

Susceptibilidad y mecanismos de resistencia a insecticidas en *Bactericera cockerelli* (Sulc.) en Coahuila, México*

Susceptibility and resistance mechanisms to insecticides in *Bactericera cockerelli* (Sulc.) in Coahuila, Mexico

Miriam Desireé Dávila Medina¹, Ernesto Cerna Chávez², Luis Alberto Aguirre Uribe², Oswaldo García Martínez², Yisa María Ochoa Fuentes^{3§}, Gabriel Gallegos Morales² y Jerónimo Landeros Flores²

¹Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. C. P. 25315, Tel y Fax. 4 11 02 26. ²Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. C. P. 25315, Tel y Fax. 844 4110226. ³Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Fitotecnia. Av. Universidad Núm. 940, Col. Cd. Universitaria. Aguascalientes, Aguascalientes. C. P. 20131. [§]Autora para correspondencia: yisa8a@yahoo.com.

Resumen

Bactericera cockerelli (Sulc.) causa pérdidas considerables en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Noreste de México. Su control se basa en la aplicación de insecticidas, percibiendo los productores controles no satisfactorios y un aumento en el número de aplicaciones. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de susceptibilidad y los mecanismos metabólicos de resistencia involucrados, mediante la evaluación de los insecticidas Cyalotrina, Deltametrina, Imidacloprid, Ometoato, Dimetoato, Malation, Endosulfan, Carbofuran, Metomilo, Primicarb y Spinosad solos y en combinación con los sinergistas Dietil Maleato (DEM); S, S, S, tributilfosforotritioato (DEF) y Butóxido de Piperonilo (BP). Para ello, se recolectaron adultos de *B. cockerelli* en áreas productoras papa del estado de Coahuila, para la realización de los bioensayos se utilizó el método de inmersión en hoja propuesto por el IRAC Comité de Acción de Resistencia a Insecticidas (por sus siglas en inglés). Se encontró que los valores más bajos de CL₅₀ para *B. cockerelli* los presentaron los productos Deltametrina, Endosulfan, Pirimicarb y Spinosad (31.2, 149.31, 155.79 y 156.64 ppm respectivamente). En la mezcla de los insecticidas con los

Abstract

Bactericera cockerelli (Sulc.) causes significant losses in potato (*Solanum tuberosum* L.) in northeastern Mexico. Its control is based on the application of insecticides, but producers perceive that its control is unsatisfactory and an increased number of applications. Therefore, the objective of this research was to determine the level of susceptibility and resistance metabolic mechanisms involved, by evaluating the following insecticides Cyalotrina, deltamethrin, imidacloprid, Omethoate, Dimethoate, Malathion, Endosulfan, Carbofuran, Methomyl, Primicarb and Spinosad alone and in combination with the synergists diethyl maleate (DEM); SSS- tributylphosphorotritioate (DEF) and piperonyl butoxide (PB). To do this, adults were collected from *B. cockerelli* on potato producing areas of the state of Coahuila, to conduct the bioassays, it was used the leaf immersion method proposed by the Action Committee Insecticide Resistance IRAC (for its acronym in English). It was found that the lowest LC₅₀ for *B. cockerelli* presented by the products Deltamethrin, Endosulfan, Pirimicarb and Spinosad (31.2, 149.31, 155.79 and 156.64 ppm respectively). In the mixture of the insecticide synergists, the highest values of synergism

* Recibido: enero de 2011

Aceptado: septiembre de 2012

sinergistas, los valores más altos de sinergismo se obtuvieron con el DEF, lo cual indica que las enzimas esterases son el mecanismo metabólico de resistencia con una mayor presencia para la población en estudio.

Palabras clave: psílido, coeficiente de cotoxicidad, resistencia enzimática.

Introducción

El cultivo de la papa, ocupa en México el cuarto lugar en la producción de alimentos. En la región sureste de Coahuila y Nuevo León, el cultivo ocupa una superficie mayor de 7 000 ha, aportando 15% de la producción nacional, con rendimiento medio comercial de 35 t ha⁻¹, con un costo por hectárea de casi \$100 000 (SAGARPA, 2009). La producción en esta zona se ve afectada por diversos factores, siendo los fitosanitarios los de mayor importancia (SAGARPA, 2002), ya que este cultivo es susceptible a más de 300 especies plaga; donde resalta, la enfermedad punta morada de la papa, que ha provocado los mayores estragos en el rendimiento, en los últimos años (Almeyda *et al.*, 2007). Por lo que se reporta una decremento de 4 400 ha en la superficie sembrada para la región sureste de Coahuila y Nuevo León (SAGARPA-SIAP, 2010). Esta enfermedad está asociada a un fitoplasma y actualmente a la bacteria *Candidatus Liberibacter*, que produce el síntoma conocido como “zebra chip” (Muyaneza *et al.*, 2007); agentes que pueden ser transmitidos por insectos vectores, como *Bactericera cockerelli* Sulc. La punta morada afecta 70% de la superficie sembrada con papa en México, y es uno de los problemas fitosanitarios prioritarios a nivel nacional; dependiendo del grado de infección, los daños varían desde 20 a 100% en la pérdida del rendimiento comercial de tubérculos (Cadena, 1996).

Para el control del vector de la punta morada (*B. cockerelli*), se han utilizado varias alternativas, como el uso de trampas de colores, enemigos naturales y principalmente la aplicación desmedida de productos agroquímicos, los cuales no han sido eficaces. Vega *et al.* (2008) mencionan, que en los estados de Coahuila y San Luis Potosí es común que se realicen hasta doce aplicaciones de insecticidas durante la temporada de cultivo (jitomate y papa) lo que genera altos niveles de resistencia y la selección de múltiples mecanismos de resistencia. En la mayoría de los casos, las enzimas detoxificativas son el principal factor de resistencia (Benbrook, 1986). Al penetrar los tóxicos al interior de los

were obtained with DEF, indicating the esterases enzymes are the metabolic mechanism of resistance with a greater presence for the study population.

Key words: co toxicity coefficient, enzymatic resistance, psyllid.

