $RR_{50(95)} = LD_{50(95)} \text{ field population} / LD_{50(95)} \text{ susceptible population}$.

fueron más elevados que aquellos encontrados para el insecticida metomil (183.0 y 29.7x), del grupo de los carbamatos (Cuadro 1). No obstante, todos estos niveles de resistencia se deben considerar elevados. Este estudio es el primer reporte formal del estado actual de la susceptibilidad a insecticidas de *S. frugiperda* en céspedes de campos de golf de la Riviera Maya. De acuerdo con la información disponible del manejo de campos de golf de esa localidad, los insecticidas metomil y lambdacialotrina se usan para combatir a esta plaga, una de las de mayor importancia en esos céspedes (León-García, 2009). Por tanto, a pesar de no obtener el registro de número de aplicaciones por temporadas, muy probablemente los niveles de resistencia registrados en este estudio están relacionados con el historial de exposición.

Debido a los niveles de resistencia a los insecticidas de los grupos toxicológicos (piretroides y carbamatos) detectados sobre *S. frugiperda* en la Riviera Maya, los insecticidas que comparten el mismo mecanismo de resistencia que los piretroides (moduladores de los canales de sodio) y carbamatos (interferencia en la transmisión sináptica al inhibir la acetilcolinesterasa) deben limitarse en la región, para no continuar seleccionando resistencia de estos grupos químicos, como se documenta en poblaciones de Florida (Young y McMillan, 1979; Yu, 1992; Yu y McCord Jr., 2007). Debido a la resistencia cruzada de insecticidas que comparten el mismo grupo toxicológico (Lagunes y Villanueva, 1994), se debe insistir en evitar el uso de piretroides, como ciflutrina y deltametrina cuyos niveles de resistencia son extremadamente altos (Cuadro 1), los cuales no se usan en la zona pero en ocasiones algunas compañías los ofrecen como alternativa de uso de otros piretroides.

La resistencia a insecticidas es un proceso dinámico (Georghiou y Lagunes-Tejeda, 1991; Yu, 1992; Rajendra y Gowda, 2006), y los resultados de este estudio no se deben generalizar para los siguientes ciclos de reproducción de *S. frugiperda* en la Riviera Maya. Aun así, estos resultados indican la necesidad de implementar un esquema de manejo de la resistencia a insecticidas en césped de campos de golf en esa región. Es necesario un seguimiento sistemático para determinar la susceptibilidad o resistencia a otros grupos de insecticidas, y los principales mecanismos de resistencia que se están seleccionando en esta zona, además de establecer medidas que mantengan

Due to resistance levels to insecticides of the toxicological groups (pyrethroids, and carbamates) detected on *S. frugiperda* in the Riviera Maya, insecticide that share the same mechanism of resistance than pyrethroids (modulators of sodium channel) and carbamate (interference in synaptic transmission by inhibiting acetylcholinesterase) should be limited in the region; in order to avoid selecting resistance of these chemical groups, as documented in populations of Florida (Young and McMillan, 1979; Yu, 1992; Yu and McCord Jr., 2007). Due to cross-resistance to insecticides that share the same toxicological group (Lagunes and Villanueva, 1994), we must insist on avoiding the use of pyrethroids such as cyfluthrin and deltamethrin whose resistance levels are extremely high (Table 1), which are not used in the area but they are sometimes provided by some companies as an alternative of other pyrethroids.

Insecticide resistance is a dynamic process (Georghiou and Lagunes-Tejeda, 1991; Yu, 1992; Rajendra and Gowda, 2006), so the results of this study should not be generalized for the following reproduction cycles of *S. frugiperda* in the Riviera Maya. Still, these results indicate the need to implement a management scheme of insecticide resistance in turfgrass of golf courses in this region. Systematic monitoring is needed to determine the degrees of susceptibility or resistance to other groups of insecticides, and the major resistance mechanisms that are being selected in this area, and to establish measures to maintain the regional level, particularly because the area golf courses does not exceed 600 ha in this region (Infogolf, 2009; Mexican Caribbean Golf, 2009). Emphasis should be placed in a guide of alternatives to traditional insecticides used on golf courses in México (organophosphates, pyrethroids and carbamates). Another range of products, such as growth regulators are labeled more environmentally friendly, but still it is needed to establish the awareness of rotation of products to manage *S. frugiperda*. In this way the population of this pest could be exposed to different selection pressure, and decrease the risk that resistance levels for certain products become a problem in regional management.

