

**COMPATIBILIDAD DE *Chrysoperla carnea* CON  
INSECTICIDAS PARA CONTROL DE *Bactericera cockerelli***

**CARLOS ENRIQUE AIL CATZIM**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS EN  
PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA.  
OCTUBRE DE 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

COMPATIBILIDAD DE *Chrysoperla carnea* CON INSECTICIDAS PARA  
CONTROL DE *Bactericera cockerelli*

TESIS

PRESENTADA POR:

CARLOS ENRIQUE AIL CATZIM

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como  
requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

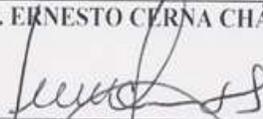
COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal



Dr. ERNESTO CERNA CHÁVEZ

Asesor



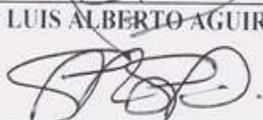
Dr. JERÓNIMO LANDEROS FLORES

Asesor



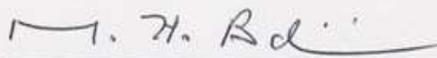
Dr. LUIS ALBERTO AGUIRRE URIBE

Asesor

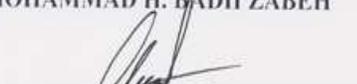


Dr. SERGIO RENÉ SÁNCHEZ PEÑA

Asesor



Dr. MOHAMMAD H. BADIH ZABEH

  
Dr. FERNANDO RUIZ ZARATE  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila; México, Octubre del 2011.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS:**

Por darme la oportunidad de vivir, brindarme serenidad y confianza y por ser la fuerza suprema que me impulsa cada día a ser mejor.

### **A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

Por haberme brindado la oportunidad de permanecer durante mi estancia como estudiante y vivir experiencias que siempre llevaré presente.

### **AL COMITE DE ASESORES**

Con especial reconocimiento al Dr. Ernesto Cerna Chávez, Dr. Jerónimo Landeros Flores, Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe, Dr. Sergio René Sánchez Peña y Dr. Mohammad H. Badii Zabeh por brindarme confianza, apoyo en la realización de esta investigación y la oportunidad de trabajar bajo su dirección.

### **A MIS MAESTROS**

Del Departamento de Parasitología Agrícola de esta universidad, que de alguna u otra forma intervinieron en mi formación

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES**

Diego Renato Ail Moo y María de los Ángeles Catzim Uuh, a quienes quiero con todo el corazón, por haberme dado lo más preciado, la vida.

### **A MI ABUELITA**

Estebana Moo Mukul con mucho cariño y amor, ya que sin escatimar esfuerzos y sacrificios, supo guiarme por el buen camino de la vida, para ser un hombre de provecho. Gracias chichi.

### **A MIS HERMANOS**

Lizbeth, Gilmer, Geny e Isidro con el cariño que siempre nos une.

### **A MIS HIJOS**

Diego y María José Ail Rivera, quienes le dan significado, alegría y felicidad a mi vida.

### **A YADIRA RIVERA BARSURTO**

Por haberme dado lo más preciado de mi vida, mis hijos.

**COMPENDIO**

**COMPATIBILIDAD DE *Chrysoperla carnea* CON INSECTICIDAS  
PARA CONTROL DE *Bactericera cockerelli***

**POR**

**CARLOS ENRIQUE AIL CATZIM**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, OCTUBRE DE 2011**

**Dr. ERNESTO CERNA CHÁVEZ –Asesor-**

Palabras clave: Depredador, coeficiente de ataque, tiempo de manipuleo, esterasas, oxidasas,  
glutación S-transferasas, pruebas bioquímicas, concentración letal media

*Bactericera cockerelli* es el factor más importante que limita la producción de papa en México y sur de Texas en los Estados Unidos, la aplicación de insecticidas es el método más empleado para su control. *Chrysoperla carnea* es considerado como uno de los principales agentes de control biológico de *B. cockerelli*. La integración del control químico y biológico puede representar una fuente de control sustentable, por lo tanto es esencial conocer los riesgos, selectividad y las condiciones de uso de los insecticidas, para maximizar la compatibilidad entre estas dos tácticas. Por tal motivo este trabajo tuvo como objetivo general evaluar la Compatibilidad de *Chrysoperla carnea* con insecticidas para control de *Bactericera cockerelli*, así también se establecieron tres objetivos específicos; 1) Determinar la respuesta funcional de *Chrysoperla carnea* sobre ninfas de *Bactericera cockerelli*, 2) Determinar la toxicidad y selectividad de insecticidas usados para el control de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de papa sobre *Chrysoperla carnea*., 3) Determinar la toxicidad y mecanismos de resistencia de *Chrysoperla carnea* y *Bactericera cockerelli* para abamectina y profenofos.

Los experimentos de respuesta funcional se realizaron con los tres estadios larvales de *C. carnea* sobre ninfas chicas ( $n_1$ - $n_2$ ) y grandes ( $n_4$ - $n_5$ ) de *B. cockerelli*. En relación al consumo, el tercer estadio de *C. carnea* presento mayor depredación independientemente al tamaño de presa ofrecido. El análisis de regresión logística indicó que el primero y segundo estadio larval de *C. carnea* presentaron respuesta funcional tipo II para ambos grupos de presas, pero el tercer estadio larval presentó respuesta tipo II para ninfas grandes y tipo III para ninfas chicas. Por otro lado el coeficiente de ataque no fue afectado por los factores tamaño de presa y edad del depredador, sin embargo estos factores tuvieron efecto significativo sobre el tiempo de manipuleo, que se incremento con el tamaño de la presa y disminuyo con el estado de desarrollo del

depredador. En los experimentos de toxicidad residual se evaluaron tres concentraciones (100%, 50%, y 10% de la concentración de campo recomendada) para abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid, y profenofos, más un testigo (0%). Los residuos de abamectina, bifentrina y endosulfan fueron significativamente más tóxicos para *B. cockerelli* en comparación a *C. carnea* independientemente de la concentración evaluada. Profenofos resulto altamente toxico para ambas especies. Sin embargo los residuos de imidacloprid fueron significativamente más tóxicos para *C. carnea* en comparación a *B. cockerelli*. El nivel de tolerancia de *C. carnea* sobre abamectina y profenofos podría estar relacionado a la actividad de las enzimas  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterasas que presentaron los individuos sobrevivientes a estos insecticidas. La tolerancia de *B. cockerelli* a abamectina pudiera estar relacionado al contenido de oxidasas que presentaron los individuos sobrevivientes al insecticida. En relación a la selectividad, abamectina fue altamente selectivo, endosulfan y bifentrina fueron selectivos y profenofos e imidacloprid fueron no selectivos para el depredador.

El alto consumo de *C. carnea* sobre ninfas de *B. cockerelli* y su tolerancia a los insecticidas abamectina y endosulfan, nos confirma el potencial de este depredador como agente de control biológico de esta plaga, así también estos resultados nos sugieren que este depredador puede ser incluido en sistemas de manejo integrado de plagas (MIP), para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

**ABSTRACT**

**COMPATIBILITY OF *Chrysoperla carnea* WITH  
INSECTICIDES FOR CONTROL OF *Bactericera cockerelli***

**BY**

**CARLOS ENRIQUE AIL CATZIM**

**DOCTOR OF SCIENCE**

**AGRICULTURAL PARASITOLOGY**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, OCTOBER, 2011**

**Dr. ERNESTO CERNA CHÁVEZ-Advisor-**

Key words: predator, attack rate, handling time, esterases, oxidases, glutathione S-transferases,  
biochemical tests, median lethal concentration.

*Bactericera cockerelli* is the most important factor limiting potato production in Mexico and southern Texas in the United States, the application of insecticides is the most used method to control. *Chrysoperla carnea* is considered one of the main agents of biological control of *B. cockerelli*. The integration of chemical and biological control can be a source of sustainable control; therefore it is essential to know the risks, selectivity and conditions of use of insecticides, to maximize compatibility between these two tactics. On the basis of the previous thing, the objective of this work investigation was to evaluate compatibility of *Chrysoperla carnea* with insecticides to *Bactericera cockerelli* control, also established three specific goals; 1) To determine the functional response of *Chrysoperla carnea* on *Bactericera cockerelli* nymphs, 2) To determine the toxicity and selectivity of insecticides used to control *Bactericera cockerelli* in the potato crop on *Chrysoperla carnea*, 3) To determine the toxicity and resistance mechanisms of *Chrysoperla carnea* and *Bactericera cockerelli* to abamectin and profenofos

Functional response experiments were performed with the three larval instars of *C. carnea* on small nymphs ( $n_1$ - $n_2$ ) and large ( $n_4$ - $n_5$ ) of *B. cockerelli*. In relation to consumption, the third instar of *C. carnea* showed higher predation regardless of the size of prey offered. The logistic regression analysis indicates that the first and second larval instar of *C. carnea* showed type II functional response for both groups of prey, but the third larval instar to present a type II functional response to large nymphs and type III to small nymphs. On the other hand the coefficient of attack was not affected by the factors of size of prey and predator's age, but these factors had significant effect on handling time, which increased with prey size and decreased with the state of development of predator.

