

# COMPARACION DE LA TOXICIDAD Y SELECTIVIDAD DE INSECTICIDAS PARA LA PLAGA *Bactericera cockerelli* Y SU DEPREDADOR *Chrysoperla carnea*

## COMPARISON OF TOXICITY AND SELECTIVITY OF THE PEST *Bactericera cockerelli* AND ITS PREDATOR *Chrysoperla carnea*

Ernesto Cerna<sup>1</sup>, Carlos Ail<sup>1</sup>, Jerónimo Landeros<sup>1</sup>, Sergio Sánchez<sup>1</sup>,  
Mohammad Badii<sup>2</sup>, Luis Aguirre<sup>1</sup>, Yisa Ochoa<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila. <sup>2</sup>Facultad de Biología, Universidad Autónoma de Nuevo León. 28710. San Nicolás de los Garza, Nuevo León. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad Núm. 940, Colonia Ciudad Universitaria. 20100. Aguascalientes, Aguascalientes. (yisa8a@yahoo.com).

### RESUMEN

El control químico y biológico en el manejo sostenible requiere conocer los riesgos, selectividad y condiciones de uso de los insecticidas, para maximizar su compatibilidad. Por tanto, se comparó la tolerancia de *Chrysoperla carnea* y *Bactericera cockerelli* a la concentración de campo de 18, 180, 1200, 1300 y 1400 ppm L<sup>-1</sup> de los insecticidas abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos y, además, se evaluó su selectividad sobre el depredador *Chrysoperla carnea*. La proporción de selectividad de los insecticidas a *C. carnea* se calculó por la relación,  $PS = CL_{50}$  del insecticida para el enemigo natural/ $CL_{50}$  del insecticida para la plaga. Abamectina, bifentrina y endosulfan fueron más tóxicos para *B. cockerelli* que para *C. carnea*. Profenofos fue altamente tóxico para ambas especies e imidacloprid fue más tóxico para *C. carnea*. Los valores de la proporción de selectividad fueron 1072.84, 14.33, 6.07, 0.61 y 0.11 para abamectina, endosulfan, bifentrina, profenofos e imidacloprid, lo cual indica que abamectina fue altamente selectivo, endosulfan y bifentrina fueron selectivos y profenofos e imidacloprid fueron no selectivos para el depredador.

**Palabras clave:** control integrado, selectividad, tolerancia, concentración letal.

### INTRODUCCIÓN

**B**actericera cockerelli es la principal limitante en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en México y sur de Texas, EE.UU. (Flores et

### ABSTRACT

Chemical and biological control in sustainable management requires understanding the risks, selectivity and conditions of use for insecticides, in order to maximize their compatibility. Therefore, the tolerance of *Chrysoperla carnea* and *Bactericera cockerelli* to field concentrations of 18, 180, 1200, 1300 and 1400 ppm L<sup>-1</sup> of the insecticides abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid and profenofos was evaluated, and, in addition, their selectivity on predator *Chrysoperla carnea*. The selectivity proportion of insecticides to *C. carnea* was calculated through the relation  $SP = CL_{50}$  of the insecticide for the natural enemy/ $CL_{50}$  of the insecticide for the plague. Abactemin, bifenthrin and endosulfan were more toxic for *B. cockerelli* than for *C. carnea*. Profenofos was highly toxic for both species and imidacloprid was more toxic for *C. carnea*. The values for the selectivity proportion were 1072.84, 14.33, 6.07, 0.61 and 0.11 for abamectin, endosulfan, bifenthrin, profenofos and imidacloprid, indicating that abamectin was highly selective, endosulfan and bifenthrin were selective and profenofos and imidacloprid were not selective for the predator.

**Key words:** integrated control, selectivity, tolerance, lethal concentration.

### INTRODUCTION

**B**actericera cockerelli is the principal limitation for potato (*Solanum tuberosum*) production in México and the south of Texas, USA (Flores et al., 2004; Liu and Trumble, 2006), due to its ability to transmit infectious diseases caused by bacteria and phytoplasma (Garzón et al., 2004; Hansen et al., 2008). In Coahuila and Nuevo León,

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2012. Aprobado: octubre, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 783-793. 2012.

*al.*, 2004; Liu y Trumble, 2006), debido a su capacidad de transmitir enfermedades infecciosas, ocasionadas por bacterias y fitoplasmas (Garzón *et al.*, 2004; Hansen *et al.*, 2008). En Coahuila y Nuevo León el rendimiento del cultivo de papa se redujo hasta 90 % durante 2003 y 2004 debido al fitoplasma que causó la enfermedad punta morada de la papa, transmitido por *B. cockerelli*, (Flores *et al.*, 2004; Garzón *et al.*, 2004). En México el control químico es el método más usado por los productores de papa para manejar esta plaga y son comunes 12 a 30 aplicaciones de insecticidas durante la temporada de cultivo (Rubio *et al.*, 2006; Vega *et al.*, 2008).

*Chrysoperla carnea* es un depredador generalista y voraz en sistemas agrícolas (Tauber *et al.*, 2000), presenta amplio intervalo de presas (McEwen *et al.*, 2001), es efectivo como agente de control biológico (Hagley y Miles, 1987) y es uno de los principales agentes de control biológico de *B. cockerelli* (Butler y Trumble, 2012). Sin embargo, en algunos casos específicos usar sólo agentes de control biológico no es suficiente para un adecuado control, pero a través de su integración con otras tácticas de manejo puede ser una fuente de control sostenible (Cock, 1994).

El uso indiscriminado de insecticidas puede impedir el éxito del control biológico debido a sus efectos tóxicos directos e indirectos en los enemigos naturales. Debido a ello se debe considerar e implementar varias tácticas para minimizar los efectos de los insecticidas en los organismos benéficos (Dagli y Bahsi, 2009). Por tanto, es esencial conocer los riesgos, selectividad y las condiciones de uso de estos productos para maximizar la compatibilidad entre el control químico y biológico (Stevenson y Walters, 1983), lo cual es uno de los principales objetivos del manejo integrado de plagas (MIP) (Wennergren y Stark, 2000).

La compatibilidad de un insecticida con los agentes de control biológico se ha determinado mediante pruebas de mortalidad en los enemigos naturales (Elzen, 1989) y por pruebas de selectividad para identificar productos con toxicidad más baja sobre los organismos no blanco (Purcell *et al.*, 1994). Estos insecticidas selectivos son valiosos debido a su efectividad sobre las plagas, pero con mínimos efectos sobre los enemigos naturales (Bacci *et al.*, 2007). En la presente investigación la hipótesis fue que algunos de los

potato crop yields were reduced up to 90 % during 2003 and 2004 because of phytoplasma that caused the potato purple-tip disease, transmitted by *B. cockerelli* (Flores *et al.*, 2004; Garzón *et al.*, 2004). In México, chemical control is the method most widely used by potato producers to manage this plague and 12 to 30 insecticide applications are common during the growing season (Rubio *et al.*, 2006; Vega *et al.*, 2008).