There is a variable that should be included in the conditions of using insecticides on *S. frugiperda* in future studies. There are two populations with

alcance regional, particularmente porque el área de campos de golf no excede las 600 ha en esta región (Infogolf, 2009; Mexican Caribbean Golf, 2009). Se debe insistir en una guía de productos alternativos a los insecticidas tradicionales usados en los campos de golf en México (organofosforados, piretroides y carbamatos). Otra gama de productos, por ejemplo reguladores de crecimiento, tienen etiquetas de más amigables al ambiente, pero se necesita establecer la conciencia de una rotación de productos para manejar *S. frugiperda*. De esta manera se podría exponer a las poblaciones de esta plaga a diferente presión de selección, y disminuirá el riesgo de que los niveles de resistencia a determinados productos sean un problema en el manejo regional.

Hay una variable que se deberá incluir en las condiciones de manejo de insecticidas sobre *S. frugiperda* en estudios futuros. Hay dos poblaciones con diferencias genéticas de *S. frugiperda*, la variante maíz (*Zea mays* L.) y la variante arroz (*Oryza sativa* L.). La primera se desarrolla principalmente en maíz, algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* L.), y la segunda prospera mejor en arroz, pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.) y mijo (*Panicum miliaceum* L.) (Pashley, 1988; Ríos-Díez y Saldamando-Benjumea, 2011). Estas poblaciones han mostrado respuesta diferencial a insecticidas; particularmente la variante arroz pudo desarrollar más rápidamente resistencia al piretroide lambdacialotrina que la variante maíz (Ríos-Díez y Saldamando-Benjumea, 2011). Estos antecedentes, con la probabilidad de que la variante arroz puede alimentarse de pastos en México (Pashley, 1988), indican la necesidad de incluir caracterizaciones moleculares en futuros estudios de las poblaciones de *S. frugiperda* en céspedes en la Riviera Maya. Esta información contribuirá al entendimiento de los procesos de selección y respuesta a plaguicidas de esta plaga en esa región.

Es probable que una parte fundamental del origen de los problemas con *S. frugiperda* en campos de golf en la Riviera Maya, además de la presión de selección por insecticidas, se relacione con lo que sucede en las áreas que rodean los campos de golf pues, aparentemente, no hay hospederos alternos (cultivos) donde no se apliquen insecticidas. Esta situación pudiera ocasionar que no haya poblaciones con genes de susceptibilidad que puedan recombinarse con las resistentes y ayuden a disminuir o retrasar el desarrollo de la resistencia a estos productos (Georghiou

genetic differences in *S. frugiperda*, the variant maize (*Zea mays* L.) and the variant rice (*Oryza sativa* L.). The first is developed primarily in corn, cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and sorghum (*Sorghum vulgare* L.), and the second thrives best in rice Bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.) (Pashley, 1988, Ríos-Díez and Saldamando-Benjumea, 2011). These populations have shown differential response to insecticides; particularly the rice variant was able to more rapidly develop resistance to the pyrethroid lambda-cyhalothrin than the variant maize (Ríos-Díez and Saldamando-Benjumea, 2011). These antecedents, with the probability that the variant rice may feed on grasses in México (Pashley, 1988), indicate the need to include molecular characterization in future studies of populations of *S. frugiperda* in turfgrass in the Riviera Maya. This information will contribute to the understanding of selection and response processes to pesticides of this pest in this region.