In the residual toxicity experiments evaluated three concentrations (100%, 50% and 10% of the recommended field concentration) for abamectin, bifenthrin, endosulfan, imidacloprid, and profenofos, plus a control (0%). Residues of abamectin, bifenthrin and endosulfan were significantly more toxic to *B. cockerelli* compared to *C. carnea* independent of the concentration tested. Profenofos highly toxic for both species. However residues of imidacloprid were significantly more toxic to *C. carnea* compared to *B. cockerelli*. The tolerance level of *C. carnea* to insecticides abamectin and profenofos could be related to the activity of the enzymes  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterases who presented surviving individuals to these insecticides. The tolerance of *B. cockerelli* to insecticides abamectin could be related to oxidase content present in the surviving individuals to insecticide. In relation to selectivity, abamectin was highly selective, endosulfan and bifenthrin were selective and profenofos and imidacloprid were not selective for the predator.

High consumption of *C. carnea* on nymphs of *B. cockerelli* and tolerance to insecticides abamectin and endosulfan, confirms the potential of this predator as a biological control agent of this pest, so the results suggest that this predator may be included in systems of integrated pest management (IPM) control *B. cockerelli* in growing potatoes.

## INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Generalidades de <i>Bactericera cockerelli</i> .....	4
Importancia económica .....	4
Distribución .....	5
Control de <i>B. cockerelli</i> .....	5
Control químico .....	5
Control biológico .....	6
<i>Chrysoperla carnea</i> .....	7
Resistencia a Plaguicidas .....	8
Tipos de resistencia .....	9
Resistencia por comportamiento .....	9
Resistencia morfológica .....	9
Resistencia fisiológica .....	10
Resistencia a insecticidas en enemigos naturales .....	10

Disposición a la documentación.....	11
Alimento limitado.....	11
Variabilidad genética.....	11
<b>ARTICULO CIENTIFICO 1</b>	
EFFECTO DE TAMAÑO DE PRESA Y EDAD DE DEPREDADOR EN RESPUESTA FUNCIONAL DE <i>CHRYSOPERLA CARNEA</i> SOBRE <i>BACTERICERA COCKERELLI</i> .....	13
<b>ARTICULO CIENTIFICO 2</b>	
TOXICIDAD Y SELECTIVIDAD DE INSECTICIDAS EN CONTROL DE <i>Bactericera cockerelli</i> SOBRE <i>Chrysoperla carnea</i> .....	40
<b>ARTICULO CIENTIFICO 3</b>	
COMPARACIÓN DE LA TOXICIDAD Y MECANISMOS DE RESISTENCIA DE <i>Chrysoperla carnea</i> Y <i>Bactericera cockerelli</i> PARA ABAMECTINA Y PROFENOFOS.....	61
CONCLUSIONES GENERALES .....	84
LITERATURA CITADA .....	86

## INTRODUCCIÓN

*Bactericera cockerelli* es el factor más importante que limita la producción de papa en México y sur de Texas en los Estados Unidos (Flores *et al.*, 2004; Liu y Trumble, 2006), debido a su capacidad de transmitir enfermedades infecciosas, ocasionadas por bacterias y fitoplasmas (Garzón, 2004; Hansen *et al.*, 2008). En Coahuila y Nuevo León (Noreste de México) los rendimientos del cultivo de papa se redujeron hasta 90% durante los años 2003 y 2004, a causa del fitoplasma, que provoca la enfermedad punta morada de la papa, transmitido por *B. cockerelli*, (Flores *et al.*, 2004; Garzón, 2004). En México el control químico, es el método más empleado por los productores de papa para el manejo de esta plaga, es común que se realicen de 12 a 30 aplicaciones de insecticidas durante la temporada de cultivo (Rubio *et al.*, 2006; Vega *et al.*, 2008), lo que sugiere una dependencia a estos productos.

El uso intensivo de los insecticidas puede ocasionar efectos negativos tales como; desarrollo de resistencia a los insecticidas en las plagas, acumulación y persistencia de los compuestos en el ambiente, efecto en los organismos benéficos y que se eleven los costos de producción (Dent, 2000). Sin embargo con el uso de los enemigos naturales de las plagas se pueden reducir estos efectos, *Chrysoperla carnea* es considerado como uno de los principales agentes de control biológico de *B. cockerelli* (Al-jabr, 1999), es un

depredador, generalista y voraz, comúnmente encontrado en sistemas agrícolas (Tauber *et al.*, 2000), presenta amplio rango de presas (McEwen *et al.*, 2001), su efectividad como agente de control biológico en cultivos a campo abierto e invernadero ha sido demostrado (Hagley y Miles, 1987). Sin embargo el usar solo a los agentes de control biológico no es suficiente para proporcionar un adecuado control de plagas, pero a través de su integración con otras tácticas de manejo, puede representar una fuente significativa de control sustentable (Cock, 1994).

Por esto, varias tácticas deben ser consideradas e implementadas en la práctica, a fin de minimizar los efectos adversos de los insecticidas en los organismos benéficos (Dagli y Bahsi, 2009). Por lo tanto es esencial conocer los riesgos, selectividad y las condiciones de uso de los insecticidas, 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).

Debido a lo anterior se plantearon los siguientes objetivos

#### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la compatibilidad de *Chrysoperla carnea* con insecticidas para control de *Bactericera cockerelli*.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Determinar la respuesta funcional de *Chrysoperla carnea* sobre ninfas de *Bactericera cockerelli*.
- 2) Determinar la toxicidad y selectividad de insecticidas usados para el control de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de papa sobre de *Chrysoperla carnea*.
- 3) Determinar la toxicidad y mecanismos de resistencia de *Chrysoperla carnea* y *Bactericera cockerelli* para abamectina y profenofos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Generalidades de *B. cockerelli***

El psílido de la papa fue primeramente estudiado a partir de insectos colectados en plantas de papa en el estado de Colorado en los U. S. A. por T. D. Cockerell. Fue descrito por primera vez por Sulc in 1909 y posteriormente designado como *Trioza cockerelli* y transferido después al género *Paratrioza* por Crawford (Crawford, 1911). Recientemente el psílido de la papa ha sido reasignado al género *Bactericera*. Este insecto fue reportado como plaga primaria en papa, sin embargo periódicamente también ha colonizado cultivos de tomates y chiles en el oeste de los Estados Unidos (Carter, 1950; Pletsch, 1947). Además de las especies cultivadas, el rango de hospederos naturales de *B. cockerelli* es amplio, incluyendo especies en 20 familias de plantas con fuerte preferencia para especies de la familia solanáceas (Liu y Trumble, 2006; Wallis, 1955)

### **Importancia económica**

En Coahuila y Nuevo León (Noreste de México) los rendimientos del cultivo de papa se redujeron hasta 90% durante los años 2003 y 2004, a causa del fitoplasma, que

provoca la enfermedad punta morada de la papa, transmitido por *B. cockerelli*, (Flores *et al.* 2004; Garzón, 2004). El psílido de la papa/tomate recientemente ha desarrollado altas densidades en el oeste de Norte América y causando pérdidas que exceden 50 % en el mercado de tomates frescos, en California en los Estados Unidos y Baja California en México (Liu *et al.*, 2006). En el estado de Guanajuato *B. cockerelli* mermó 60% de la producción de tomate en los años 90. En los años siguientes la superficie cultivada se redujo 85% (Garzón, 2003). En San Luis Potosí, se ha comportado como plaga primaria de los cultivos de chile y tomate.

## **Distribución**

*B. cockerelli*, se encuentra ampliamente distribuido en el Norte y Centro del Continente Americano, incluyendo áreas de Estados Unidos y Canadá, debido a su capacidad de migración (Liu *et al.* 2006; Abdullah, 2008), lo que le ha permitido adaptarse a nuevas condiciones climáticas y nuevos hospederos. En México, se ha encontrado en Coahuila, Chihuahua, Durango, Baja California (Norte), Estado de México, Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, San Luis Potosí, Sonora y Sinaloa sobre cultivos de papa, tomate y chile (García, 2007).

## **Control de *B. cockerelli***

### **Control químico**

En la actualidad el control de *B. cockerelli* se basa principalmente en el uso de insecticidas, en México los productores de papa realizan desde 5 hasta 30 aplicaciones de insecticida para el control de este vector durante el ciclo de cultivo, en lo referente Vega *et al.* (2008) reportan que en el estado de Coahuila es común que se realicen hasta 12 aplicaciones de insecticidas durante la temporada de cultivo de la papa para el manejo de *B. cockerilli*.

Se han usado insecticidas como forato y aldicarb aplicados a la siembra, así también omeotoato, medamidofos e imidacloprid aplicados al follaje, los cuales disminuyen la incidencia y severidad de la punta morada de la papa al reducir la densidad poblacional y habilidad del psílido para transmitir el fitoplasma (Cadena, 1999).

En el altiplano Potosino Tiscareño *et al.* (2002) reportan que imidacloprid redujo la incidencia de huevos y ninfas del psílido de la papa en el cultivo de chile, sin embargo los insecticidas permetrina, nim, metamidofos y endosulfan no presentaron un buen efecto sobre los mismos estadios. En otro estudio se encontró que imidacloprid y pyriproxyfen, inhibieron la alimentación del psílido, contrario a esto el insecticida pymetrozina estimulo la alimentación de *B. cockerelli* sobre plantas de tomates, lo que provoco la diseminación del patógeno en el cultivo y plantas aledañas (Liu *et al.*, 2006)

## **Control biológico**

Debido al incremento en daños por *B. cockerelli* los productores del cultivo de la papa recurren primordialmente, al uso de insecticidas organosintéticos (Liu y Trumble, 2004), sin embargo el uso irracional de estos productos, ocasiona que se eleven los costos de producción y representen un riesgo de contaminación ambiental (Vega *et al.*, 2008) pero a través del uso de los enemigos naturales mediante el control biológico se pueden reducir estos efectos negativos.