*Chrysoperla carnea* is a generalist and voracious predator in agricultural systems (Tauber *et al.*, 2000); it presents a wide range of prey (McEwen *et al.*, 2001), is effective as a biological control agent (Hagley and Miles, 1987), and is one of the primary agents for biological control of *B. cockerelli* (Butler and Trumble, 2012). However, in some specific cases, using only biological control agents is not enough for an adequate control, but it can be a source of sustainable control through integration with other management tactics (Cock, 1994).

The indiscriminate use of insecticides can impede the success of biological control due to its direct and indirect toxic effects on natural enemies. Because of this, several tactics should be considered and implemented to minimize the effects of insecticides in beneficial organisms (Dagli and Bahsi, 2009). Therefore, it is essential to understand the risks, selectivity and conditions of use for these products, in order to maximize compatibility between chemical and biological control (Stevenson and Walters, 1983), which is one of the main objectives of integrated plague management (IPM) (Wennergren and Stark, 2000).

The compatibility of an insecticide with biological control agents has been determined through mortality trials in natural enemies (Elzen, 1989), and through selectivity tests to identify products with lower toxicity on organisms that are not the object (Purcell *et al.*, 1994). These selective insecticides are valuable due to their efficiency on plagues, but with minimal effects on natural enemies (Bacci *et al.*, 2007). The hypothesis for this study was that some of the products evaluated are effective against *B. cockerelli* and be selective for *C. carnea*. Therefore, the objective was to compare the tolerance of *C. carnea* and *B. cockerelli*, under laboratory conditions, to the insecticides, abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid and profenofos, as well as to evaluate

productos evaluados son efectivos contra *B. cockerelli* y selectivos para *C. carnea*. Por tanto, el objetivo fue comparar la tolerancia de *C. carnea* y *B. cockerelli*, en laboratorio, a los insecticidas abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos, así como evaluar la selectividad de estos productos mediante CL<sub>50</sub> de ambas especies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Insectos

La colonia de *B. cockerelli* se obtuvo de psílidos recolectados en lotes comerciales de papa, en el municipio de Arteaga, Coahuila, México, los cuales se mantuvieron sobre plantas de papa variedad alpha en una jaula entomológica en condiciones de campo. Las larvas de crisopas se obtuvieron de huevos proporcionados por el Centro de Reproducción de Organismos Benéficos (CROB) del estado de Coahuila, se individualizaron en vasos de plástico (3 cm×3 cm) y después de su emergencia las larvas se alimentaron con huevos de *Sitotroga cerealella* y se mantuvieron en condiciones controladas: 25±2 °C y humedad relativa 70±10 %.

### Evaluación de la toxicidad

La toxicidad residual de los insecticidas fue evaluada en ninfas (n<sub>4</sub>-n<sub>5</sub>) de *B. cockerelli* y larvas de primer instar (48 h de edad) de *C. carnea* usando el método de bioensayo de película residual en caja petri (Dennehy *et al.*, 1987). Las concentraciones para cada insecticida fueron 10, 50 y 100 % de la concentración de campo recomendada (CCR) para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa, más un testigo (sin aplicar). Los insecticidas evaluados fueron abamectina (Agrimec 1.8 % CE), bifentrina (Capture 100 12.15 % CE), endosulfan (Thiodan 33 % CE), imidacloprid (Confidor 70 % PH), y profenofos (Curacrón 73 % CE), cuyas concentraciones de campo fueron 18, 180, 1200, 1300 y 1400 ppm L<sup>-1</sup>, para lo cual se usó como solvente etanol al 95 % y en el testigo sólo se aplicó etanol. Los tratamientos consistieron en una caja petri (6 cm diámetro) con 10 ninfas de la plaga y 8 larvas del depredador, contenidas individualmente en cada caja petri, con 10 repeticiones. Se depositó 500 µL de la solución insecticida en cada caja y 2 h después se transfirieron los insectos. La mortalidad se cuantificó a las 24 h y el criterio de muerte fue cuando los insectos manifestaron un desplazamiento menor del largo de su cuerpo, después de estimularlos con un pincel. Todos los bioensayos se realizaron con una temperatura de 25±2 °C y humedad relativa de 70±10 %.

the selectivity of these products through the CL<sub>50</sub> of both species.

## MATERIALS AND METHODS

### Insects

The colony of *B. cockerelli* was obtained from psyllids collected in commercial potato batches, in the municipality of Arteaga, Coahuila, México, which were kept on potato plants of the alpha variety in an entomologic cage under field conditions. Lacewings larvae were obtained from eggs provided by the Benefic Organisms Reproduction Center (CROB, Centro de Reproducción de Organismos Benéficos) in Coahuila; they were placed individually in plastic cups (3 cm×3 cm) and after their emergence, larvae were fed with *Sitotroga cerealella* eggs and kept under controlled conditions: 25±2 °C and relative humidity of 70±10 %.

### Toxicity evaluation

The residual toxicity of insecticides was evaluated in *B. cockerelli* nymphs (n<sub>4</sub>-n<sub>5</sub>) and *C. carnea* larvae of the first instar (48 h of age), using the bioassay method for residual film in Petri dishes (Dennehy *et al.*, 1987). The concentrations for each insecticide were 10, 50 and 100 % of the recommended field concentration (RFC) for control of *B. cockerelli* in potato crops, plus a control (without application). The insecticides evaluated were abamectin (Agrimec 1.8 % CE), bifenthrin (Capture 100 12.15 % CE), endosulfan (Thiodan 33 % CE), imidacloprid (Confidor 70 % PH), and profenofos (Curacrón 73 % CE), whose field concentrations were 12, 180, 1200, 1300 and 1400 ppm L<sup>-1</sup>, for which ethanol at 95 % was used as solvent, and only ethanol was applied to the control. The treatments consisted of a Petri dish (6 cm diameter) with 10 plague nymphs and 8 predator larvae, contained individually in each Petri dish, with 10 repetitions. In each dish 500 µL of the insecticide solution was placed and 2 h later the insects were transferred. Mortality was quantified after 24 h and the death criterion was when insects manifested moving less than the length of their body, after stimulating them with a brush. All bioassays were carried out with a temperature of 25±2 °C and relative humidity of 70±10 %.