It is likely that a key part of the origin of the problems with *S. frugiperda* on golf courses in the Riviera Maya, in addition to insecticide selection pressure, is related to what is happening in the areas surrounding the golf courses; for example, it appears that there are no alternate hosts (crops) without insecticide application. This situation can cause that there are no populations with susceptibility genes that may recombine with the resistant ones and help reduce or delay the development of resistance to these products (Georghiou and Lagunes-Tejeda, 1991; Yu 1992; Yu *et al.*, 2003). Probably, the combination of these conditions favored the development of mechanisms of effective resistance in populations of this species pest and it would be recommendable that, where possible, areas or refuges be maintained free of insecticides that provide susceptible individuals that can lower the resistance development. Moreover, in the future it should be established which other natural regulation mechanisms can contribute to integrated pest management in the region.

CONCLUSION

The population of *S. frugiperda* originally from the field Iberostar Playa Paraiso Golf Club in Riviera Maya, Quintana Roo, was resistant to insecticides

y Lagunes-Tejeda, 1991; Yu, 1992, Yu *et al.*, 2003). Probablemente, la combinación de estas condiciones favoreció el desarrollo de mecanismos de resistencia eficientes en las poblaciones de esta especie plaga y sería recomendable que, en lo posible, se mantuvieran áreas o refugios libres de insecticidas que provean individuos susceptibles que puedan disminuir el desarrollo de la resistencia. Además, en el futuro se debería establecer cuáles otros mecanismos de regulación natural pueden contribuir al manejo integrado de esta plaga en esa región.

CONCLUSIÓN

La población de *S. frugiperda* originaria del campo Iberostar Playa Paraíso Golf Club en la Riviera Maya, Quintana Roo, fue resistente a los insecticidas lambdacialotrina, deltametrina, ciflutrina y metomil.

AGRADECIMIENTOS

A los C. Víctor Hernández y Greg Bond por su invaluable apoyo durante el desarrollo de la investigación. Al consorcio Iberostar Playa Paraíso Golf Club por el financiamiento parcial para el desarrollo de este trabajo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para la realización de estudios de doctorado de la autora. A las empresas Syngenta Agro, S. A. de C. V., Bayer de México, S. A. de C. V. y Quimix, S. A. de C. V. por proporcionar los insecticidas que se utilizaron en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Anonymous. 1970. Second conference on test methods for resistance in insects of agricultural importance. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 16: 147-153.
- Braman, S. K., R. R. Duncan, W. W. Hanna, and M. C. Engelke. 2004. Turfgrass species and cultivars influences on survival and parasitism of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 97: 1993-1998.
- Diez-Rodríguez, G. I., and C. Omoto. 2001. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacialotrina. *Neotrop. Entomol.* 30: 311-316.
- Farias, P. R. S., J. C. Barbosa, A. C. Busoli, W. L. Overal, V. S. Miranda, and S. Ribeiro. 2008. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotrop. Entomol.* 37: 321-327.
- Farnsworth, C. A., M. A. Teese, G. Yuan, Y. Li, C. Scott, X. Zhang, Y. Wu, R. J. Russell, and J. G. Oakeshott. 2010. lambda-cyhalothrin, deltamethrin, cyfluthrin and methomyl.
- End of the English version—
- *—————
- Esterase-based metabolic resistance in heliothine and spodopteran pest. *J. Pestic. Sci.* 35: 275-289.
- Georghiou, G. P., and R. B. Mellon. 1983. Pesticide resistance in time and space. *In*: Georghiou G. P., and T. Saito (eds). *Pest Resistance to Pesticides*. Plenum Press. New York. pp: 175-205.
- Georghiou, G. P., and A. Lagunes-Tejeda. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. An index of cases reported through 1989. *FAO, Rome.* 318 p.
- Infogolf. 2009. Mexican golf courses. <http://www.golf.com.mx> (Consultado: octubre, 2010).
- Johnson, A. W., M. E. Snook, and B. R. Wiseman. 2002. Green leaf chemistry of various turfgrass: differentiation and resistance to fall armyworm. *Crop Sci.* 42: 2004-2010.
- Kumar, H., and J. A. Mihm. 2002. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), southwestern corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae) damage and grain yield of four maize hybrids in relation to four tillage systems. *Crop Protection* 21: 121-128.
- Lagunes-Tejeda, A., J. C. Rodríguez-Maciél, y J. C. De Loera-Barocio. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. *Agrociencia* 43: 173-196.
- Lagunes T., A., y J. A. Villanueva J. 1994. Toxicología y Manejo de Insecticidas. *Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas*. Montecillo. Texcoco, México. 264 p.
- León-García, I. 2009. Detección de *Sphenophorus venatus vestitus* Chittenden y manejo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) sobre césped en Quintana Roo, México. Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de Postgrados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 89 p.
- LeOra Software. 1987. POLO-PC a User's Guide to Probit or Logit Analysis. LeOra Software, Berkeley, CA.
- Martínez, A. M., P. Caballero, M. Villanueva, N. Miralles, I. San Martín, E. López, and T. Williams. 2004. Formulation with an optical brightener does not increase probability of developing resistance to *Spodoptera frugiperda* nucleopolyhedrovirus in the laboratory. *J. Econ. Entomol.* 97: 1202-1208.
- Mexican Caribbean Golf. 2009. Golf courses. <http://www.cancungolf.org> (Consultado: junio, 2010).
- Murúa, G., J. Molina-Ochoa, and C. Coviella. 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *Fla. Entomol.* 89: 175-182.
- Pacheco-Covarrubias, J. J. 1993. Monitoring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* populations from the Yaqui Valley, Son., Mexico. *Resistant Pest Manage. Newsletter* 5: 3-4.
- Pashley, D. P. 1988. Current status of fall armyworm host strains. *Fla. Entomol.* 71: 227-234.
- Pessaraki, M. 2007. *Handbook of Turfgrass Management and Physiology*. CRC Press. USA. 400 p.