Introduction

The potato crop, in Mexico occupies the fourth place in food production. In the southeast region of Coahuila and Nuevo Leon, the crop covers an area greater than 7 000 ha, contributing 15% of national production, with an average commercial yield of 35 t ha⁻¹, with a cost per hectare of nearly \$ 100 000 (SAGARPA, 2009). Production in this area is affected by various factors, being the most important plant health (SAGARPA, 2002), since this crop is susceptible to more than 300 pest species; which highlights, purple top disease of potato, which has caused the greatest effects on yield in recent years (Almeyda *et al.*, 2007). As reported a decrease of 4 400 ha in area planted to the southeast region of Coahuila and Nuevo León (SAGARPA-SIAP, 2010). This disease is associated with a phytoplasma and is currently the bacterium *Candidatus Liberibacter*, which produces the symptom known as “zebra chip” (Muyaneza *et al.*, 2007); agents that can be transmitted by insect vectors, as *Bactericera cockerelli* Sulc. Purple top affects 70% of the area planted with potatoes in Mexico and is one of priority plant health issues at national level; depending on the degree of infection, damage vary from 20 to 100% loss in marketable yield of tubers (Cadena, 1996).

For vector control of purple top (*B. cockerelli*), several alternatives have been used, as the trapping of colors, natural enemies and mainly the excessive application of agrochemicals, which have not been effective. Vega *et al.* (2008) mentioned that in the states of Coahuila and San Luis Potosí is common to make up to twelve applications of insecticides during the growing season (tomatoes and potatoes) that generates high levels of resistance and selection of multiple resistance mechanisms. In most cases, detoxifying enzymes are the main resistance factor (Benbrook, 1986). Toxic to penetrate into organisms are subject to enzymatic action resulting sub products that may be less toxic or easier to excretion (Georghiou, 1972). Among the most important detoxifying systems that constitute the metabolic resistance in insects, are found, microsomal

organismos están sujetos a la acción enzimática dando como resultado subproductos que pueden ser menos tóxicos o de más fácil excreción (Georghiou, 1972). Entre los sistemas de detoxificación más importantes que constituyen la resistencia metabólica en insectos, se encuentran las oxidasas microsomaes que metabolizan los nicotinoides, análogos del DDT, piretroides naturales y organofosforados; la glutathione s-transferasa que detoxifica fosforados y las esterasas, que detoxifican a los organofosforados, piretroides y carbamatos (Terriere, 1984; Lalah *et al.*, 1995).

El uso de sinergistas ha sido recomendado para detectar el desarrollo de la resistencia de las plagas, debido a que estos bloquean los procesos de detoxificación del insecticida (Casida, 1974). Los sinergistas más utilizados son el butóxido de piperonilo (BP), que inhibe oxidasas de función múltiple (Lagunes y Villanueva, 1994); el S, S, S, tributilfosforotritioato (DEF), que inhibe esterasas (Casida, 1974) y el dietil maleato (DEM), inhibe glutathione s-transferasas (Lagunes y Villanueva, 1994). Por otro lado, podemos mencionar que la presencia de resistencia en esta especie en el mundo, ha sido poco investigada; al respecto Liu y Trumble (2004), mencionan que en la región productora de tomates en California desde el año de 1998, se ha visto un incremento en la aplicación de plaguicidas como Acefato y Metomil en combinación con Esfenvalerate.

Asimismo, Berry *et al.* (2009) evaluaron 13 insecticidas en los cultivos de papa y tomate en Nueva Zelanda, reportando controles inferiores a 50% para los insecticidas Buprofezin, Pimetrozine e Imidacloprid a dosis comerciales. En México son pocos los estudios formales que se han realizado sobre la posible resistencia de esta especie; Bujános y Marín (2007) reportan la CL_{50} para 23 insecticidas evaluados contra ninfas de *B. cockerelli*, donde la Gamma-Cyhalotrina, Metamidofos, Dimetoato y Pimetrozine fueron los que tuvieron los valores más altos con 578, 250, 2490 y 347 ppm respectivamente.

Por otro lado Vega *et al.* (2008) evaluaron seis insecticidas en dos poblaciones de campo, siendo el producto Dimetoato el que presentó los valores más elevados de CL_{50} para las dos poblaciones con 199.4 y 175.9 ppm. El desarrollo de la resistencia en esta especie no está considerado como un problema grave; sin embargo, el incremento del número de aplicaciones a través de los años, es una señal clara que debemos de utilizar herramientas que nos permitan conocer el estatus de la resistencia de esta especie hacia los productos utilizados en los programas de control. Por

oxidasas que metabolizan nicotinoides, análogos de DDT, piretroides naturales y organofosforados; glutathione s-transferasa que detoxifica fosforados y esterasas que detoxifican organofosforados, piretroides y carbamatos (Terriere, 1984; Lalah *et al.*, 1995).

The use of synergists has been recommended to detect the development of pest resistance, because they block the detoxification process of insecticide (Casida, 1974). The most used synergists are piperonyl butoxide (PB), which inhibits oxidases of multiple functions (Lagunes and Villanueva, 1994), the SSS - Tributylphosphorotrithioate (DEF), which inhibits esterases (Casida, 1974) and diethyl maleate (DEM), inhibits glutathione s-transferases (Lagunes and Villanueva, 1994). Furthermore, we can mention that the presence of resistance in this species in the world has been poorly investigated; in this regard Liu and Trumble (2004), mentioned that the region producing tomatoes in California since 1998, has seen an increase in pesticide application as Acephate and Methomyl in combination with Esfenvalerate.

Also, Berry *et al.* (2009) tested 13 insecticides in potato and tomato crops in New Zealand, reporting controls less than 50% for insecticides Buprofezin, Imidacloprid and Pimetrozine at commercial doses. In Mexico there are few formal studies that have been conducted on the possible resistance of this species; Bujanos and Marin (2007) reported LC_{50} for 23 insecticides evaluated against nymphs of *B. cockerelli*, where the Gamma-Cyhalotrina, Methamidophos, Dimethoate and Pimetrozine were the ones that had the highest values with 578, 250, 2 490 and 347 ppm respectively.

Furthermore Vega *et al.* (2008) evaluated six insecticides in two field populations, being the product Dimethoate, which presented the highest values of LC_{50} for the two populations and 199.4 and 175.9 ppm. The development of resistance in this species is not considered a serious problem; however, the increasing number of applications through the years is a clear signal that we must use tools that allow us to know the status of resistance of this species to the products used in control programs. So, the establishment of synergistic studies may provide a tool that allows us to develop better control strategies.