### Average lethal concentration

In order to calculate CL<sub>50</sub> values for *B. cockerelli* nymphs and *C. carnea* larvae, bioassays were performed using nine concentrations for each insecticide, with 10 repetitions. The

### Concentración letal media

Para calcular los valores de  $CL_{50}$  para ninfas de *B. cockerelli* y larvas de *C. carnea* se realizaron bioensayos usando nueve concentraciones para cada insecticida, con 10 repeticiones. Las concentraciones para el depredador de abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos fueron 0.5-18, 18-560, 120-2100, 40-1300 y 1.4-140; para la plaga fueron 0.018-0.18, 18-180, 120-1200 y 1.4-140. Las condiciones de los bioensayos fueron similares a las descritas en la sección anterior. La mortalidad fue corregida con la fórmula de Abbott (1925), donde hubo mortalidad en el testigo (no mayor a 15 %).

### Análisis estadístico

Los efectos de los factores especie, insecticida y concentración sobre el porcentaje de mortalidad de ninfas *B. cockerelli* y larvas de *C. carnea* expuestos a residuos de diferentes insecticidas, se analizaron con un ANDEVA de tres-vías usando el procedimiento GLM (SAS, 2001), y las medias de los mínimos cuadrados se compararon con Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (SAS, 2001). Los resultados del experimento concentración-mortalidad se analizaron por regresión probit (Finney, 1971) usando el procedimiento PROBIT (SAS, 2001), para obtener los valores de  $CL_{50}$  y sus límites fiduciales (95 %). La  $CL_{50}$  de las dos especies comparadas para el mismo insecticida no son estadísticamente diferentes cuando los límites fiduciales (95 %) se traslapan (Robertson y Preisler, 1992). La proporción de selectividad (PS) de los insecticidas a *C. carnea* se calculó por la relación,  $PS = CL_{50}$  del insecticida para el enemigo natural/ $CL_{50}$  del insecticida para la plaga (Bacci *et al.*, 2009). Si  $PS > 1$  el insecticida es selectivo al enemigo natural, y si  $PS < 1$  la selectividad es favorable a la plaga (Metcalf, 1972).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de la toxicidad

Los efectos de los factores especie, insecticida, concentración e interacciones de estos fueron significativos para el porcentaje de mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* y larvas de *C. carnea* (Cuadro 1). Hubo mayor mortalidad en ninfas de la plaga en comparación a larvas de crisopa ( $F=770.33$ ;  $gl=1360$ ;  $p=0.001$ ), en los insecticidas abamectina, bifentrina y endosulfan, que fueron significativamente más tóxicos para *B. cockerelli* comparados con *C. carnea*. Profenofos fue altamente tóxico para ambas especies

abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid and profenofos concentrations for the predator were 0.5-18, 18-560, 120-2100, 40-1300 and 1.4-140; they were 0.018-0.18, 18-180, 120-1200 and 1.4-140 for the plague. The conditions for bioassays were similar to those described in the previous section. Mortality was corrected with the Abbott formula (1925), where mortality in the control was shown (no greater than 15 %).

### Statistical analysis

The effects of the species, insecticide and concentration factors on the percentage of mortality of *B. cockerelli* nymphs and *C. carnea* larvae exposed to residues from different insecticides were analyzed with a three-way ANOVA test, using the GLM procedure (SAS, 2001), and the least square means were compared with Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (SAS, 2001). Results from the concentration-mortality experiment were analyzed with a probit regression (Finney, 1971) using the PROBIT procedure (SAS, 2001), to obtain the  $CL_{50}$  values and their fiducial limits (95 %). The  $CL_{50}$  of the two species compared for the same insecticide are not statistically different when the fiducial limits (95 %) overlap (Robertson and Preisler, 1992). The selectivity proportion (SP) of the insecticides to *C. carnea* was calculated by the  $SP = CL_{50}$  relation of the insecticide for the natural enemy/ $CL_{50}$  of the insecticide for the plague (Bacci *et al.*, 2009). If  $SP > 1$  the insecticide is selective for the natural enemy, and if  $SP < 1$  the selectivity is favorable for the plague (Metcalf, 1972).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Toxicity evaluation

The effects of the factors, species, insecticide, concentration and interaction between these, were significant for the percentage of mortality of *B. cockerelli* nymphs and *C. carnea* larvae (Table 1). There was a higher mortality in plague nymphs compared to lacewings larvae ( $F=770.33$ ;  $gl=1360$ ;  $p=0.001$ ), for insecticides abamectin, bifenthrin and endosulfan, which were significantly more toxic for *B. cockerelli* compared to *C. carnea*. Profenofos was highly toxic for both species in the three concentrations. However, imidacloprid residues were significantly more toxic for *C. carnea* in comparison to *B. Cockerelli*, for the three concentrations (Table 2).

Imidacloprid and profenofos presented significantly higher mortality for *C. carnea*, than abamectin, endosulfan and bifenthrin. For *B.*

**Cuadro 1. ANDEVA de tres vías de los factores que afectan el porcentaje de mortalidad de *Chrysoperla carnea* y *Bactericera cockerelli* expuestos a los insecticidas abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos.**

**Table 1. Three-way ANOVA of the factors that affect the percentage of mortality of *Chrysoperla carnea* and *Bactericera cockerelli* exposed to the insecticides, abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid and profenofos.**

Fuente de variación	GL	CM	F <sub>valor</sub>	P <sub>valor</sub>
Especie	1	54347.27	770.33	0.001
Insecticida	4	22789.57	323.03	0.001
Concentración	3	93976.43	1332.05	0.001
Especie×Insecticida	4	23223.95	329.18	0.001
Especie×Concentración	3	1187.68	16.83	0.001
Insecticida×Concentración	12	3518.27	49.87	0.001
Especie×Insecticida×Concentración	12	3203.48	45.41	0.001
Error	360	70.55		
Total correcto	399			

en las tres concentraciones. Sin embargo, los residuos de imidacloprid fueron significativamente más tóxicos para *C. carnea* en comparación a *B. cockerelli*, en las tres concentraciones (Cuadro 2).

Imidacloprid y profenofos presentaron significativamente mayor mortalidad para *C. carnea*, abamectina, endosulfan y bifentrina. Para *B. cockerelli* abamectina, endosulfan y profenofos mostraron mayor

mortalidad para *B. cockerelli*, abamectin, endosulfan and profenofos showed higher mortality (Table 2) compared to bifenthrin and imidacloprid ( $F=323.03$ ;  $gl=4360$ ;  $p=0.001$ ).