- Potter, A. D. 1998. Destructive Turfgrass Insect: Biology, Diagnosis and Control. Ann. Arbor Press Chelsea. Michigan. 345 p.
- Potter, A. D. 2008. Managing insect pest of sport fields: What does the future hold? Acta Horticulture 783: 48-498.
- Rajendra, P. M. N., and M. V. C. Gowda. 2006. Mechanisms of resistance to tobacco cutworm (*Spodoptera litura* F.) and their implications to screening for resistance in groundnut. Euphytica 149: 387-399.
- Reinert, J. A., M. C. Engelke, J. C. Reed, S. J. Maranz, and B. R. Wise-man. 1997. Susceptibility of cool and warm season turfgrasses to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 8: 1003-1011.
- Ríos-Díez, J. D., and C. I. Saldamando-Benjumea. 2011. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, Methomyl and Lambda-Cyhalothrin: a study of the genetic basis of resistance. J. Econ. Entomol. 104: 1698-1705.
- Robertson, J. L., and J. L. Preisler. 1992. Pesticide Bioassay with Arthropods. Boca Raton, CRC Press, USA. 127 p.
- Rojas, J. C., A. Virgen, and E. A. Malo. 2004. Seasonal and nocturnal flight activity of *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) monitored by pheromone traps in the coast of Chiapas, Mexico. Fla. Entomol. 87: 496-503.
- Wood, K. A., B. H. Wilson, and J. B. Graves. 1981. Influence of host plant on the susceptibility of the fall armyworm to insecticides. J. Econ. Entomol. 74: 96-98.
- Young, J. R., and W. W. McMillan. 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. J. Econ. Entomol. 72: 202-203.
- Yu, S. J. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 85: 675-691.
- Yu, S. J., and E. McCord Jr. 2007. Lack of cross-resistance to indoxacarb in insecticide-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Pest Manage. Sci. 63: 63-67.
- Yu, S. J., S. N. Nguyen, and G. E. Abo-Elghar. 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Pest Biochem. Physiol. 77: 1-11.