En lo referente a los enemigos naturales del psílido de la papa, se han reportado varios insectos depredadores, incluyendo varias especies de catarinitas (*Hippodamia convergens*, *H. americana*, *H. lecontei*, *H. quinquesignata* y *H. tredecimpunctata*), larvas de crisopas (*Chrysoperla* spp), chinches del género *Nabis*, chinches ojonas (*Geocoris decoratus*) (Knowlton, 1933a; 1933b; 1933c; 1934). Parasitoides primarios de ninfas *Methaphycu psyllidus* y *Tamarixia triozae*.

### ***Chrysoperla carnea***

*Chrysoperla carnea* es un depredador generalista y voraz, comúnmente encontrado en sistemas agrícolas (Tauber *et al.*, 2000), presenta amplio rango de presas (McEwen *et al.*, 2001), su efectividad como agente de control biológico en cultivos a campo abierto e invernadero ha sido demostrado (Hagley y Miles, 1987).

Al-jabr (1999) evaluó dos especies de crisopidos *Chrysoperla carnea* y *C. rufilabris* como agentes de control biológico del psílido de la papa y reporta que las dos especies de depredador se desarrollaron exitosamente teniendo como dieta solo a *B.*

*cockerelli*, sin embargo *C. carnea* tuvo un consumo diario (24 ninfas/día) y total mayor (245 ninfas) que *C. rufilabris*, además este autor reporta que ambas especies de crisopidos no presentaron preferencia de presa cuando se les ofreció ninfas *Myzus persicae* y del psílido de la papa, estos resultados destacan a *C. carnea* como principal agente de control biológico para esta plaga.

### **Resistencia a Plaguicidas**

Georghiou (1971) indica que bajo condiciones adecuadas, la mayoría de las especies son capaces de desarrollar resistencia a plaguicidas, esto se relaciona con el gran número de casos de resistencia reportados (Lagunes, 1974). A principios de 1990, por lo menos 504 especies de insectos y ácaros habían desarrollado resistencia a por lo menos un plaguicida. De esas 504 especies, 23 especies son benéficas y 481 perjudiciales, siendo 283 de importancia agrícola y 198 de importancia medico-veterinaria (Georghiou y Lagunes, 1991).

Brown (1958) definió a la resistencia como el desarrollo de una habilidad adicional en una población de insectos de tolerar dosis de tóxicos que son letales para la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie. La FAO (1979), la definió como; la capacidad desarrollada por una población determinada de insectos a no ser afectada por la aplicación de insecticidas. Lagunes y Villanueva (1994) la definen como la habilidad complementaria y hereditaria propia de un individuo o conjunto de ellos, que los capacita fisiológica y etológicamente, para bloquear la acción

tóxica de un insecticida por medio de mecanismos metabólicos y no metabólicos, y en consecuencia sobrevivir a la exposición de dosis que para otros sería letal.

### **Tipos de resistencia**

Georghiou (1965) clasificó la resistencia en tres tipos: por comportamiento, morfológica y fisiológica.

**Resistencia por comportamiento.** Se refiere a los patrones de comportamiento que contribuyen a la resistencia, estos pueden ser hábitos tales como la preferencia a descansar en áreas no tratadas con insecticidas en lugar de áreas tratadas, o bien la detección del insecticida y la tendencia a evitarlo antes de ponerse en contacto con él (Hayes y Liu, 1947).

**Resistencia morfológica.** Al respecto Perry (1956) menciona que se presenta cuando alguna característica morfológica ocasiona la resistencia, como las estructuras cuticulares como pubescencia, ceras, no permiten que el tóxico penetre el integumento del insecto.

La resistencia morfológica, es un mecanismo físico de resistencia y contempla muchos casos de penetración reducida que causan resistencia en los insectos la velocidad de penetración depende de las características moleculares del insecticida y de las propiedades del integumento del insecto, las cuales varían considerablemente entre

los estadios de vida y de una especie a otra. Una penetración demorada provee un mayor tiempo para la detoxificación de una dosis tomada (Brattsten *et al.*, 1986).

**Resistencia fisiológica.**- Según McNally (1962) es el tipo de resistencia más importante; por su parte Perry (1956) indica que los principales factores fisiológicos que intervienen en este tipo de resistencia son:

- Detoxificación enzimática
- Protección contra la inhibición de la fosforilación
- Reducción de la permeabilidad de la cutícula
- Diferencias en la penetración y movimiento del tóxico a partir del punto de contacto con el organismo
- Almacenamiento de las tóxicos en tejidos no sensitivos

En el desarrollo de la resistencia a algún producto tóxico no necesariamente actúan al mismo tiempo todos los factores anteriores; dependerá de la especie del insecto y del tóxico (McNally, 1962)

### **Resistencia a insecticidas en enemigo naturales**

La resistencia a los insecticidas se presenta tanto en las plagas como en los enemigos naturales. Sin embargo la evolución de la resistencia a insecticidas, tanto en campo como en laboratorio, ocurre más lentamente en enemigos naturales que en las

plagas (Tabashnik y Croft, 1985). La tasa con la que los enemigos naturales desarrollan resistencia a los insecticidas depende de una compleja interacción entre factores genéticos, biológicos, ecológicos y operacionales (Georghiou y Taylor, 1977; Croft y Strickler, 1982).

Por su parte Tabashnik y Johnson (1999) señalan que existen tres teorías que explican del porque el desarrollo de resistencia a los plaguicidas en los enemigos naturales es menos común que en las plagas, las cuales se mencionan a continuación

### **1) Disposición a la documentación**

Simplemente, no existe la disposición para detectarla, es decir, se está demasiado pendiente en la documentación de la resistencia en plagas y no se le presta atención a los insectos benéficos (Tabashnik y Johnson, 1999).

### **2) Alimento limitado**

Esta hipótesis señala que después de una aplicación de insecticida, los insectos fitófagos sobrevivientes tiene una fuente ilimitada de alimento, mientras que en el caso de los enemigos naturales estos quedan en desventaja para sobrevivir y reproducirse dado la baja densidad de la plaga sobreviviente a la aplicación que le sirve de alimento o huésped. En consecuencia, este difícilmente encuentra alimento, no se reproduce y tiende a migrar a zonas sin aplicaciones en busca de poblaciones de presas u hospederos (Croft y Strickler, 1982; Tabashnik y Johnson, 1999)

### **3) Variabilidad genética**

Esta hipótesis se basa en que las plagas poseen una mayor variabilidad genética que los enemigos naturales, lo que facilita el desarrollo de resistencia respecto a

los depredadores y parasitoides. Esto se debe a que los insectos fitófagos requieren, en general, de una amplia gama de enzimas que les permitan alimentarse de plantas que se defienden químicamente. Por lo que se considera que estas enzimas pudieran jugar un papel importante en la detoxificación de compuestos xenobióticos como los insecticidas. Además algunos grupos de insecticidas como los carbamatos y los piretroides son versiones sintéticas de moléculas vegetales (Croft y Brown, 1975; Tabashnik y Johnson, 1999).

## ARTICULO 1

# EFFECTO DE TAMAÑO DE PRESA Y EDAD DE DEPREDADOR EN RESPUESTA FUNCIONAL DE *CHRYSOPERLA CARNEA* SOBRE *BACTERICERA COCKERELLI*

Carlos **Ail**<sup>1</sup>, Ernesto **Cerna**<sup>1</sup>, Jerónimo **Landeros**<sup>1</sup>, Sergio **Sanchez**<sup>1</sup>, Mohammad H.  
**Badii**<sup>2</sup>, Luis A. **Aguirre**<sup>1</sup> y Yisa **Ochoa**<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. C.P. 25315. Buenavista,  
Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Biología. C.P.28710. San Nicolás de los Garza,  
Nuevo León. \*Autor para correspondencia:

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, AV. Universidad No 940 Col. Cd. Universitaria C. P.  
Aguascalientes, Aguascalientes. Tel y Fax 01 (449) 965 00 62 Ext 8107. [yisa8a@yahoo.com](mailto:yisa8a@yahoo.com)

## INTRODUCCIÓN

El insecto plaga *Bactericera cockerelli* es el factor más importante que limita la producción de papa en México y sur de Texas en los Estados Unidos (Flores *et al.*, 2004; Liu y Trumble, 2006), este insecto causa daño directo, al alimentarse succionando la savia de las plantas e inyectando una toxina sistémica (Cranshaw, 2002; Munyaneza *et al.*, 2007), y daño indirecto por la transmisión de fitoplasmas (Garzón, 2004). El insecto depredador *Chrysoperla carnea* es considerado como el principal agente de control biológico de *B. cockerelli*, esta especie depredadora es capaz de desarrollarse exitosamente teniendo como dieta solo ninfas de esta plaga (Al-jabr, 1999). A pesar de esto es importante conocer la efectividad de los agentes de control biológico sobre plagas de insectos, la efectividad de un depredador está parcialmente relacionada al tipo de respuesta funcional que presenta y la información obtenida puede ser usada para inferir los mecanismos básicos de la interrelación depredador-presa bajo condiciones de campo (Houck y Strauss, 1985).