Abamectin, bifenthrin, endosulfan and imidacloprid presented significantly lower mortality for *C. carnea* as the CCR was reduced. However, profenofos did not present significant

**Cuadro 2. Medias de los mínimos cuadrados para el porcentaje de mortalidad de *B. cockerelli* y *C. carnea* expuestos a los insecticidas abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos.**

**Table 2. Least square means for the percentage of mortality of *B. cockerelli* and *C. carnea* exposed to insecticides, abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid and profenofos.**

Insecticida	Mortalidad (%)							
	<i>C. carnea</i>				<i>B. cockerelli</i>			
	Concentración de campo (%) †				Concentración de campo (%) †			
	100	50	10	0	100	50	10	0
ABM	65Aby	43Bby	18Ccy	0Day	100Aax	100Aax	100Aax	14.6Bay
BFT	22Aby	15Bdy	11Bdy	0Cay	79Abx	75Abx	43Bcx	14.6Cay
EDS	32.5Acy	25Bcy	3.8Cey	0Cay	96Aax	94Aax	63Bbx	14.6Cay
IMCP	100Aax	98Aax	42Bbx	0Cay	56Acy	40Bcy	26Cdy	14.6Day
PFN	100Aax	100Aax	100Aax	0Bay	100Aax	100Aax	100Aax	14.6Bay

† Concentración de campo de los insecticidas; ABM (abamectina) (18 ppm), BFT (bifentrina) (180 ppm), EDS (endosulfan) (1200 ppm), IMCP (imidacloprid) (1300 ppm) y PFN (profenofos) (1400 ppm). Las letras A-D muestran la interacción de la concentración, una sola especie e insecticida de manera lineal. Las letras a-e muestran la interacción del insecticida, una especie y la concentración a manera de columnas. Las letras x-y muestran la interacción de las especies, insecticida y concentración. ‡ Field concentration of the insecticides: ABM (abamectin) (18 ppm), BFT (bifenthrin) (180 ppm), EDS (endosulfan) (1200 ppm), IMCP (imidacloprid) (1300 ppm) and PFN (profenofos) (1400 ppm). The letters A-D show the concentration interaction, only one species and insecticide in each line. The letters a-c show the insecticide interaction, one species and the concentration in a column. The letters x-y show the species interaction, insecticides and concentration.

mortalidad (Cuadro 2) comparados con bifentrina e imidacloprid ( $F=323.03$ ;  $gl=4360$ ;  $p=0.001$ ).

Abamectina, bifentrina, endosulfan e imidacloprid presentaron significativamente menor mortalidad para *C. carnea* al reducir la CCR. Pero profenofos no presentó diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas sobre este depredador. Para *B. cockerelli*, imidacloprid mostró significativamente menor mortalidad al reducir la CCR. Pero abamectina y profenofos no mostraron diferencias significativas entre las tres concentraciones. La CCR al 50 y 100 % de bifentrina no fue diferente, pero la mortalidad fue significativamente menor a 10 % de la CCR, y endosulfan presentó resultados similares ( $F=1332.05$ ;  $gl=3,360$ ;  $p=0.001$ ) (Cuadro 2).

La abamectina es compatible con MIP debido a su baja toxicidad sobre depredadores (Bacci *et al.*, 2007). En el presente estudio *C. carnea* mostró una mortalidad mayor al 50 % en la concentración 100 % de la CCR (Cuadro 2), lo que sugiere un efecto nocivo. Sin embargo, a concentraciones de 10 % y 50 % de la CCR, el porcentaje de mortalidad sobre el depredador fue 18 y 43 %, mientras que *B. cockerelli* presentó 100 % de mortalidad en todas las concentraciones (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que se pueden usar concentraciones menores a las recomendadas, y el efecto del insecticida sobre el depredador se reduciría (Cuadro 2). Al respecto, Johnson y Tabashnik (1999) mencionan que las dosis recomendadas para campo pueden ser más altas que las requeridas para el control efectivo de algunas plagas nocivas para los enemigos naturales, pero a través de dosis reducidas se puede aumentar la selectividad de los insecticidas (Poehling, 1989), lo que concuerda con estos resultados.

Similar a la abamectina, la bifentrina fue más tóxica para la plaga en comparación al depredador, en concentración al 100 % de la CCR, *B. cockerelli* obtuvo 79 % de mortalidad y *C. carnea* 22 %. Sin embargo, la eficiencia de bifentrina sobre esta plaga no fue buena porque presentó mortalidad menor a 80 %. Estos resultados indicarían que la plaga y el depredador presentaron cierto grado de tolerancia a este insecticida, lo cual concuerda con reportes de cierta tolerancia de diferentes especies de Chrysopidae sobre este grupo de insecticidas (Piretroides) (Grafton-Cardwell y Hoy, 1985; Carvalho *et al.*, 2003).

diferencias entre las concentraciones evaluadas para este depredador. Para *B. cockerelli*, imidacloprid mostró significativamente menor mortalidad al reducir la CCR. Sin embargo, abamectina y profenofos no mostraron diferencias significativas entre las tres concentraciones. La CCR al 50 y 100 % de bifentrina no presentó diferencias significativas, pero la mortalidad fue significativamente menor a 10 % de la CCR, y endosulfan presentó resultados similares ( $F=1332.05$ ;  $gl=3,360$ ;  $p=0.001$ ) (Table 2).

Abamectin is compatible with IPM due to its low toxicity over predators (Bacci *et al.*, 2007). In this study, *C. carnea* presented mortality higher than 50 % in the concentration at 100 % of the CCR (Table 2), which suggests a harmful effect. However, at concentrations of 10 % and 50 % of the CCR, the percentage of mortality over the predator was 18 and 43 %, whereas *B. cockerelli* presented 100 % of mortality in all the concentrations (Table 2). These results suggest that concentrations lower than those recommended can be used, with which the insecticide effect on the predator would be reduced (Table 2). With regards to this, Johnson and Tabashnik (1999) that the recommended dosage for the field can be higher than those required for the effective control of plagues that are harmful for natural enemies, but through reduced dosages the selectivity of insecticides can be increased (Poehling, 1989), which agrees with these results.

Similar to abamectine, bifenthrin was more toxic for the plague as compared to the predator, at a concentration of 100 % of the CCR, *B. cockerelli* obtained 79 % of mortality and *C. carnea* 22 %. However, the efficiency of bifenthrin on this plague was not good because it presented mortality lower than 80 %. These results would indicate that the plague and the predator presented a certain degree of tolerance to this insecticide, which coincides with reports of some tolerance of different Chrysopidae species to this type of insecticides (pyrethroids) (Grafton-Cardwell and Hoy, 1985; Carvalho *et al.*, 2003).