This suggests the hypothesis that this disease has developed resistance to products used for their control. Therefore, the objective of this study was to determine the

lo que, el establecimiento de estudios con sinergistas, pueden proveer una herramienta de trabajo que nos permita establecer mejores estrategias de combate.

Lo anterior sugiere la hipótesis de que dicha plaga ha desarrollado resistencia a los productos empleados para su control. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue, determinar la susceptibilidad de *B. cockerelli* a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos y detectar la posible resistencia a través de los mecanismos metabólicos involucrados mediante el uso de productos sinergistas.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de toxicología del departamento de parasitología agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Recolecta del material biológico: la respuesta a insecticidas y la mezcla con los sinergistas se realizó en una población compuesta de campo (Huachichil y Arteaga, Coahuila); La muestra de Huachichil provino de cinco lotes comerciales y mientras que la de Arteaga de cuatro lotes. Los individuos de estas poblaciones se recolectaron en cultivos de papa de las variedades Alpha, Gigant y Atlantic. En cada sitio de muestreo se recolectaron al menos 200 hojas infestadas con ninfas de *B. cockerelli*, y se realizaron 100 redazos entomológicos para la captura de adultos.

Cría El material biológico recolectado se trasladó al invernadero de parasitología agrícola de la UAAAN, para infestar 50 plantas de papa variedad Alpha. Dispuestas en dos camas de siembra de 2.5 x 1 m, cubiertas con tela organza. La cría de esta especie se realizó en condiciones de invernadero controladas ($26 \pm 4^\circ\text{C}$ y 70% de humedad relativa y 14:10 h luz: oscuridad. Los ensayos se hicieron con 11 insecticidas de uso común para el control de *B. cockerelli* en la región: siendo los insecticidas seleccionados Cyalotrina (Kendo 6.5 CE[®], 70 g de i.a. L-1, Helm de México S. A). Deltametrina (Decis 2.5 CE[®], 25 g de i.a. L-1, piretroide, Bayer de México S.A de C.V). Imidacloprid (Confidor 3.5 SC[®], 350 g de i.a. L-1, neonicotinoide, Bayer de México S.A de C.V). Ometoato (Folimat 70% LM[®], 800 g de i.a. L-1, fosforado, Arysta Lifescience, México, S. A de C. V). Dimetoato (Dimetoato 400 CE[®], 400 gr de i.a. L-1, fosforado, Gowan de México S. A de C. V). Malation (Malathion 1 000 CE[®], 83.80 g de i.a. L-1, fosforado, Agro formuladora Delta S. A de C. V).

susceptibility of *B. cockerelli* to insecticides of different toxicological groups and detect possible resistance through metabolic mechanisms involved by the use of synergist's products.

Materials and methods

This work was done in the toxicology laboratory of the department of agricultural parasitology from the University Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Collect biological material: the answer to insecticides and mixture with synergists was conducted in a population of field (Huachichil and Arteaga, Coahuila); the sample from Huachichil came from five commercial lots and four lots from Arteaga. Individuals from these populations were collected from potato crops of the varieties Alpha, Gigant and Atlantic. At each sampling site were collected at least 200 leaves infested with nymphs of *B. cockerelli*, and conducted 100 entomological nettings to catch adults.

Breeding: the biological material collected was transferred to the greenhouse of the agricultural parasitology from UAAAN to infest 50 potato plants of the Alpha variety. Arranged in two beds 2.5 x 1 m covered with organza fabric. The breeding of this species was conducted in controlled greenhouse conditions ($26 \pm 4^\circ\text{C}$ and 70% relative humidity and 14:10 h light:dark. Tests were made with 11 commonly used insecticides for control of *B. cockerelli* in the region: being the selected insecticides Cyalotrina (Kendo CE[®] 6.5, 70 g i.a. L-1, Helm of Mexico S.A.). Deltamethrin (Decis 2.5 CE[®], 25 g i.a. L-1, pyrethroid, Bayer Mexico S. A. de C. V). Imidacloprid (Confidor[®] 3.5 SC, 350 g i.a. L-1, neonicotinoid, Bayer de Mexico S. A de C. V). Omethoate (70% Folimat LM[®], 800 g ai L-1, phosphorus, Arysta Lifescience, Mexico, S. A de C. V). Dimethoate (Dimethoate 400 EC[®], 400 g ai L-1, phosphorus, Gowan de Mexico S. A de C. V). Malathion (Malathion 1 000 CE[®], 83.80 g ai L-1, phosphorous, formulator Delta Agro S. A de C. V). Endosulfan (Lucasulfan 35 EC[®], 378 g ai L-1, chlorinated Lucava Chemical Inc.). Carbofuran (Carbofuran SC 330[®], 350 g ai L-1, carbamic, Arysta Lifescience). Methomyl (Metonate 90 PS[®], 900 g ai L-1, carbamic Velsimex SA de CV). Pirimicarb (Pirimor 50[®], 500 g ai L-1, carbamic, Syngenta Agro S. A de C. V) and Spynosad (Spintor 125 SC[®], 120 g ai L-1, Dow Agrosciences de Mexico S. A de C. V).

Endosulfan (Lucasulfan 35 CE[®], 378 g de i.a. L-1, clorado, Química Lucava S. A. de C. V.). Carbofuran (Carbofuran 330 SC[®], 350 g de i.a. L-1, carbámico, Arysta Lifescience). Metomilo (Metonate 90 PS[®], 900 g de i.a. L-1, carbámico, Velsimex S. A. de C. V.). Pirimicarb (Pirimor 50[®], 500 g de i.a. L-1, carbámico, Syngenta Agro S. A de C. V) y Spynosad (Spintor 125 SC[®], 120 g de i.a. L-1, Dow Agrosiences de México S. A de C. V).

Las concentraciones seriadas de los insecticidas se prepararon con agua destilada. Una vez establecidos los niveles de CL₅₀ de los insecticidas, se realizaron bioensayos para determinar los efectos de las mezclas de los insecticidas con los sinergistas, utilizando una proporción 1:1 (insecticida: sinergista). Se prepararon para ello soluciones seriales, con base en la CL₅₀ de los insecticidas. Los sinergista evaluados fueron el Dietil maleato (DEM), S, S, S, tributilfosforotritioato (DEF) y el butóxido de piperonilo (BP).