La respuesta funcional de un depredador describe las relaciones entre el número de presas atacadas y la densidad de presa (Solomon, 1949), la cual puede ser categorizada en tres tipos de acuerdo a la forma de la curva (Holling, 1959). La respuesta de tipo I, es caracterizada por un incremento lineal, una respuesta tipo II por un incremento desacelerado monotonico y una respuesta tipo III por un incremento sigmoideal en el número de presas atacadas (Hassell, 1978). La respuesta funcional es uno de los componentes claves en la selección de depredadores para control biológico (Lester y Harmsen, 2002).

La respuesta funcional tipo II es la más común reportada en insectos (Begon *et al.*, 1996) e incluso en *C. carnea* (Montoya *et al.*, 2010), sin embargo diferentes factores pueden influir en esta respuesta; abióticos, tales como la temperatura y humedad relativa (Mohaghegh *et al.*, 2001; Skirvin y Fenlon, 2003; Svendsen *et al.*, 1999), y bióticos tales como la especie de la presa, presencia de alimento alternativo, sexo del depredador, edad del depredador e historia de alimentación (Donnelly y Phillips, 2001; Hoddle, 2003; Wei y Walde, 1997; Parajulee *et al.*, 1994; Eveleigh y Chant, 1981; Castagnoli y Simoni, 1999). *C. carnea* exhibe diferentes tipos de respuesta, las larvas de primero y segundo instar presenta tipo II y el tercer instar tipo III sobre hembras adultas de *Tetranychus urticae* (Hassanpour *et al.*, 2009), por su parte Streams (1994) y Hassell *et al.* (1977) mencionan que en algunas especies el tipo de respuesta funcional puede cambiar de una respuesta tipo II para presas grandes, a una respuesta tipo III para instares pequeños de la misma presa o vice-versa en otras especies (Eggleston, 1990). Debido a lo anterior el objetivo de este estudio es investigar los efectos del tamaño de presa y edad del depredador en la respuesta funcional de *C. carnea* para diferentes densidades de *B. cockerelli*, a fin de incrementar nuestro entendimiento de las interacciones depredador-presa entre *C. carnea* y *B. cockerelli*, lo que puede ser de ayuda para optimizar el control biológico de esta plaga de importancia económica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Insectos**

Las ninfas de *B. cockerelli* que se emplearon en esta investigación, se obtuvieron de una colonia, establecida con adultos del psílido colectados en lotes comerciales de papa en la zona de Arteaga, Coahuila, México, los cuales se mantuvieron utilizando como sustrato

plantas de papa y chile en una jaula entomológica bajo condiciones de campo. Las crisopas en sus diferentes instares larvales ( $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ ), se obtuvieron a partir de huevos proporcionados por el Laboratorio de Producción de Enemigos Naturales del Comité de Sanidad Vegetal del Estado de Coahuila, estos huevos se individualizaron en vasitos de plástico de 3cm de diámetro por 3cm de alto y después de su emergencia, las larvas se alimentaron con huevos de *Sitotroga cerealella*, y mantenidas en condiciones controladas, de temperatura  $25\pm 2^\circ$  C, humedad relativa de  $70\pm 10$  %, hasta obtener los diferentes instares a evaluar

### **Respuesta funcional**

En los experimentos de respuesta funcional se evaluaron los tres instares larvales ( $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ ) de *C. carnea* sobre dos grupo de ninfas; chicas ( $n_1$ - $n_2$ ) y grandes ( $n_4$ - $n_5$ ) de *B. cockerelli*, para esto se empleo el método de hoja arena, el cual consistió de una caja petri (6cm de diámetro) conteniendo un disco de tela de fieltro húmedo en el fondo, sobre este se colocó un disco de hoja de papa (*Solanum tuberosum* cv. Cesar) de 5 cm de diámetro (Lagaspi *et al.* 1994), en el cual se depositaron diferentes densidades de la presa, de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 96, 112 para los tres instares larvales, se incluyeron 10 repeticiones para cada una de las densidades a evaluar. El primer instar larval se empleo 24h después de haber emergido del huevo, el segundo y tercer instar larval se emplearon 24h después de haber mudado de un instar a otro. Una hora después de haber depositado a las presas, se introdujo un depredador por cada arena experimental, antes de iniciar el experimento las larvas se mantuvieron durante 12h en ayuno. Después de un periodo de forrajeo de 6h el número de presas consumidas por el predador se registro, las presas consumidas por el depredador no fueron remplazadas durante el experimento. El estudio

se llevó a cabo bajo condiciones controladas en una cámara bioclimática, temperatura  $25\pm 2^\circ\text{C}$ , humedad relativa de  $70\pm 10\%$  y fotoperiodo 14:10 h Luz: oscuridad.

### **Análisis de resultados**

Los efectos del tamaño de presa, edad del depredador y densidad de presa sobre el número de ninfas consumidas se analizaron con un ANOVA de tres-vías mediante el procedimiento PROC GLM de SAS/STAT (SAS, 2001)

Los resultados de los experimento de la respuesta funcional fueron analizados a través de dos pasos (Juliano, 2001). En el primer paso el tipo (forma de la curva) de la respuesta funcional se determino mediante análisis de regresión logística de la proporción de presas consumidas en relación a la densidad inicial de presas ofrecidas, un modelo logístico polinomial se ajusto a los resultados.

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

Donde  $N_e$  es el número de presas consumidas,  $N_0$  es la densidad inicial de presas y  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  parámetros hacer estimados. Las regresiones se realizaron iniciando con el modelo cubico y los coeficientes de mayor orden que no fueron significativamente diferentes de cero se eliminaron, hasta que todos los coeficientes que permanecieron en el modelo sean significativamente diferentes de cero. Un modelo logístico simple, cual contiene solo  $P_0$  y  $P_1$ , es el modelo de orden más bajo que puede ser ajustado. El valor del parámetro lineal  $P_1$  se uso para distinguir entre la respuesta funcional tipo II y tipo III, si  $P_1 < 0$ , la proporción de presas consumidas decrece monotónicamente con el número inicial de presas ofrecidas, y de esta manera se describe la respuesta funcional de tipo II, pero si  $P_1 > 0$ , la proporción de presas consumidas es positivamente dependiente de la densidad inicialmente, de esta manera se describe la respuesta

funcional de tipo III (Juliano, 2001). La regresión logística se trabajó con el procedimiento PROC LOGISTIC de SAS/STAT (SAS, 2001).

En el segundo paso los parámetros de la respuesta funcional; tiempo de manipuleo ( $T_h$ ) y coeficiente de ataque ( $a$ ) se estimaron mediante el modelo de Rogers (1972), para ambas respuestas tipo II y tipo III, a través una regresión no lineal del número de presas consumidas contra la densidad de presas ofrecidas, se empleo este modelo debido a que en el experimento no se remplazaron las presas consumidas.

Modelo de Rogers (1972) para respuesta funcional tipo II

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[a(T_h N_e - T)]\} \quad (1)$$

Modelo de Rogers (1972) para respuesta funcional tipo III. Derivado del modelo de Hassell (1978), donde el coeficiente de ataque ( $a$ ) es una función hiperbólica de la densidad de presa.

$a = (d + bN_0)/(1 + cN_0)$ , por sustitución en la ecuación 1 se obtiene:

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[(d + bN_0)(T_h N_e - T)/(1 + cN_0)]\} \quad (2)$$

Donde  $N_e$  es número de presas consumidas,  $N_0$  es la densidad inicial de presas,  $T$  es el tiempo total de duración de experimento (En este estudio  $T=6$  h),  $T_h$  es tiempo de manipuleo, ( $a$ ) es el coeficiente de ataque,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son constantes.

En el caso donde los resultados revelaron respuesta funcional tipo III en este estudio, las constantes  $c$  y  $d$  no fueron significativamente diferentes de 0, por tanto se uso un modelo reducido de respuesta tipo III, para ajustar los resultados del experimento (Juliano, 2001)

$$N_e = N_0 \{1 - \exp[(bN_0)(T_h N_e - T)]\} \quad (3)$$

La regresión no lineal para estimar los parámetros para ambas respuestas se trabajo con el procedimiento PROC NLIN de SAS/STAT (SAS, 2001). Posteriormente mediante el método del Jack-Knife (Quenouille, 1956) se estimaron las medias y varianzas del; coeficiente de ataque, tiempo de manipuleo y consumo máximo teórico (obtenido con la

relación  $T/T_h$  (Hassell *et al.*, 1977), en este estudio  $T=6h$ ), solo para los casos donde la respuesta funcional fue de tipo II. Se calcularon 10 valores parciales para cada parámetro con  $n-1$  repeticiones, después estos valores se convirtieron en pseudovalores usando las siguientes ecuaciones:

$$VP_{a_i} = na_T - [(n-1)a_{pi}]$$

$$VP_{T_{hi}} = nT_{hT} - [(n-1)T_{hpi}]$$

$$VP_{(T/T_h)_i} = n(T/T_h)_T - [(n-1)(T/T_h)_{pi}]$$

Donde  $VP [a] [T_h] [(T/T_h)]_i$  es el pseudovalor de  $[a] [T_h] [(T/T_h)]$  para la  $i$ -enésima repetición;  $n$  el número de repeticiones;  $[a] [T_h] [(T/T_h)]_T$  es el total de  $[a] [T_h] [(T/T_h)]$  estimado con  $n$  repeticiones; y  $[a] [T_h] [(T/T_h)]_{pi}$  es el parcial de  $[a] [T_h] [(T/T_h)]$  estimado con para la  $i$ -enésima repetición, con  $n-1$  repeticiones. La media de todos los pseudovalores es el mejor estimado para cada parámetro de depredación. Un conjunto de 10 pseudovalores constituyen las repeticiones para cada parámetro. Finalmente los efectos del tamaño de presa y edad del depredador sobre los parámetros de depredación ( $a$ ,  $T_h$ , y  $(T/T_h)$ ) se analizaron con un ANOVA de dos-vías mediante el procedimiento PROC GLM de SAS/STAT (SAS, 2001) y las medias de los mínimos cuadrados se compararon por Tukey (SAS, 2001). Los valores de parámetros coeficiente de ataque y consumo máximo teórico fueron transformados antes del análisis a través de  $\sqrt{(x+1)}$  y  $\sqrt{x}$  respectivamente.