*Bactericera cockerelli* presented greater mortality with the three concentrations of endosulfan, compared to *C. carnea* (Table 2). This insecticide showed a high efficiency over the plague in a concentration reduced to 50 %, which suggests using a concentration lower than CCR. In addition, *C. carnea* presented 32.5 % of mortality to the CCR and

*Bactericera cockerelli* presentó mayor mortalidad con las tres concentraciones evaluadas de endosulfan comparado con *C. carnea* (Cuadro 2). Este insecticida mostró alta eficiencia sobre la plaga a una concentración reducida al 50 %, lo cual sugiere usar una concentración menor a la CCR. Además *C. carnea* presentó 32.5 % de mortalidad a la CCR y a concentraciones reducidas la mortalidad decreció, lo cual indica alta compatibilidad de este insecticida junto con liberaciones de crisopas. Estos resultados concuerdan con los reportados por Nasreen *et al.* (2003) de 25 % de mortalidad en larvas de *C. carnea* expuestas a este insecticida.

Imidacloprid fue más tóxico para *C. carnea* en concentración al 10 %, la mortalidad para el depredador fue 42 % y para *B. cockerelli* fue 26 % lo cual indica eficiencia baja del insecticida sobre la plaga y un efecto nocivo alto sobre el depredador (Cuadro 2). Por tanto, el imidacloprid se consideró no compatible con larvas de crisopas, lo cual concuerda con lo reportado por Huerta *et al.* (2003a), quienes indican que este insecticida es altamente tóxico sobre larvas y adultos de *C. carnea* (Huerta *et al.*, 2003b). Además, hay resultados similares en otras especies de depredadores (Bacci *et al.*, 2007; Dagli y Bahsi, 2009).

El presente estudio mostró que profenofos es altamente tóxico para ambas especies estudiadas, es decir, es eficiente sobre la plaga aún al 10 % de la CCR, pero fue altamente nocivo sobre el depredador en la misma concentración, por lo cual sería no compatible junto con liberaciones de crisopas. La alta toxicidad de profenofos sobre *C. carnea* fue similar al 100 % de mortalidad en larvas de *C. carnea* expuestas a este insecticida (Nasreen *et al.*, 2003). Los insecticidas organofosforados son altamente tóxicos a las especies de Chrysopidae, como *Chrysoperla carnea* (Grafton-Cardwell y Hoy, 1985; Giolo *et al.*, 2008), *C. rufilabris* (Mizell y Schiffahuer, 1990), *C. externa* (Silva *et al.*, 2005) y *Chrysopa oculata* (Lecrone y Smilowitz 1980).

### Concentración letal media

Las CL<sub>50</sub> de abamectina, bifentrina y endosulfan para *B. cockerelli* fueron significativamente menores comparadas con la de *C. carnea*, lo cual indica que estos insecticidas presentan mayor toxicidad sobre la plaga comparado con el depredador (Cuadro 3).

at reduced concentrations the mortality decreased, indicating high compatibility of this insecticide together with lacewings liberations. These results agree with those reported by Nasreen *et al.* (2003) of 25 % mortality in *C. carnea* larvae exposed to this insecticide.

Imidacloprid was more toxic to *C. carnea* at 10 % concentration, since mortality for the predator was 42 % and for *B. cockerelli* 26 %, indicating low efficiency of the insecticide on the plague and a harmful effect on the predator (Table 2). Therefore, imidacloprid was considered incompatible with lacewings larvae, which coincides with reports by Huerta *et al.* (2003a), who indicate that this insecticide is highly toxic on *C. carnea* larvae and adults (Huerta *et al.*, 2003b). In addition, there are similar results in other predator species (Bacci *et al.*, 2007; Dagli and Bahsi, 2009).

This study showed that profenofos is highly toxic for both species studied, that is, it is efficient on the plague even at 10 % of the CCR, but it was highly harmful on the predator at the same concentration, which is why it would be incompatible with lacewings liberations. The high toxicity of profenofos on *C. carnea* was similar to the 100 % mortality found in *C. carnea* larvae exposed to this insecticide (Nasreen *et al.*, 2003). Organophosphate insecticides are highly toxic for Chrysopidae species, such as *Chrysoperla carnea* (Grafton-Cardwell and Hoy, 1985; Giolo *et al.*, 2008), *C. rufilabris* (Mizell and Schiffahuer, 1990), *C. externa* (Silva *et al.*, 2005) and *Chrysopa oculata* (Lecrone and Smilowitz, 1980).

### Average lethal concentration

The CL<sub>50</sub> of abamectin, bifenthrin and endosulfan for *B. cockerelli* were significantly lower as compared to those of *C. carnea*, indicating that these insecticides present higher toxicity to the plague than to the predator (Table 3).

With regards to the selectivity proportion, abamectin presented the highest value, which suggests that it was highly selective to the predator and it indicates that *C. carnea* was 1072 times more tolerant to this insecticide than *B. cockerelli* (Table 3). This degree of tolerance could be attributed to the difference in size and weight between *C. carnea* and *B. cockerelli*, affecting with this difference the low penetration through the integument, which

Respecto a la proporción de selectividad, abamectina presentó el valor mayor, lo cual sugiere que fue altamente selectivo al depredador e indica que *C. carnea* fue 1072 veces más tolerante a este insecticida que *B. cockerelli* (Cuadro 3). Este grado de tolerancia se podría atribuir a la diferencia de tamaño y peso entre *C. carnea* y *B. cockerelli*, afectando con esta diferencia baja penetración a través del integumento, lo que pudiera influir en su selectividad sobre el depredador. Otro factor que influye en la baja toxicidad de abamectina es la presencia natural de enzimas detoxificativas. Al respecto, Clark *et al.* (1994) mencionan que el principal mecanismo de resistencia a la abamectina son las enzimas oxidativas. La alta selectividad de abamectina sobre este depredador y su alta eficiencia sobre *B. cockerelli* en CCR y CCR reducida, sugieren que este insecticida se puede usar en sistemas de MIP, para el manejo de poblaciones de esta plaga en el cultivo de la papa.

El insecticida bifentrina también fue selectivo a *C. carnea* a CL<sub>50</sub> (PS=6.07). Sin embargo, este insecticida exhibió eficiencia regular sobre *B. cockerelli* en CCR y obtuvo sólo 75 % de mortalidad, lo cual es menor al nivel recomendado (80 %) por Bacci *et al.* (2007), Por lo anterior, en sistemas de MIP basados en liberaciones crisopas

could influence selectivity over the predator. Another factor that influences the low toxicity of abamectin is the natural presence of detoxificative enzymes; in this regard, Clark *et al.* (1994) mention that the main resistance mechanism to abamectin is oxidative enzymes. The high selectivity of abamectin on this predator and its high efficiency over *B. cockerelli* in CCR and reduced CCR suggests that this insecticide can be used in IPM systems, for managing populations of this plague in the potato crop.