Bioensayos: se utilizó el ensayo de inmersión de hoja para el psílido del peral (*Psylla* spp.) con ligeras modificaciones, propuesto por el (IRAC, 2005). Para ello, de una cama con plantas de papa variedad Alpha de 90 d de edad, libres de infestación con *B. cockerelli*, se seleccionaron hojas del estrato medio en las cuales se colocaron en la parte del envés 15 ninfas de cuarto estadio; a los 30 min las hojas se sumergieron durante 5 s en la concentración respectiva de insecticida y sinergista; las hojas tratadas se dejaron secar en papel absorbente y posteriormente se colocaron en charolas de plástico con papel húmedo.

El porcentaje de mortalidad se registró a las 24 h después de la exposición. Se consideró ninfa muerta aquella que presentó los apéndices pegados al cuerpo, estaba deshidratada o no reaccionaba al estímulo del pincel. Para cada insecticida se realizó un intervalo de concentraciones (ventana biológica) que producían mortalidades de cero a cien; una vez determinada se realizaron ocho concentraciones, además cada ensayo constó de tres repeticiones y cada repetición incluyó un testigo sin tratar. Para la preparación de las concentraciones se utilizó agua destilada y el producto Bionex como dispersante en una concentración 1mL: 1L de agua. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo absoluto fue 10% y se corrigió mediante la fórmula de Abbott (Abbott, 1925)

Análisis de resultados: los datos obtenidos de mortalidad se analizaron mediante un análisis de máxima verosimilitud (Análisis Probit) (Finney, 1971), mediante el programa SAS system para Windows ver 9.0 (2002). Dando como resultado los valores en partes por millón (ppm) de CL_{50, 95} y límites

The serial concentrations of insecticides were prepared with distilled water. Once established LC₅₀ levels of insecticides, bioassays were performed to determine the effects of mixtures of insecticides synergists, using a proportion 1:1 (insecticide: synergist). Serial solutions were prepared for this, based on the LC₅₀ of insecticides. The evaluated synergists were evaluated Diethyl Maleate (DEM), SSS- Tributylphosphorotriothate (DEF) and Piperonyl Butoxide (PB).

Bioassays: used the leaf dip test for pear psyllid (*Psylla* spp.) with minor modifications proposed by the (IRAC, 2005). To do this, a bed of potato variety Alpha of 90 days of age, free of infestation with *B. cockerelli* were selected leafs of the middle in which was placed, in the portion of the underside 15 nymphs of fourth instar; at 30 min the leafs were dipped during 5 s in the respective concentration of insecticide and synergist; the treated leafs were allowed to dry on absorbent paper and then placed in plastic trays with wet paper.

The mortality rate was recorded at 24 h after exposure. Dead nymph was considered one that presented the appendices attached to the body, was dehydrated or not reacting to the stimulus of the brush. For each insecticide was performed a range of concentrations (biological window) producing mortalities from zero to hundred; once given, eight concentrations were made, in addition each trial consisted of three replicates and each replicate included an untreated control. For the preparation of concentrations distilled water was used and a dispersant product Bionex in a concentration of 1mL: 1L of water. The maximum acceptable level of mortality for the absolute control was 10% and was corrected by Abbott's formula (Abbott, 1925)

Analysis of results: mortality data were analyzed using a maximum likelihood analysis (Probit Analysis) (Finney, 1971), using the SAS system for Windows 9.0 (2002). The resulting values were in parts per million (ppm) of CL_{50, 95} and fiducially limits. Also, it was determined the coefficient of co toxicity (CCT), which divided the LC₅₀, of the insecticide only between the LC₅₀ of the mixture with the synergist (Georghiou, 1962).

Results and discussion

Table 1 shows the LC₅₀ of the field population of *B. cockerelli*. In relation to the response of LC₅₀ and fiducially limits, insecticides formed five response groups, being the

fiduciales. Además se determinó el coeficiente de cototoxicidad (CCT), donde se dividió la CL_{50} del insecticida sólo entre la CL_{50} de la mezcla con el sinergista (Georghiou, 1962).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se muestran las CL_{50} de la población de campo de *B. cockerelli*. En relación a la respuesta de CL_{50} y límites fiduciales, los insecticidas formaron cinco grupos de respuesta; siendo el producto carbofuran el que presentó el valor más alto de CL_{50} con 4 980.39 ppm y límites fiduciales de 3 411.82 a 5 824.33 ppm respectivamente. Un segundo grupo constituido por los insecticidas malation (2 570.29), dimetoato (1 848.29) y metomilo (1 662.06), los cuales difieren en sus valores de CL_{50} , a nivel de límites fiduciales son estadísticamente iguales, con valores entre las 1 224.86 a las 2 811.5 ppm. Al comparar los resultados con otras investigaciones en poblaciones de campo, Posos *et al.* (2006) mencionan una CL_{50} de 130.06 ppm para el carbofuran, por lo que nuestros resultados son 38.3 veces mayores; por otro lado, Vega *et al.* (2008) reportan una CL_{50} de 1 759 ppm para el insecticida dimetoato.

Los productos carbamícos y fosforados presentaron una CL_{50} más alta. Posiblemente se debe a que productos carbamícos y fosforados, fueron utilizados irracionalmente en la región papera de Coahuila en años pasados, para el control de plagas primarias como es la palomilla de la papa (*Pthorimaea operculella*); realizando hasta ocho aplicaciones por temporada.

Asimismo, los insecticidas que presentaron valores bajos de CL_{50} fueron el ometoato, formando un sólo grupo con valores de CL_{50} de 709.51 ppm y límites fiduciales de 640.83 a 810.24 ppm. Un cuarto grupo formado por los insecticidas imidacloprid (193.36), endosulfan (149.31), pirimicarb (155.79) y spynosad (156.64), con límites fiduciales entre 89.64 a 283.8 ppm respectivamente. Finalmente un quinto grupo para el producto deltametrina con valores de 31.2 y límites fiduciales de 27.33 a 36.19 ppm.