## RESULTADOS

El análisis de varianza de tres vías indica que los efectos de tamaño de presa, edad del depredador, densidad de presa y las interacciones de estos factores fueron significativos en el consumo medio de ninfas de *B. cockerelli* ( $P>0.05$ ) (Cuadro 2). El número

promedio de ninfas consumidas por los tres instares larvales de *C. carnea* fue más alto cuando depredó sobre ninfas de menor tamaño en comparación con ninfas de tamaño mayor (Cuadro 1). El tercer instar de *C. carnea* consumió un mayor número de ninfas de *B. cockerelli* en comparación al primero y segundo instar, independientemente al tamaño de presa ofrecido como se observa en el cuadro 1. En cuanto al efecto de la densidad de presa se observa que en todas las combinaciones tamaño de presa x edad del depredador, el consumo promedio de ninfas se incremento a medida que el número de presas ofrecidas fue mayor (Cuadro 1).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de regresión logística y al criterio establecido podemos afirmar que la respuesta funcional de los tres instares larvales de *C. carnea* sobre ninfas grandes ( $n_4$ - $n_5$ ) de *B. cockerelli* es de tipo II ( $P_I < 0$ ), el mismo resultado se presentó cuando el primer y segundo instar larval se alimentaron sobre ninfas chicas ( $n_1$  y  $n_2$ ) (Cuadro 3), sin embargo la respuesta cambió a tipo III ( $P_I > 0$ ), para el tercer instar depredando sobre este grupo de ninfas (Cuadro 3). Estos resultados son confirmados por la proporción de presas consumidas que presentaron individuos de diferentes edades del depredador, en el caso donde los tres instares de *C. carnea* (primero, segundo y tercero) depredaron sobre el grupo de ninfas grandes la proporción de presas consumidas declinó con el incremento de la densidad de presa (dependencia inversa de la densidad), lo que describe una respuesta tipo II, comportamiento similar presentaron el primero y segundo instar larval consumiendo ninfas chicas (Figura 2). Para el caso del tercer instar alimentándose sobre ninfas chicas la proporción de presas consumidas se incremento a medida que la densidad de presa se incremento (dependiente de la densidad), seguido por un decremento en la proporción de presas consumidas (Figura 2), comportamiento característico de la respuesta funcional tipo III.

Los valores estimados para coeficiente de ataque ( $a$ ), tiempo de manipuleo ( $T_h$ ) y el consumo máximo teórico ( $T/Th$ ), de los tres instares larvales de las crisopas consumiendo ninfas chicas y grandes se muestran en el cuadro 4. La comparación de los parámetros equivalentes del tercer instar larval depredando sobre ninfas chicas, con el resto de las combinaciones no es posible debido a diferencias en el tipo de respuesta funcional (Figura 2 y Cuadro 3). Por lo que los análisis solo se realizaron con aquellas larvas que presentaron respuesta funcional tipo II. El ANOVA de dos vías de los efectos de los factores tamaño de presa y edad del depredador sobre los parámetros de depredación ( $a$ ,  $T_h$  y  $T/Th$ ), son presentados en el cuadro 5, donde se observa que los efectos de estos factores y su interacción no fueron significativos sobre el coeficiente de ataque, lo que nos indica que los valores de este parámetro ( $a$ ), para todas la combinaciones analizadas son iguales según Tukey ( $P>0.05$ ) (Cuadro 4). Sin embargo estos mismos factores; tamaño de presa y edad del depredador y su interacción tuvieron efecto significativo sobre el tiempo de manipuleo de los tres instares larvales de *C. carnea* (Cuadro 5), lo que nos indica que el  $T_h$  del primer instar larval depredando sobre ninfas grandes (1.436) es mayor en comparación cuando se alimento con ninfas chicas (0.183) según Tukey ( $P>0.05$ ), comportamiento similar presento el segundo instar larval depredando sobre ninfas grandes (0.326) y chicas (0.107) donde el valor de  $T_h$  es mayor para el primer grupo ninfas (efecto del tamaño de presa) (Cuadro 4). Por otro lado se observa que el tiempo de manipuleo decreció con respecto al estado de desarrollo del depredador, el  $T_h$  del tercer instar larval (0.136) alimentado con ninfas grandes resulto menor en comparación al  $T_h$  del primero (1.436) y segundo (0.326) instar larval depredando sobre este mismo grupo de ninfas (efecto de la edad del depredador) según Tukey ( $P>0.05$ ) (Cuadro 4). Sin embargo este comportamiento no fue consistente

cuando el primero (0.183) y segundo (0.107) instar larval consumieron ninfas chicas, ya que el valor de  $T_h$  para ambos instares resulto igual según Tukey ( $P>0.05$ ) (Cuadro 4).

El ANOVA de dos vías indica que los efectos de los factores tamaño de presa y edad del depredador sobre el consumo máximo teórico ( $T/T_h$ ) fueron significativos, pero su interacción no (Cuadro 5). Estos resultados nos indican que el  $T/T_h$  del primer instar larval depredando sobre ninfas grandes (4.254) es menor en comparación cuando se alimento con ninfas chicas (36.990) según Tukey ( $P>0.05$ ), comportamiento similar presento el segundo instar larval depredando sobre ninfas grandes (22.807) y chicas (62.938) donde el valor de  $T/T_h$  es mayor para el segundo grupo de ninfas (efecto del tamaño de presa). El consumo máximo teórico se incremento con respecto al estado de desarrollo del depredador, el  $T/T_h$  del tercer instar larval (45.943) alimentado con ninfas grandes resulto mayor en comparación al  $T/T_h$  del primero (4.254) y segundo (22.807) instar larval depredando sobre este mismo grupo de ninfas (efecto de la edad del depredador) según Tukey ( $P>0.05$ ) (Cuadro 4). El mismo comportamiento se presento cuando el primero (36.990) y segundo (62.938) instar larval consumieron ninfas chicas, ya que el valor de  $T/T_h$  para ambos fue significativamente diferente según Tukey ( $P>0.05$ ) (Cuadro 4).

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que *C. carnea* es voraz sobre *B. cockerelli* y su capacidad depredadora está en función a su estado de desarrollo, tamaño de presa y al número de presas ofrecido, tal como lo indica el ANOVA de tres vías. El consumo de ninfas fue mayor cuando los tres instares larvales se alimentaron sobre ninfas chicas en comparación con ninfas grandes, sobre todo en densidades altas, en relación a esto Roa

(1992) menciona que un tipo de presa puede ser más consumida que otra, solo para compensar su bajo valor nutrimental. A si también este comportamiento puede estar relacionado al nivel de saciedad del depredador, una presa de menor tamaño presenta un menor contenido celular que una de tamaño mayor, por lo que un depredador requiere un número mayor de presas pequeñas para alcanzar la saciedad. Por otro lado la voracidad del tercer instar larval de *C. carnea* resulto mayor en comparación con los instares inferiores independientemente al tamaño de presa ofrecido, este resultado concuerda con otros estudios donde se reportan que el tercer instar de esta misma especie tuvo mayor consumo (Atlihan *et al.*, 2004; Hassanpour *et al.*, 2009 y Montoya *et al.*, 2010), por su parte Canard y Principi (1984) mencionan que en general los crisopidos, consumen el 80% del alimento total que requiere para su desarrollo larval, durante el tercer instar. Sin embargo todos lo instares larvales de este depredador se alimentaron sobre los dos grupos de ninfas de *B. cockerelli*, lo que nos indica alto potencial para reducir las poblaciones de esta plaga, en relación a esto Bellows *et al.* (1992) mencionan que un agente de control biológico efectivo debe ser capaz de controlar estadios tempranos de vida de la presa, tal como sucedió en este estudio. La alta depredación del último instar larval es el reflejo de su tamaño más grande y por tal motivo presenta una mayor voracidad (Hassanpour *et al.*, 2009), y ademas en algunos depredadores el tener un tamaño de cuerpo lo suficientemente grande en relación al tamaño de la presa es importante para el éxito de la depredación (Dean y Schuster, 1995). El consumo de ninfas de *B. cockerelli* también es influenciado por la densidad de presa, en todos los instares larvales de *C. carnea* depredando sobre los dos grupos de ninfas el consumo se incremento a medida que el número de presas ofrecido fue mayor, lo que concuerda con lo reportado por Stark y Whitford (1987), quienes evaluaron el tercer instar de *C. carnea*

sobre huevos de *Heliothis virescens* y obtuvieron mayor consumo en densidades altas. Estos resultados que se presentaron en este estudio nos indican que este depredador puede ser capaz de controlar a *B. cockerelli* en alta densidad poblacional, sobre todo el tercer instar larval.