The insecticide bifenthrin was also selective to *C. carnea* at CL<sub>50</sub> (SP=6.07). However, this insecticide exhibited regular efficiency on *B. cockerelli* at CCR, where it obtained only 75 % of mortality, which is lower than the level recommended (80 %) by Bacci *et al.* (2007). Because of this, in IPM systems based on the liberation of lacewings for *B. cockerelli* management, the bifenthrin product is not a good insecticide (mortality lower than 80 %), although it does show selectivity for *C. carnea*, an aspect that can be taken advantage of in this management scheme. This is because both species report tolerance to this insecticide and in terms of *C. carnea* there is evidence of its natural tolerance to pyrethroid insecticides (Plapp and Bull, 1978; Shour and Crawder, 1980; Grafton-Cardwell and Hoy, 1985), due to the high

**Cuadro 3. Concentración letal media de *B. cockerelli* y *C. carnea* expuestos a residuos de cinco insecticidas y proporción de selectividad para cada insecticida.**

**Table 3. Average lethal concentration for *B. cockerelli* and *C. carnea* exposed to residues of five insecticides and selectivity proportion for each insecticide.**

Insecticida	Especie								PS <sup>§</sup>
	CL <sub>50</sub> <sup>‡</sup>	<i>B. cockerelli</i>			CL <sub>50</sub> <sup>‡</sup>	<i>C. carnea</i>			
		Límites fiduciales	X <sup>2</sup>	Límites fiduciales		X <sup>2</sup>			
Inferior	Superior	Inferior			Superior				
ABM	0.01 <sup>a†</sup>	0.005	0.013	0.06	10.96B	8.825	14.280	0.03	1072.8
BFT	36.8 <sup>a†</sup>	24.911	48.116	0.07	223.51B	123.556	482.052	0.06	6.07
EDS	106.22 <sup>a†</sup>	67.850	143.33	0.1	1523B	1100	2614	0.1	14.33
IMCP	1567 <sup>a†</sup>	1071	3254	0.3	165.38B	80.09	307.21	0.16	0.11
PFN	2.63 <sup>a†</sup>	2.033	3.242	0.05	1.61 <sup>a</sup>	0.708	2.578	0.06	0.61

<sup>†</sup>La CL<sub>50</sub> de las dos especies comparadas para el mismo insecticida son estadísticamente diferentes cuando los límites fiduciales (95 %) se traslapan. <sup>‡</sup>Expresado en ppm. <sup>§</sup>Proporción de selectividad (PS), estimado con la relación CL<sub>50</sub> del depredador/CL<sub>50</sub> de la plaga. X<sup>2</sup>≤1: se ajusta al modelo probit. Si PS>1 el insecticida es selectivo al enemigo natural, y si PS<1 la selectividad es favorable a la plaga ❖

<sup>†</sup>The CL<sub>50</sub> of both species to the same insecticide are statistically different when the fiducial limits overlap. <sup>‡</sup>Expressed in ppm. <sup>§</sup>Proportion of selectivity (PS), it was estimated with the index CL<sub>50</sub> depredator/CL<sub>50</sub> pest. X<sup>2</sup>≤1: is adjusted with probit model. If PS>1 the insecticide is selective to the natural predator and if PS<1 selectivity is favorable to the pest.



para el manejo de *B. cockerelli*, el producto bifentrina no es un buen insecticida (mortalidad menor al 80 %) aunque muestra selectividad a *C. carnea*, lo cual se puede aprovechar con este esquema de manejo. Esto se debe a que ambas especies son tolerantes a este insecticida, y *C. carnea* muestra tolerancia natural a los insecticidas piretroides (Plapp y Bull, 1978; Shour y Crowder, 1980; Grafton-Cardwell y Hoy, 1985), debido a la alta actividad de enzimas esterazas (Ishaaya y Casida, 1981; Bashir y Crowder, 1983). Para *B. cockerelli* Dávila *et al.* (2012) reportan la presencia de oxidazas.

La proporción de selectividad de endosulfan fue 14.33, esto es, presentó alta eficiencia sobre la plaga en estudio con CCR por lo cual es candidato para usarlo en sistemas de MIP basados en liberaciones de crisopas para manejar poblaciones de esta plaga en el cultivo de la papa. Esta diferencia se puede atribuir a la diferencia de tamaño (Georghiou, 1972) y la cantidad de proteína en tejidos y fluidos está altamente relacionada con la actividad de enzimas detoxificativas. Al respecto, Pérez *et al.* (2000) involucran las vías oxidativas e hidrolíticas en el metabolismo de este insecticida.

La CL<sub>50</sub> de profenofos para *C. carnea* y la CL<sub>50</sub> para *B. cockerelli* no difieren estadísticamente y por tanto presenta toxicidad similar para ambas especies. Sin embargo, la CL<sub>50</sub> de imidacloprid para *B. cockerelli* fue significativamente mayor respecto a la CL<sub>50</sub> obtenida para el depredador, lo cual indica mayor toxicidad para el enemigo natural (Cuadro 3). Los valores de la proporción de selectividad de los insecticidas imidacloprid y profenofos fueron inferiores a la unidad (0.11 y 0.61) y de acuerdo al criterio establecido estos insecticidas no son selectivos a *C. carnea*. Estos resultados sugieren que ambos insecticidas no son candidatos para su uso en sistemas de MIP basados en control biológico.

La alta toxicidad de imidacloprid sobre el depredador en este estudio puede estar influenciada por la vía de exposición, vía residual porque la selectividad de este insecticida se basa en su actividad sistémica, lo cual minimiza su impacto sobre organismos no blanco. Sin embargo, el uso de imidacloprid para el control de algunas plagas implica los dos tipos de aplicación. Barbosa *et al.* (2002) recomiendan una aplicación sistémica y cuatro foliares de imidacloprid para el control de *Bemisia tabaci*, por lo que se pudiera sugerir la aplicación de este producto en sistemas

esterase enzymes' activity (Ishaaya and Casida, 1981; Bashir and Crowder, 1983). For *B. cockerelli* Dávila *et al.* (2012) report the presence of oxidases.