En relación a la deltametrina, endosulfan y pirimicab, son productos que se utilizan en no más de una aplicación por temporada, lo cual explica los valores bajos de CL_{50} . Al comparar los resultados con otras investigaciones, Bues *et al.* (1999) reportaron una CL_{50} de 29 ppm para el producto deltametrina trabajando con una población del psílido del peral (*Cacopsylla pyri*), resultado similar a lo reportado en esta investigación.

product carbofuran which presented the highest value of LC_{50} with 4980.39 ppm and fiducially limits of 3411.82 to 5824.33 ppm respectively. A second group consisting of insecticides malathion (2 570.29), dimethoate (1 848.29) and methomyl (1 662.06), which differ in their LC_{50} values, at the level of fiducially limits are statistically equal, with values between 1 224.86 to 2 811.5 ppm. By comparing the results with other research in field populations, Posos *et al.* (2006) mention a LC_{50} of 130.06 ppm for carbofuran, so that our results are 38.3 times higher, on the other hand, Vega *et al.* (2008) reported a LC_{50} of 1 759 ppm for the insecticide dimethoate.

Carbamate and organophosphate products showed a higher LC_{50} . Possibly due to carbamate and organophosphate products, were used irrationally in the potato region of Coahuila in past years, to control primary pests such as the potato tuber moth (*Pthorimaea operculella*), making up to eight applications per season.

Also, insecticides that showed low values of LC_{50} were omethoate, forming a single group with LC_{50} values of 709.51 ppm and fiducially limits of 640.83 to 810.24 ppm. A fourth group of insecticide was formed with imidacloprid (193.36), endosulfan (149.31), pirimicarb (155.79) and spynosad (156.64), with fiducially limits between 89.64 to 283.8 ppm, respectively. Finally a fifth group was formed for the product deltamethrin with values of 31.2 and fiducially limits of 27.33 to 36.19 ppm.

In relation to deltamethrin, endosulfan and pirimicab are products that are used in not more than one application per season, which explains the low values of LC_{50} . When comparing the results with other research, Bues *et al.* (1999) reported an LC_{50} of 29 ppm for deltamethrin product working with a population of pear psyllid (*Cacopsylla pyri*), a result similar to that reported in this investigation.

In relation to the product imidacloprid (193.36 ppm), this product showed low values of LC_{50} compared to other products in the study, however, when compared with other research, Bujanos and Marin (2007) mentioned a LC_{50} of 3 ppm, our results 64.3 times higher than that reported by these authors, the reason to find the product imidacloprid with higher values of LC_{50} , due to the use of this product in the region since 1993, where there are two to three applications per season. Finally for the product spynosad (156.64 ppm), Bujanos and Marin (2007) reported an LC_{50} of 51 ppm for

Cuadro 1. Concentración letal y límites fiduciales de once insecticidas solos y en mezcla con los sinergistas S,S,S, tributilfosforotritioato (DEF), Butoxido de Piperonilo (BP) y Dietil Maleato (DEM) sobre ninfas del cuarto estadio de *B. cockerelli* Sulc y su coeficiente de cotoxicidad (CCT).**Table 1. Lethal concentration and fiducially limits of eleven insecticides alone and in mixture with synergists SSS Tributylphosphorotrithioate (DEF) Piperonyl butoxide (PB) and diethyl maleate (DEM) on fourth instar nymphs of *B. cockerelli* Sulc and co toxicity coefficient (TCC).**

Insecticida	N	Gpo. toxicológico	CL ₅₀ ppm	LF (95%)	CCT	r ²	g.l.
Cyaloctrina	315		257.73	(224.56-283.8)		0.88	6
DEF	315	Piretroide	48.13	(39.61-60.09)	5.35	0.96	6
BP	315		33.70	(28.10-39.94)	7.64	0.73	6
DEM	315		90.24	(80.32-100.6)	2.85	0.90	6
Deltametrina	315		31.2	(27.33—36.19)		0.90	6
DEF	315	Piretroide	16.93	(14.35-19.81)	1.84	0.75	6
BP	315		6.57	(05.16-08.13)	4.74	0.83	6
DEM	315		7.56	(06.24-09.06)	4.12	0.95	6
Imidacloprid	315		193.36	(158.23-234.11)		0.74	6
DEF	315	Neonicotinoide	19.15	(15.68-22.88)	10.09*	0.87	6
BP	315		7.67	(05.73-09.88)	25.2*	0.88	6
DEM	315		834.14	(676.40-1004)	0.23	0.92	6
Ometoato	315		709.51	(640.83-810.24)		0.93	6
DEF	315	Fosforado	14.32	(11.28-17.94)	49.54*	0.81	6
BP	315		152.88	(138.6-179.8)	4.48	0.96	6
DEM	315		1085.72	(935.49-1270)	0.65	0.96	6
Dimetoato	315		1848.29	(1459.22-2284.16)		0.91	6
DEF	315	Fosforado	30.53	(25.93-36.05)	60.54*	0.97	6
BP	315		18.16	(14.37-22.81)	101.77*	0.83	6
DEM	315		401.83	(350.5-451.1)	4.59	0.95	6
Malation	315		2570.29	(2320.32-2811.54)		0.94	6
DEF	315	Fosforado	36.08	(30.54-42.34)	71.23*	0.81	6
BP	315		119.69	(99.55-132.1)	22.27*	0.96	6
DEM	315		282.13	(224.3-342.1)	9.11	0.99	6
Endosulfan	315		149.31	(89.64-203.74)		0.79	6
DEF	315	Clorado	29.95	(25.65-34.91)	4.98	0.99	6
BP	315		40.57	(35.46-46.56)	3.68	0.97	6
DEM	315		240.68	(211.3-274.7)	0.62	0.84	6
Carbofuran	315		4980.39	(3411.82-5824.33)		0.81	6
DEF	315	Carbamico	34.54	(28.54-41.17)	144.19*	0.85	6
BP	315		78.87	(67.96-91.13)	63.14*	0.92	6
DEM	315		1401.24	(1181.9-1666)	3.55	0.77	6
Metomilo	315		1662.06	(1224.86-1836.97)		0.80	6
DEF	315	Carbamico	35.64	(29.94-42.69)	46.63*	0.92	6
BP	315		139.08	(125.7-153.2)	11.95*	0.96	6
DEM	315		493.51	(438.7-550.3)	3.36	0.94	6
Pirimicarb	315		155.79	(123.54-183.44)		0.92	6
DEF	315	Carbamico	21.39	(17.71-25.78)	7.28	0.87	6
BP	315		95.81	(84.74-108.2)	1.62	0.93	6
DEM	315		100.43	(89.43-112.5)	1.55	0.81	6
Spinosad	315		156.64	(107.03-204.47)		0.86	6
DEF	315	Spinosynas	18.50	(15.24-22.42)	8.46	0.79	6
BP	315		9.27	(07.18-11.63)	16.89*	0.93	6
DEM	315		46.93	(39.81-55.07)	3.33	0.97	6

N= número de individuos expuestos en cada tratamiento; r²= coeficiente de determinación g.l.= grados de libertad para cada tratamiento *= mezclas que superan el umbral de resistencia.