El análisis de regresión logística y el análisis de la proporción de presas consumidas en relación a la densidad de inicial de presas ofrecidas, revelaron que la respuesta funcional para el primero y segundo instar larval depredando sobre ambos tamaños de presa es de tipo II. Estos mismos análisis también indican que el tamaño de presa afecto la respuesta funcional del tercer instar larval de *C. carnea*, pasando de respuesta tipo II cuando depredo sobre ninfas grandes a una respuesta tipo III cuando consumió ninfas chicas, lo que concuerda con lo obtenido por Hassell *et al.* (1977), quienes reportan que *Coccinella septempunctata* presenta respuesta funcional tipo III cuando forrajea sobre primer instar de *Brevicoryne brassicae* (presa chica) y respuesta tipo II cuando forrajea sobre quinto instar de esta plaga (presa grande). Mismos resultados obtuvieron estos autores cuando evaluaron a *Notonecta glauca* sobre *Asellus aquaticus*. La diferencia fundamental entre los tipos de respuesta radica en que el coeficiente de ataque se incrementa sobre de un rango inicial de bajas densidades de presas en respuesta tipo III y mientras que en la respuesta tipo II el coeficiente de ataque permanece constante en bajas densidades de presa (Hassell *et al.*, 1977).

Holling (1965) y Huffaker *et al.* (1971) mencionan que los depredadores que muestran respuesta funcional tipo III, en la cual el coeficiente de ataque se incrementa proporcionalmente con la densidad de presas, son teóricamente más capaces de regular las poblaciones de sus presas. Sin embargo la respuesta funcional tipo II es la más común reportada en insectos (Begon *et al.*, 1996) e incluso en *C. carnea* (Atlihan *et al.*,

2004; Hassanpour *et al.*, 2009 y Montoya *et al.*, 2010) y otras especies de crisopas (Norlund y Morrison, 1990; Kabissa *et al.*, 1996; Fonseca *et al.*, 2000; Stewart *et al.*, 2002). En este estudio la respuesta tipo II es la más común que presentaron las larvas de *C. carnea*, sobre los dos tipos de presas, aunque la respuesta funcional tipo III representa solo la respuesta con posibilidades de regulación, no hay que descartar aquellos insectos que presentan respuesta tipo II, ya que tal respuesta es típica de depredadores que forrajean en poblaciones de presa inestables, y esto significa rápida utilización del alimento por los depredadores y a menudo hasta en bajas densidades (Agarwala *et al.*, 2001), lo que puede ser adecuado en programas de control biológico basados en liberaciones aumentativas, donde las posibilidades de regulación no son tan importantes como en las liberaciones inoculativas (Norlund y Morrison, 1990).

Los valores de coeficiente de ataque ( $a$ ) que se obtuvieron en este experimento, para cada uno de los instares larvales de *C. carnea* forrajeando en los dos tipos de presa, no difieren estadísticamente. Esto indica que los factores tamaño de presa, edad del depredador y su interacción no influyeron sobre este parámetro, tal como lo reveló el ANOVA de dos vías. Al respecto Persson *et al.* (1998) mencionan que el coeficiente de ataque se incrementa ligeramente en relación al tamaño del depredador, lo que concuerda con lo obtenido en este estudio ya que el coeficiente de ataque del tercer y primero instar larval depredando ninfas grandes fue de 0.686 y 0.502 respectivamente, donde se observa un ligero incremento, sin embargo la diferencia no fue significativa de acuerdo a Tukey ( $P > 0.05$ ).

En relación al tiempo de manipuleo ( $T_h$ ), se observó un efecto significativo del tamaño de presa y edad del depredador sobre este parámetro, los valores  $T_h$  fueron significativamente menores cuando las larvas de crisopa forrajearon sobre ninfas chicas

en comparación a ninfas grandes, lo que indica que el  $T_h$  se incremento, con un incremento en el tamaño de presa. Esto concuerda con lo mencionado Flinn *et al.* (1985), quienes señalan que el tiempo de manipuleo es proporcional al tamaño de la presa, el  $T_h$  de un depredador decrece sobre presas pequeñas, mientras se incrementa cuando las presas son más grandes (Persson *et al.*, 1998), tal como ocurrió en esta investigación, además estos resultados indican que los tres instares de *C. carnea* pueden manipular, someter y consumir más fácilmente ninfas chicas de *B. cockerelli* en comparación a ninfas grandes. El efecto de la edad del depredador (primero, segundo y tercer instar larval) sobre el tiempo de manipuleo, provoco una reducción en los valores de este parámetro, el  $T_h$  del tercer instar larval resulto significativamente menor a los valores del primero y segundo instar larval de *C. carnea* depredando sobre ninfas grandes, mismo resultado se obtuvo cuando consumieron ninfas chicas. En relación a esto Fernando y Hassell (1980) mencionan que depredadores de mayor tamaño, buscan vigorosamente, capturan y consumen más fácilmente a su presa, lo que se refleja en una reducción en el tiempo de manipuleo ( $T_h$ ), en general los depredadores de mayor tamaño presentan  $T_h$  menor, en comparación a los depredadores más pequeños. Nuestros resultados concuerdan con otros estudios donde el tiempo de manipuleo se incremento con estado de vida de la presa y disminuyo con el estado de desarrollo del depredador, Cohen y Tang (1997), observaron este efecto cuando evaluaron a *Zelus renardii* sobre *Sinea confusa*.

Rogers (1972) menciona que tiempo de manipuleo es un factor importante que influye en la cantidad de presas consumidas, de ahí que el consumo máximo teórico de un depredador está definido por la razón  $T/T_h$  (Hassell *et al.*, 1977), En relación a este parámetro ( $T/T_h$ ), se observo un efecto significativo del tamaño de presa y edad del

depredador sobre este parámetro, lo que indica que el consumo máximo teórico  $T/T_h$  disminuye con un incremento en el tamaño de presa y se incrementa en los valores de este parámetro con el estado de desarrollo del depredador (mayor tamaño del depredador).

Las mediciones de la voracidad en experimentos de respuesta funcional puede ser indicativo del valor de los depredadores como agentes de control biológico y proporcionar las bases para la determinación de las tasas de liberación apropiada para varias densidades de presa. Este estudio demostró que *C. carnea* es voraz sobre *B. cockerelli* y su capacidad depredadora está en función a su estado de desarrollo, tamaño de presa y al número de presas ofrecido, tiene tiempo de manipuleo relativamente corto y alto consumo de sobre ninfas de *B. cockerelli*, lo que nos confirma el potencial de este depredador como agente de control biológico de esta plaga, así también estos resultados nos sugieren que este depredador puede ser incluido en sistemas de manejo de plagas basados en el control biológico aumentativo. Sin embargo en este estudio no se consideraron, la preferencia de presa que presenta este depredador en relación a otro tipo de presa, el canibalismo o emigración del depredador que puede ocurrir cuando las poblaciones de la presa comienzan a declinar y otros factores que pueden influir en su comportamiento de forrajeo por lo que más estudios de laboratorio y campo son necesario para comprender mejor las interrelaciones depredador presa entre *C. carnea* y *B. cockerelli*.

#### LITERATURA CITADA

Al-jabr, A., M. 1999. Integrated Pest Management of Tomato / Potato Psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae) with Emphasis on its

Importance in Greenhouse Grown Tomatoes. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Colorado State University Fort Collins, Colorado.

Atlihan, R.; Kaydan, B. and Ozgokce, M. S. 2004. Feeding activity and life history characteristics of generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera:Chrysopidae), at different prey densities. Journal Pest Science. 77:17-21.

Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend. 1996. Ecology: individuals, populations, and communities. Blackwell, London.

Bellows, T. S., R. G. Van Driesche, Jr., and J. S. Elkington. 1992. Life-table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. Annual Review Entomology. 37: 587-614.

Castagnoli, M, Simoni S, 1999. Effect of long-term feeding history on functional and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). Experimental Applied Acarology. 23, 217–234.

Canard, M., and Principi, M. M. 1984. Development of Chrysopidae. In: M. Canard, Y. Semeria, and T. R. New, eds., *Biology of Chrysopidae*, pp. 57-75. Dr Junk, The Hague.

Cohen, A. C., and Tang, R. 1997. Relative prey weight influences handling time and biomass extraction in *Sinea confuse* and *Zelus renardii* (Heteroptera: Reduviidae). Environmental Entomology. 26(3): 559-565.

Cranshaw, W. 2002. Manejo del psílido de la papa y tomate en el cultivo de la papa. Memoria del XI Congreso Nacional de Papa. León Guanajuato, México.