The selectivity proportion of endosulfan was 14.33, that is, presented high efficiency over the plague in studies with CCR, which is why it is a candidate to be used in IPM systems based on lacewings liberations for managing populations of this plague in potato crops. This difference can be attributed to the difference in size (Georghiou, 1972) and the amount of protein contained in tissues and fluids is highly related to the activity of detoxificative enzymes. In this regard, Pérez *et al.* (2000) mention the involvement of oxidative and hydrolytic pathways in this insecticide's metabolism.

The CL<sub>50</sub> of profenofos for *C. carnea* and the CL<sub>50</sub> for *B. cockerelli* do not differ statistically and therefore it presents similar toxicity for both species. However, the CL<sub>50</sub> of imidacloprid for *B. cockerelli* was significantly higher than the CL<sub>50</sub> obtained for the predator, which indicates higher toxicity for the natural enemy (Table 3). The values for selectivity proportion of the insecticides imidacloprid and profenofos were lower than the unit (0.11 and 0.61), and according to the criterion established, these insecticides are not selective for *C. carnea*. These results suggest that both insecticides are not candidates for their use in IPM systems based on biological control.

The high toxicity of imidacloprid over the predator in this study could be influenced by the exposure pathway, residual pathway, because the selectivity of this insecticide is based on its systemic activity, which minimizes its impact on non-target organisms. However, the use of imidacloprid for control of certain plagues implies the two types of application. Barbosa *et al.* (2002) recommend a systemic application and four foliar ones of imidacloprid for control of *Bemisia tabaci*, which is why applying this product could be suggested in IPM systems with lacewings liberation for plague control.

The CL<sub>50</sub> of imidacloprid for *B. cockerelli* (1567 ppm) was 9 times higher than the one obtained for *C. carnea* and 1.2 times higher than the CCR, which suggests that this plague was highly tolerant to this insecticide. This degree of tolerance could be related to the high rate of detoxification of the insecticide. Thus, Dávila *et al.* (2012) used a population of *B.*

de MIP con liberaciones de Crisopas para el control de plagas.

La CL<sub>50</sub> de imidacloprid para *B. cockerelli* (1567 ppm) fue 9 veces mayor a la obtenida para *C. carnea* y fue 1.2 veces mayor a la CCR, lo cual sugiere que esta plaga fue altamente tolerante a este insecticida. Este grado de tolerancia pudiera estar relacionado con la alta tasa de detoxificación del insecticida. Así, Dávila *et al.* (2012) usaron una población de *B. cockerelli* obtenida en los municipios de Huachichil y Arteaga, Coahuila (misma región que la colonia en el presente estudio), e involucran a las enzimas oxidasas en la resistencia a este insecticida, lo cual explica la tolerancia de *B. cockerelli*.

### CONCLUSIÓN

Los insecticidas abamectina y endosulfan son candidatos para su integración con *C. carnea*, en sistemas de manejo integrado de plagas, para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

### LITERATURA CITADA

- Abbott, S. W. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Bacci, L., A. L. B. Crespo, T. L. Galvan, E. J. G. Pereira, M. C. Picanço, G. A. Silva, and M. Chediak. 2007. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. *Pest Manage. Sci.* 63: 699-706.
- Bacci, L., M. C. Picanço, J. F. Rosado, G. A. Silva, A. L. B. Crespo, E. J. G. Pereira, and J. C. Martins. 2009. Conservation of natural enemies in *Brassica* crops: comparative selectivity of insecticides in the management of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aphididae). *Appl. Entomol. Zool.* 44: 103-113.
- Barbosa, F. R., K. M. M. Siquiera, E. A. Souza, W. A. Moreira, F. N. P. Haji, e J. A. Alencar. 2002. Efeito do controle químico da moscabranca na incidência do vírus-do-mosaico-dourado e na produtividade do feijoeiro. *Pesquisa Agropec. Bras.* 37: 879-883.
- Bashir, N. H. H., and L. A. Crowder. 1983. Mechanisms of permethrin tolerance in the common green lacewing. *J. Econ. Entomol.* 76: 407-409.
- Butler, C. D., and J. T. Trumble. 2012. The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Trioziidae): Life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial Arthropod Rev.* 5: 87-111.
- Carvalho, G. A., D. Bezerra, B. Souza, e C. F. Carvalho. 2003. Efeitos de inseticidas usados na cultura do algodoeiro sobre *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae). *Neotrop. Entomol.* 32: 699-706.
- Clark, J. M., J. G. Scott, F. Campos, and J. R. Bloomquist. 1994. Resistance to avermectins: Extent, mechanisms and manage-

*cockerelli* obtained in the Huachichil and Arteaga municipalities, in Coahuila (the same region of the colony in this study), and report the involvement of oxidase enzymes in resistance to this insecticide, which explains the tolerance in *B. cockerelli*.

### CONCLUSION

The insecticides, abamectine and endosulfan, are candidates for their integration with *C. carnea* in integrated plague management systems, for the control of *B. cockerelli* in potato cultivation.

—End of the English version—



- ment implications. *Ann. Rev. Entomol.* 40: 1-30.
- Cock, M. J. W. 1994. Integrated management of whitefly pest problems in the Middle and Near East with special emphasis on biological control. *Arab J. Plant Protec.* 12: 127-136.
- Dagli, F., and Bahsi U. S. 2009. Topical and residual toxicity of six pesticides to *Orius majusculus*. *Phytoparasitica* 37: 399-405.
- Dávila, M. M. D., E. Cerna, L.A. Aguirre, O. García, Y.M. Ochoa, G. Gallegos, y J. Landeros. 2012. Susceptibilidad y mecanismos de resistencia a insecticidas en *Bactericera cockerelli* (Sulc) en Coahuila, México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 3(6): 1145-1155.
- Dennehy, T. J., E. E. Grafton-Cardwell, J. Granett, and K. Barbour. 1987. Practitioner assessable bioassay for detection of dicofol resistance in spider mites (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 80: 998-1103.
- Elzen, G. W. 1989. Sub-lethal effect of pesticides on beneficial. *In: Jepson, P. C. (ed). Pesticides and Non-target Invertebrates.* Intercept Limited, Dorset, England. pp: 129-150.
- Finney, D. J. 1971. *Probit Analysis.* 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge. 333 p.
- Flores, O. A., N. I. Alemán, y M. I. Notario. 2004. Alternativas para el manejo de la punta morada. *In: Flores, O. A., y R. H. Lira (eds). Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa.* Parnaso. España. pp: 66-90.
- Garzón, T. J. A. 2004. *Bactericera cockerelli* (*Paratrioza cockerelli* Sulc), vector de fitoplasmas en México. *In: Flores, O. A., y R. H. Lira (eds). Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa.* Parnaso. España. pp: 91-114.
- Georghiou, G. P. 1972. The evolution of resistance to pesticides. *Ann. Rev. Ecol. System.* (3): 132-168.
- Giolo, F. B., P. Medina, A. D. Grutzmacher, and E. Viñuela. 2009. Effects of pesticides commonly used in peach orchards in Brasil on predatory lacewing *Chrysoperla carnea* under laboratory conditions. *Biocontrol* 54: 625-635.
- Grafton-Cardwell, E. E., and M. A. Hoy. 1985. Intraspecific variability in response to pesticides in the common green