En relación al producto imidacloprid (193.36 ppm), este producto presentó valores bajos de CL_{50} en comparación de los otros productos en el estudio; sin embargo, al compararlos con otras investigaciones, Bujános y Marín (2007) mencionan una CL_{50} de 3 ppm, siendo nuestros resultados 64.3 veces mayores a lo reportado por estos autores, la razón de encontrar al producto imidacloprid con valores más altos de CL_{50} , se debe al uso de este producto en la región desde 1993, donde se realizan de dos a tres aplicaciones por temporada. Finalmente para el producto spinosad (156.64 ppm), Bujános y Marín (2007) reportan una CL_{50} de 51 ppm para una población de paratíroza, siendo este resultado 3.1 veces menor al encontrado en este trabajo, siendo un producto de nueva introducción.

En relación a la mezcla de los insecticidas con el sinergista S, S, S, tributilfosforotrioato (DEF) (Cuadro 1), los valores de CL_{50} para todas las mezclas de insecticidas más sinergista, fueron más bajas en comparación de las CL_{50} de los insecticidas solos. Además de estos resultados, se obtuvo un CCT que superó el umbral de resistencia con valores de 10.09, 49.54, 60.54, 71.23, 144.19 y 46.63 veces, para imidacloprid, ometoato, dimetoato, malation, carbofuran y metomilo. Éste coeficiente discrimina poblaciones con problemas de resistencia, considerando resistentes aquellas que presentan un factor de 10 veces al comparar los valores de CL_{50} del insecticida sólo y con la mezcla del sinergista (umbral de resistencia) (Georghiou, 1962). Lo anterior muestra evidencia de resistencia por el mayor grado de sinergismo obtenido para estos productos.

Al comparar el CCT de nuestros productos fosforados con otras investigaciones, Hsu *et al.* (2004), reportaron un CCT para productos fosforados como fenitrothion, fenthion y malation valores menores en 42.1, 32.6 y 17.6 veces, a los obtenidos en esta investigación. Para el insecticida neonicotinóide imidacloprid, Byrne *et al.* (2003) mencionan que el metabolismo de este producto es por enzimas oxidasas; sin embargo, en el caso de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) se presentó una alta concentración de enzimas esterases, siendo estas la fuente de resistencia. Por otro lado carbofuran y metomilo fueron los que presentaron los valores más altos de CCT; esto es debido, a que son productos muy susceptibles al ataque de esterases, debido a su unión éster con el grupo amino de las moléculas (Podolska *et al.*, 2008).

Asimismo, Callaghan *et al.* (1991) mencionan que existe una alta relación entre la elevada actividad de esterases y la resistencia a insecticidas carbamícos y fosforados.

a population of Potato Psyllid, being this result 3.1 times smaller than that found in this work, being a new product introduction.

In relation to the mixture of the insecticide with synergist SSS Tributylphosphorotriothate (DEF) (Table 1), LC_{50} values for all mixes of insecticides plus synergist, were lower compared to the insecticide LC_{50} alone. In addition to these findings, a CCT was obtained which exceeded the threshold of resistance values of 10.09, 49.54, 60.54, 71.23, 144.19 and 46.63 times for imidacloprid, omethoate, dimethoate, malathion, carbofuran and methomyl. This coefficient discriminate populations with resistance problems, whereas those showing a strong factor of 10 times when comparing LC_{50} values of the insecticide alone and synergist mixture (threshold resistance) (Georghiou, 1962). This shows evidence of resistance by the greater degree of synergism obtained for these products.

When comparing the CCT of our phosphorus products with other research, Hsu *et al.* (2004) reported a CCT for phosphorous products as fenitrothion, fenthion and malathion lower values at 42.1, 32.6 and 17.6 times to those obtained in this investigation. For the neonicotinoid insecticide imidacloprid, Byrne *et al.* (2003) mentioned that the metabolism of this product is for oxidase enzymes, however, in the case of whitefly (*Bemisia tabaci*) showed a high concentration of esterases enzyme, this being the source of resistance. Furthermore carbofuran and methomyl were those with the highest values of CCT; this is due to products that are very susceptible to the attack of esterases, due to its ester linkage with the amino group of molecules (Podolska *et al.* 2008).

Also, Callaghan *et al.* (1991) mention that there is a strong correlation between elevated esterase activity and carbamate insecticide resistance and phosphorus. Finally the reason to find organophosphorus and carbamates with the highest values of CCT are the presence of phosphate esters and carbamates which make them extremely susceptible to be attacked by these enzymes, and that such products have been used more frequently, to control other pest species in the same crop.

In relation to the mixture of the insecticide with the synergist Piperonyl Butoxide (PB) (Table 1), LC_{50} values for the mixture were lower compared to the LC_{50} of insecticides alone. The CCT that exceeded the threshold of resistance

Finalmente la razón de encontrar fosforados y carbamatos con los valores más altos de CCT son la presencia de ésteres fosfatos y carbamatos que los hacen muy susceptibles al ataque de estas enzimas; y que este tipo de productos se han utilizado en mayor frecuencia, para el control de otras especies de plagas en el mismo cultivo.

En relación a la mezcla de los insecticidas con el sinergista Butoxido de Piperonilo (BP) (Cuadro 1), los valores de CL_{50} para la mezcla fueron más bajos en comparación de las CL_{50} de los insecticidas solos. El CCT que superó el umbral de resistencia con valores de 25.2, 101.77, 22.97, 64.14, 11.95 y 16.89 veces, para imidacloprid, dimetoato, malation, carbofuran, metomilo y spinosad respectivamente.