- Dean, D. E. and Schuster, D. J. 1995. *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodadae) and *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera: Aphididae) as prey for two species of Chrysopidae. *Environmental Entomology*. 24: 1562-1568.
- Donnelly BE, Phillips TW, 2001. Functional response of *Xylocoris flaviceps* (Hemiptera: Anthocoridae): effects of prey species and habitat. *Environmental Entomology*. 30, 617–624.
- Eggleston, D.B. (1990) Functional responses of blue crabs *Callinectes sapidus* Rathbun feeding on juvenile oysters *Crassostrea virginica* (Gmelin): effects of predator sex and size, and prey size. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 143, 73.
- Eveleigh E. S., Chant, D. A., 1981. Experimental studies on acarine predator–prey interactions: effect of predator age and feeding history on prey consumption and the functional response (Acarina: Phytoseiidae). *Canadian Journal of Zoology*. 59: 1387-1406.
- Fernando M. H. J. P. and Hasell, M. P. 1980. Predator-prey responses in an acarine systems. *Research Population Ecology*. 22: 301-322
- Flores, O. A.; Alemán, N. I.; y Notario, Z. M. I. 2004. Alternativas para el manejo de la punta morada. (p. 66-90). *In*: Flores, O. A.; y Lira, R. H. (eds). *Detección, diagnóstico y manejo de la enfermedad punta morada de la papa*. Parnaso. España. pp. 135.
- Garzón, T. J. A. 2004. *Bactericera cockerelli* (*Paratrioza cockerelli* Sulc), vector de fitoplasmas en México (p. 91-114). *In*: Flores, O. A. y Lira, R. H. (eds). *Detección, diagnóstico y manejo de la enfermedad punta morada de la papa*. Parnaso. España. pp. 135.

- Hassanpour, M.; Nouri-Ganbalani, G.; Mohaghegh, J. and Enkegaard, A. 2009. Functional response of different larval instars of the green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera:Chrysopidae), to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari:Tetranychidae). Journal of Food Agriculture and Environment. 7(2): 424-428.
- Hassell, M. P., Lawton, J. H., and Beddington, J. R. 1977. Sigmoid functional response by invertebrate predators and parasitoids. Journal of Animal Ecology. 46, 249–262.
- Hassell M. P. 1978. The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 237 p.
- Hoddle MS, 2003. The effect of prey species and environmental complexity on the functional response of Franklinothrips orizabensis: a test of the fractal foraging model. Ecological Entomology. 28, 309–318.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. The canadian entomologist. 91: 585-598.
- Holling, C. S. 1965. The functional response of predators to prey density and its role in mimicry and population regulation. Memories of Entomology Society Canadian. 45: 1-60.
- Houck, M. A., and Strauss, R. E. 1985. The comparative study of functional responses: experimental design and statistical interpretation. The Canadian Entomology. 115: 617–629.
- Huffaker, C. B., Messenger, P. S., and DeBach, P. 1971. The natural enemy component in natural control and the theory of biological control. pp. 16-67. In: C. B. Huffaker, ed., Biological Control. Plenum, New York.

- Juliano, S. A. 2001. Non-linear curve fitting: Predation and functional response curves. In: Scheiner SM and Gurevitch J, editors. Design and analysis of ecological experiments. 2nd edition, 178–196. New York: Chapman and Hall.
- Kabissa, J. C. B.; Yarro, J. G.; H. Kayumbo, Y. and Juliano, S. A. 1996. Functional response of two chrysopid predators feeding on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera:Noctuidae) and *Aphis gossypii* (Homoptera:Aphididae). *Etmophaga*. 41(2): 141-151
- Legaspi, J. C.; Carruthers, R. I. and Nordlund, D. A. 1994. Life history of *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) provided sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) and other food. *Biological Control*. 4: 178-184.
- Lester PJ, Harmsen R, 2002. Functional and numerical responses do not always indicate the most effective predator for biological control: an analysis of two predators in a two-prey system. *Journal Applied Ecology*. 39, 455–468.
- 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. *Bulletin of Entomological Research*. 6:197-204.
- Mohaghegh J, De Clercq P, Tirry L (2001) Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lep., Noctuidae): effect of temperature. *Journal Applied Entomology* 125:131–134.
- Montoya A. A. F., Ito K., Nakahira K., and Arakawa R. 2010. Functional response of *Chrysoperla nipponensis* and *C. carnea* (Nuroptera:Chrysopidae) to the cotton aphid *Aphis gossypii* Glove (Homoptera:Aphididae) under laboratory conditions. *Applied entomology and Zoology*. 45(1): 201-206.

- Munyaneza, 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. *Journal of Economic Entomology*. 100: 656-663.
- Nordlund D. A. and R. K. Morrison. 1990. Handling time, prey preferences, and functional response for *Chrysoperla rufilabris* in the laboratory. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*. 57: 237–242.
- Parajulee, M.N., T.W. Phillips and D.B. Hogg, 1994. Functional response of *Lyctocoris campestris* (F.) adults: effects of predator sex, prey species and experimental habitat. *Biological Control*. 4: 80–87.
- Persson L., K. Leonardsson, A. M. de Roos, M. Gyllenberg and B. Christensen. 1998. Ontogenetic scaling of foraging rates and the dynamics of a size-structure consumer-resource model. *Theoretical Population Biology*. 54: 270-293.
- Rogers, D. 1972. Random search and insect population models. *Journal Animal Ecology*. 41:369-383.
- SAS Institute 2001. SAS/STAT User’s Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Skirvin DJ, Fenlon JS, 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol*. 31, 37–39.
- Solomon ME, 1949. The natural control of animal populations. *Journal of animal ecology*. 18: 1-35.
- Stewart C. D., K. Braman and A. F. Pendley. 2002. Functional response of the azalea plant bug (Heteroptera:Miridae) and a green lacewing *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera:Chrysopidae), two predators of the azalea lace bug (Heteroptera:Tingidae). *Environmental Entomology*. 31(6): 1184-1190.

- Streams, F.A. (1994) Effect of prey size on attack components of the functional response by *Notonecta undulata*. *Oecologia*. 98, 57–63.
- Svendsen MS, Enkegaard A, Brødsgaard H, 1999. Influence of humidity on the functional response of larvae of the gall midge (*Feltiella acarisuga*) feeding on spider mite eggs. *IOBC/WPRS Bull.* 22(1), 243–246
- Wei Q, Walde SJ, 1997. The functional response of *Typhlodromus pyri* to its prey, *Panonychus ulmi*: the effect of pollen. *Experimental Applied Acarology*. 21, 677–684.

Cuadro 1. Consumo promedio observado, para cada instar larval de *Chrysoperla carnea* sobre dos grupos de ninfas, chicas ( $n_1$ - $n_2$ ) y grandes ( $n_4$ - $n_5$ ), de *Bactericera cockerelli*.

Densidad	Instar larval					
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
	Ninfa chica			Ninfa Grande		
1	0.6	1.0	0.6	0.9	1.0	1.0
2	1.4	1.6	1.3	1.7	1.7	2.0
4	3.4	3.9	3.1	3.1	3.2	4.0
8	6.8	7.4	7.8	3.2	6.3	8.0
16	13.8	13.4	15.5	3.6	7.8	14.8
32	19.4	18.9	29.9	3.7	10.7	28.6
64	27.9	40.4	61.3	4.0	13.8	33.4
96	29.3	44.6	87.8	4.4	15.1	39.7
112	27.8	46.6	92.4	4.5	17.8	40.9

Cuadro 2. ANOVA de tres vías de los factores que afectan el consumo de los estados larvales de *Chrysoperla carnea* sobre dos grupos de ninfas, chicas ( $n_1$ - $n_2$ ) y grandes ( $n_4$ - $n_5$ ), de *Bactericera cockerelli*.

Fuente de variación	GL	CM	F <sub>valor</sub>	P <sub>valor</sub>
Tamaño de presa	1	20044.630	551.130	<0.0001
Edad del depredador	2	14252.117	391.860	<0.0001
Densidad de presa	8	13797.413	379.360	<0.0001
Tamaño de presa x Edad del depredador	2	129.669	3.570	0.0290
Tamaño de presa x Densidad de presa	8	3393.384	93.300	<0.0001
Edad del depredador x Densidad de presa	16	2237.081	61.510	<0.0001
Tamaño de presa x Edad del depredador x Densidad de presa	16	269.741	7.420	<0.0001
Error	486	36.370		
Total correcto	539			

Cuadro 3. Estimadores de la máxima verosimilitud de la regresión logística de la proporción de presas consumidas como una función de las densidades iniciales de presas para los tres estados larvales de *Chrysoperla carnea* sobre dos grupos de ninfas de *Bactericera cockerelli*