- lacewing, *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). *Hilgardia* 53: 1-31.
- Hagley, E. A. C., and N. Miles. 1987. Release of *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera:Chrysopidae) for control of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina:Tetranychidae) on peach grown in a protected environment structure. *Can. Entomol.* 119: 119-205.
- Hansen, A. K., J. T. Trumble, R. Stouthamer, and T. D. Paine. 2008. New Huanglongbing (HLB) Species, “*Candidatus Liberibacter psyllaurosus*”, found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). *Appl. Environ. Microbiol.* 74(18): 5862-5865.
- Huerta, A., P. Medina, G. Smaghe, P. Castanera, and E. Viñuela. 2003a. Topical toxicity of two acetonic fractions of *Trichilia havanensis* Jacq. and four insecticides to larvae and adults of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Comm. Agric. Appl. Biol. Sci.* 68: 277-286.
- Huerta, A., P. Medina, P. Castanera, and E. Viñuela, 2003b. Residual effects of some modern pesticides on *Chrysoperla carnea* (Stephens) adults under laboratory conditions. *IOBC/WPRS Bull.* 26: 165-170.
- Ishaaya, I., and J. E. Casida. 1981. Pyrethroid esterase(s) may contribute to natural pyrethroid tolerance of larvae of the common green lacewing. *Environ. Entomol.* 10: 681-684.
- Johnson, M. W., and B. E. Tabashnik. 1999. Enhanced biological control through pestidity selectivity. *In: Bellows, T. S., and T. W. Fisher (eds). Handbook of Biological Control. Principles and Applications of Biological Control. Academic Press, San Diego.* pp: 297-317.
- Lecrone, S., and Z. Smilowitz. 1980. Selective toxicity of pirimicarb, carbaryl, and methamidophos to green peach aphid, *Myzus persicae* (Sultzer), *Coleomegilla maculata lengi* (Timberlake), and *Chrysopa oculata* Say. *Environ. Entomol.* 9: 752-755.
- Liu, D., and J. T. Trumble. 2006. Ovipositional preferences, damage thresholds, and detection of the tomato/potato psyllid (*Bactericera cockerelli* Sulc) on selected tomato accessions. *Bull. Entomol. Res.* 6: 197-204.
- Metcalf, R. L. 1972. Development of selective and biodegradable pesticides. *In: Pest Control Strategies for the Future. Natural Academic of Sciences. Washington, D. C.* pp: 137-156.
- McEwen, P. K., T. R. R. New, and A. Whittington. 2001. *Lacewing in the Crop Management.* Cambridge University Press. 546 p.
- Mizell, R. F., and D. E. Schiffhauer. 1990. Effects of pesticides on pecan aphid predators *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae), *Hippodamia convergens*, *Cycloneda sanguinea* (L.), *Olla v-nigram* (Coleoptera: Coccinellidae), and *Aphelinus perpallidus* (Hymenoptera: Encyrtidae). *J. Econ. Entomol.* 83: 1806-1812.
- Mizell, R. F., and M. Sconyers. 1992. Toxicity of imidacloprid to selected arthropod predators in the laboratory. *Fla. Entomol.* 75: 277-280.
- Nasreen, A., G. Mostafa, and M. Ashfaq. 2003. Selectivity of some insecticides to *Chrysoperla carnea* (Stephen) (Neuroptera: Chrysopidae) in laboratory. *Pak. J. Biol. Sci.* 6: 536-538.
- Pérez, C. J., P. Alvarado, C. Narváez, F. Miranda, L. Hernández, H. Vanegas, A. Hruska, and A. M. Shelton. 2000. Assessment of insecticide resistance in five insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 93: 1779-1787.
- Plapp, F. W. Jr., and D. L. Bull. 1978. Toxicity and selectivity of some insecticide to *Chrysopa carnea*, a predator of the tobacco budworm. *Environ. Entomol.* 7: 431-434.
- Poehling H. M. 1989. Selective application strategies for insecticides in agricultural crops. *In: P. C. Pesticides and Non-target Invertebrates. Intercept Ltd. Andover, United Kingdom.* pp: 151-175.
- Purcell, M. F., J. D. Stark, and R. H. Messing. 1994. Effects of insecticides on three tephritid fruit flies and associated braconid parasitoids in Hawaii. *J. Econ. Entomol.* 87: 1455-1462.
- Robertson, J. L., and H. K. Preisler. 1992. *Pesticide Bioassays with Arthropods.* CRC, Boca Raton, FL. 127 p.
- Rubio, C. O., I. H. Almeida, J. Ireta, J. A. Sánchez, R. Fernández, J. T. Bordon, C. Díaz, J. A. Garzón, R. Rocha, y M. Cadena. 2006. Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. *Agric. Téc.* 32: 201-211.
- SAS Institute 2001. *SAS/STAT User’s Guide.* SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shour, M. H., and L. A. Crowder. 1980. Effects of pyrethroid insecticides on the common green lacewing. *J. Econ. Entomol.* 73: 306-309.
- Silva, R. A. S., G. A. Carvalho, C. F. Carvalho, P. R. Reis, A. M. A. R. Pereira, e L. V. Cosme. 2005. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados na cultura do cafeeiro a larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e efeitos sobre as fases subseqüentes do desenvolvimento do predador. *Neotrop. Entomol.* 34: 951-959.
- Stevenson, J. H., and J. H. H. Walters. 1983. Evaluation of pesticides for use with biological control. *Agric. Ecosystems Environ.* 10: 201-215.
- Tauber, M. J., C. A. Tauber, K. M. Daane, and K. S. Hagen. 2000. Commercialization of predators: recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla). *Am. Entomol.* 46: 26-38.
- Vega, G. M. T., J. C. Rodríguez, O. Díaz, R. Bujanos, D. Mota, J. L. Martínez, A. Lagunes, y J. A. Garzón. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Trioziidae). *Agrociencia* 42: 463-471.
- Wennergren, U., and J. D. Stark. 2000. Modeling long-term effects of pesticides on populations: beyond just counting dead animals. *Ecol. Appl.* 10: 295-302.