Para el producto imidacloprid el CCT se incrementó 60% en relación al sinergista DEF, al respecto Zhao *et al.* (2000), mencionan que al trabajar con imidacloprid en *Leptinotarsa decemlineata*, encontraron que las enzimas oxidasas son el principal factor de resistencia con un CCT de 15.5 veces, mientras que las enzimas esterases juegan un papel complementario con un CCT de 2.7 veces. Para los insecticidas dimetoato y malation, Bues *et al.* (1999), reportan un CCT para azinfos metil de 3.3 veces, valor bajo a lo reportado en esta investigación.

En relación a los productos carbofuran y metomilo Bues *et al.* (1999) reportaron un CCT para metomilo de 7.9 veces. Finalmente para el insecticida spinosad, Espinoza *et al.* (2005), mencionan que el principal mecanismo de resistencia se adjudica a las enzimas oxidasas, aunque son pocos los casos reportados con resistencia para este insecticida.

Los productos dimetoato y carbofuran, fueron los que presentaron los valores más altos de CCT, lo cual se debe al uso indiscriminado de este tipo de productos en años y su utilización actual para otras especies de plagas en el cultivo, dicha aseveración está respaldada en la opinión generalizada de agricultores y técnicos dedicados al control de plagas en el área de estudio. Por otro lado, para el insecticida imidacloprid, los resultados muestran resistencia; sin embargo, la resistencia en imidacloprid es inestable. Gutiérrez *et al.* (2007) reportan que líneas de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) presentaron una disminución en la proporción de resistencia, con una CL_{50} de 29.8 ppm en F3 a 6.3 ppm en F6. Por lo anterior podemos mencionar, que en el cultivo de papa el uso de este insecticida, podría restringirse a la etapa crítica del cultivo (primeros 30 días) y no las tres aplicaciones que se realizan generalmente.

with values of 25.2, 101.77, 22.97, 64.14, 11.95 and 16.89 times for imidacloprid, dimethoate, malathion, carbofuran, methomyl and spinosad respectively.

For the imidacloprid product the CCT increased 60% in relation to the synergist DEF, about that Zhao *et al.* (2000), mentioned that working with imidacloprid in *Leptinotarsa decemlineata*, found that oxidase enzymes are the main factor of resistance with a CCT of 15.5 times, while that esterases enzymes play a complementary role with a CCT of 2.7 times. For the insecticide dimethoate and malathion, Bues *et al.* (1999), report a CCT for azinphos-methyl of 3.3 times, lower value than that reported in this investigation.

Regarding carbofuran and methomyl products Bues *et al.* (1999) reported a CCT for methomyl of 7.9 times. Finally for the insecticide spinosad, Espinoza *et al.* (2005) mentioned that the main mechanism of resistance is awarded to the oxidase enzymes, although few reported cases with resistance to this insecticide.

Products dimethoate and carbofuran, were those with the highest values of CCT, which is due to the indiscriminate use of these products in years and its current use for other pest species in crops, this claim is supported in the general opinion of farmers and technicians engaged in pest control in the study area. Furthermore, for the insecticide imidacloprid, our results show resistance, however, imidacloprid resistance is unstable. Gutiérrez *et al.* (2007) reported that lines of whitefly (*Bemisia tabaci*) showed a decrease in the proportion of resistance, with a LC_{50} of 29.8 ppm in F3at and 6.3 ppm in F6. Therefore we can mention that the use of this insecticide in the potato crop could be restricted to the critical stage of the crop (first 30 days) and not the three applications that are usually performed.

Finally the mixture of the insecticide with the synergist Diethyl Maleate (DEM) (Table 1), the LC_{50} values of the mixture were higher for the insecticide imidacloprid (834.14), omethoate (1 085.72) and endosulfan (240.68 ppm) compared to the LC_{50} of insecticides alone. The CCT did not exceed the threshold of resistance to any insecticide.

In this regard it is clear that the glutathione s-transferase enzymes (enzymes which act on the synergist DEM), are enzymes that work as conjugates for excretion of insecticides, ie esterases and oxidases enzymes work initially

Finalmente la mezcla de los insecticidas con el sinergista Dietil Maleato (DEM) (Cuadro 1), los valores de CL_{50} de la mezcla fueron más altos para los insecticidas imidacloprid (834.14), ometoato (1085.72) y endosulfan (240.68 ppm) en comparación de las CL_{50} de los insecticidas solos. El CCT no superó el umbral de resistencia para ninguno de los insecticidas.

Al respecto se deduce que las enzimas glutatión s-transferasas (enzimas sobre las cuales actúa el sinergista DEM), son enzimas que trabajan como conjugados para la excreción de insecticidas; es decir, que las enzimas esterasas y oxidasas trabajan inicialmente generando la polaridad del insecticida, para posteriormente se pueda conjugarse con la glutatión s-transferasa y detoxifique el compuesto (Dauterman, 1983). Asimismo, Martin *et al.* (1997) no encontraron efecto sinergista al combinar DEM con insecticidas de diferente grupo toxicológico; sin embargo, al realizar pruebas bioquímicas hallaron que estas intervienen en procesos secundarios de detoxificación.

Conclusiones

Con excepción de insecticidas piretroides y clorados, en todos los demás grupos toxicológicos *B. cockerelli* presenta diferentes grados de resistencia en donde sobresalen los insecticidas, carbofuran, dimetoato, malation y metomilo. Productos que se han utilizado para esta y otras plagas en la zona agrícola de Arteaga Coahuila México. Asimismo, podemos mencionar que el principal mecanismo de resistencia involucrado en los productos organofosforados y carbamatos fueron las enzimas esterasas seguido de las enzimas oxidasas.

Literatura citada

- Abbott, W. S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18:265-267.
- Almeyda, I. H.; Sánchez, J. A. y Garzón, J. A. 2007. Vectores causantes de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León, México. Agric. Téc. Méx. 34(2):141-150.
- Benbrook, C. M. 1986. Pesticide resistance: strategies and tactics for management. National Academic Press. Washington D. C. 471 p.

generating the polarity of the insecticide, so later can be conjugated to glutathione s-transferase and detoxifying the compound (Dauterman, 1983). Also, Martin *et al.* (1997) found no synergistic effect by combining DEM with different insecticide toxicology group, but the biochemical testing found that these secondary processes are involved in detoxification.

Conclusions

With the exception of pyrethroid insecticides and chlorine, in all other toxicological groups *B. cockerelli* showed different degrees of resistance with outstanding insecticides as, carbofuran, dimethoate, malathion, and methomyl. Products, which have been used for this and other pests in the agricultural zone of Arteaga Coahuila Mexico. We may also mention that the main mechanism of resistance involved in organophosphate and carbamate were the esterase enzymes followed by oxidase enzymes.

End of the English version



- Berry, N. A.; Walker, M. K. and Butler, R. C. 2009. Laboratory studies to determine the efficacy of selected insecticides on tomato/potato psyllid. New Zealand Plant Prot. 62: 145-151.
- Byrne, F. J.; Castle, S.; Prahaker N. and Toscano, C. 2003. Biochemical study of resistance to imidacloprid in B biotype *Bemisia tabaci* from Guatemala. Pest. Manag. Sci. 59:347-352.
- Bues, R.; Boudinhon, L.; Toubon, J. and Faivre, F. 1999. Geographic and seasonal variability of resistance to insecticides in *Cacopsylla pyri* L. (Hom. Psyllidae). J. Appl. Entomol. 123:289-297.
- Bujános, R. y Marín, A. 2007. Manejo racional de insecticidas para el control químico del pulgón saltador *Bactericera* (= *Paratrioza*) *cockerelli* (Sulc.) en México. Memorias del Simposio Punta Morada de la Papa. XXIV Semana Internacional del Parasitólogo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cadena, H. M. 1996. La punta morada de la papa en México: Efecto de cubiertas flotantes, genotipos y productos químicos. Rev. Mex. Fitopatol. 14(1):20-24.

- Callaghan, A.; Malcolm, C. A. and Hemingway, J. 1991. Biochemical studies of A and B carboxylesterases from organophosphates resistant strains of an Italian *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) Pest. Bio. Phys. 41:198-206.
- Casida, J. E. 1974. Mixed-function oxidase involvement in the biochemistry of insecticide synergists. J. Agric. Food Chem. 18:753.
- Dauterman, W. C. 1983. Role of hydrolases and glutathione S-transferases in insecticides. In: Georgiou G. P. and Saito, T. Eds.). Pest resistance pesticides. Plenum Press. New York. Resistance. 229-247 pp.
- Espinoza, P. J.; Contreras, J.; Quinto, V.; Grávalos, C.; Fernández, E. and Bielza, P. 2005. Metabolic mechanisms of insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Pest. Manag. Sci. 61:109-115.
- Finney, D. J. 1971. Probit Analysis. Cambridge at the Univ. Press. 3rd Ed. 120 p.
- Georgiou, G. P. 1962. Carbamate insecticides: toxication synergized carbamates against twelve resistant strain of the house fly. J. Econ. Entomol. 55:768-769.
- Georgiou, G. P. 1972. The evolution of resistance to pesticides. Annu. Rev. Ecol. Syst. 3:133-168.
- Gutiérrez, O. M.; Rodríguez, J. C.; Llanderal, C.; Terán, A. P.; Lagunes, A. y Díaz, O. 2007. Estabilidad de la resistencia a neonicotinoides en *Bemisia tabaci* (Gennadius), Biotipo B de San Luis Potosí, México. Agrociencia. 41:913-920.
- Hsu, J. C.; Feng, H. T. and Wu, W. J. 2004. Resistance and synergistic effects of insecticides in *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Taiwan. J. Econ. Entomol. 97(5):1682-1688.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). 2005. Susceptibility test methods series: method 2 "*Psylla* spp. In: www.iraonline.org/documents/method2.pdf (consultado agosto, 2010).
- Lagunes, T. y Villanueva, J. 1994. Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Posgraduados Montecillo, Estado de México. 264 p.
- Lalah, J. O.; Chien, C. I.; Motoyama, N. and Dauterman, W. C. 1995. Glutathione S-transferases: alpha-naphthyl acetate activity and possible role in insecticide resistance. J. Econ. Entomol. 88:768-70.
- Liu, D. and Trumble, J. T. 2004. Tomato psyllid behavioral responses tomato plant lines and interactions of plants lines with insecticides. J. Econ. Entomol. 97:1078-1085.
- Martin, S. H.; Ottea, J. A.; Leonard, B. R.; Graves, J. B.; Burris, E.; Miscinski, S. and Church, G. E. 1997. Effects of selected synergist on insecticide toxicity in tobacco bud-worm (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory and field studies. J. Econ. Entomol. 90(3):723-731.
- Munyanza, J. E.; Crosslin, J. M. and Upton, J. E. 2007. Association of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) with "Zebra Chip" a new potato disease in Southwestern United States and México. J. Econ. Entomol. 100:656-663.
- Podolska, M.; Mulkiewicz, E. and Napierska, D. 2008. The impact of carbofuran on acetylcholinesterase activity in *Anisakis simplex* larvae from Baltic herring. Pesti. Biochem. and Physiol. 91 (2):104-109.
- Posos, P. P.; Santillán, J.; Martínez, J. L.; Duran, C. M. and Enciso G. 2006. Susceptibility of *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemipterous: Psyllidae) to Insecticides in Tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) in Zapotlán, Jalisco. Resistant Pest Management Newsletter. 16(1):12-14.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002. Anuario estadístico agropecuario. México, D. F. 258 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Anuario estadístico agropecuario. México, D. F. 276 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). SIAP. 2010. Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Estadística pecuaria. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). 2002. Guide for personal computers. SAS institute, Cary, N.C.
- Terrier, L. C. 1984. Induction of detoxification enzymes in insects. Annu. Rev. Entomol. 29:71-88.
- Vega, G. M. T.; Rodríguez, J. C.; Díaz, O.; Bújanos, R.; Mota, D.; Martínez, J. L.; Lagunes, A. y Garzón J. A. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). Agrociencia. 42:463-471.
- Zhao, J. Z.; Bishop, B. A. and Grafius, E. J. 2000. Inheritance and Synergism of Resistance to Imidacloprid in the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Eco. Entomol. 93(5):1508-1514.