Depredador	Presa						
	Parámetro	Ninfa Chica			Ninfa Grande		
		Estimado ( $\pm$ SE)	$\chi^2$	P	Estimado ( $\pm$ SE)	$\chi^2$	P
Primer instar (L <sub>1</sub> )	Intercepto ( $P_0$ )	1.865(0.175)	114.3305	<0.0001	1.204(0.234)	26.531	<0.0001
	Lineal ( $P_1$ )	-0.043(0.006)	55.0992	<0.0001	-0.170(0.020)	71.075	<0.0001
	Cuadrático ( $P_2$ )	1.0 E-4(4.1 E-5)	12.3586	0.0004	0.002(4.1E-4)	33.105	<0.0001
	Cubico ( $P_3$ )	-----	-----	-----	1.0E-5(2.3E-6)	21.476	<0.0001
Segundo instar (L <sub>2</sub> )	Intercepto ( $P_0$ )	2.537(0.287)	77.9740	<0.0001	1.718(0.233)	54.071	<0.0001
	Lineal ( $P_1$ )	-0.083(0.018)	22.4551	<0.0001	-0.110(0.016)	45.900	<0.0001
	Cuadrático ( $P_2$ )	0.001(3.0 E-4)	12.7825	0.0003	0.001(3.0E-4)	18.2450	<0.0001
	Cubico ( $P_3$ )	-5.1E-6(1.5E-6)	11.2130	0.0008	5.1E-6(1.6E-6)	10.365	0.0013
Tercer instar (L <sub>3</sub> )	Intercepto ( $P_0$ )	1.6148(0.232)	48.3424	<0.0001	5.601(0.602)	81.465	<0.0001
	Lineal ( $P_1$ )	0.0579(0.009)	43.1999	<0.0001	-0.1614(0.031)	27.696	<0.0001
	Cuadrático ( $P_2$ )	-5.2E-4(6.7E-5)	61.2250	<0.0001	0.002(4.7E-4)	10.508	0.0012
	Cubico ( $P_3$ )	-----	-----	-----	5.0E-6(2.2E-6)	5.236	0.0221

Cuadro 4. Medias ( $\pm$ E.E.) de los parámetros de depredación de la respuesta funcional Tipo II de *Chrysoperla carnea* sobre ninfas de *Bactericera cockerelli* estimados mediante el método de Jack-Knife y valores ( $\pm$ E.E.) de los parámetros de depredación de respuesta funcional Tipo III estimados mediante regresión no lineal.

Tamaño de presa	Depredador	Respuesta funcional					
		Tipo II			Tipo III		
		<i>a</i>	$T_h$	$T/T_h$	<i>b</i> *	$T_h$	$T/T_h$
Ninfa chica	L1	0.415(0.158)A	0.183(0.021)C	36.990(4.288)B			
	L2	0.300(0.084)A	0.107(0.012)C	62.938(7.291)A			
	L3	-----	-----	-----	0.035(0.010)	0.060(0.002)	100.000
Ninfa grande	L1	0.502(0.196)A	1.436(0.062)A	4.254(0.195)D			
	L2	0.195(0.055)A	0.326(0.034)B	22.807(5.026)C			
	L3	0.686(0.298)A	0.136(0.008)C	45.943(3.511)AB			

\* Constante relacionada al coeficiente de ataque (*a*).

Las medias de los mínimos cuadrados en una columna seguidos por la misma letra no significativamente diferentes (PROC GLM, Tukey,  $P > 0.05$ )

Cuadro 5. ANOVA de dos vías de los factores que afectan a los parámetros de depredación, coeficiente de ataque, tiempo de manipuleo y consumo máximo teórico, de respuesta funcional tipo II de *Chrysoperla carnea* sobre ninfas de *Bactericera cockerelli*.

Parametro	Fuente de variación	GL	CM	F <sub>valor</sub>	P <sub>valor</sub>
Coeficiente de ataque ( <i>a</i> )	Tamaño de presa	1	0.0009	0.01	0.9435
	Edad de depredador	2	0.0320	0.36	0.7029
	Tamaño de presa x Edad del depredador	1	0.0126	0.14	0.7102
	Error	45	0.0902		
	Total correcto	49			
Tiempo de manipuleo ( <i>T<sub>h</sub></i> )	Tamaño de presa	1	5.5471	474.28	0.0001
	Edad de depredador	2	3.6599	312.93	0.0001
	Tamaño de presa x Edad del depredador	1	2.5837	220.90	0.0001
	Error	45	0.0117		
	Total correcto	49			
Consumo máximo teórico ( <i>T/T<sub>h</sub></i> )	Tamaño de presa	1	127.2997	113.30	0.0001
	Edad de depredador	2	62.6472	55.56	0.0001
	Tamaño de presa x Edad del depredador	1	1.2816	1.14	0.2920
	Error	45	1.1275		
	Total correcto	49			

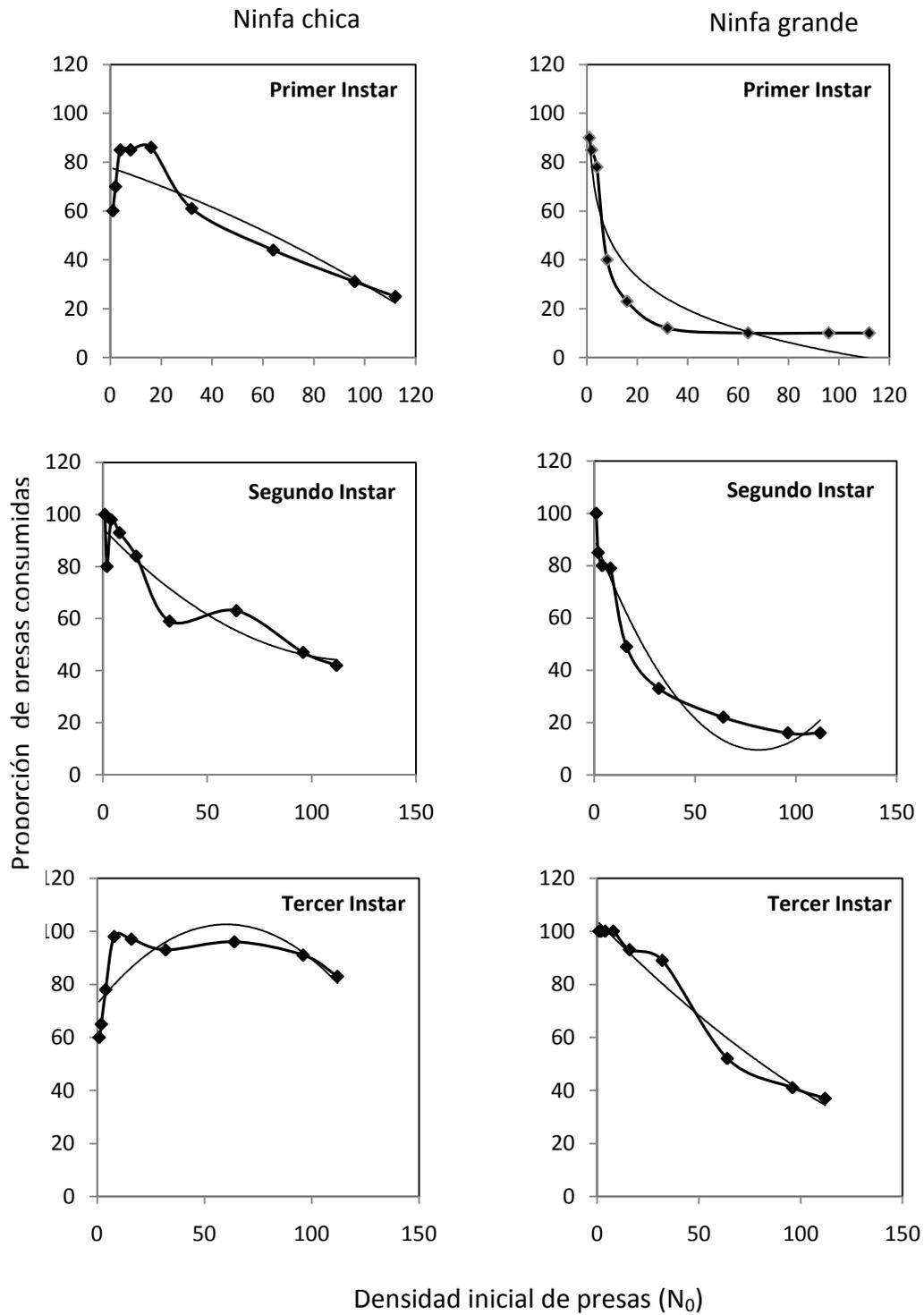


Figura 2. Proporción de presas consumidas por tres instares larvales de *Chrysoperla carnea* sobre nueve diferentes densidades de dos grupos de ninfas (chicas ( $n_1$  y  $n_2$ ) y grandes ( $n_4$  y  $n_5$ ) de *Bactericera cockerelli*. La línea continua representa la tendencia polinómica de la proporción de presas consumidas.

## ARTICULO 2

### TOXICIDAD Y SELECTIVIDAD DE INSECTICIDAS EN EL CONTROL DE

#### *Bactericera cockerelli* SOBRE *Chrysoperla carnea*

Carlos **Ail**<sup>1</sup>, Ernesto **Cerna**<sup>1</sup>, Jerónimo **Landeros**<sup>1</sup>, Sergio **Sanchez**<sup>1</sup>, Mohammad H.

**Badii**<sup>2</sup>, Luis A. **Aguirre**<sup>1</sup> y Yisa **Ochoa**<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. C.P. 25315. Buenavista,  
Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Biología. C.P.28710. San Nicolás de los Garza,  
Nuevo León. \*Autor para correspondencia:

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, AV. Universidad No 940 Col. Cd. Universitaria C. P.  
Aguascalientes, Aguascalientes. Tel y Fax 01 (449) 965 00 62 Ext 8107. [yisa8a@yahoo.com](mailto:yisa8a@yahoo.com)

## RESUMEN

1  
2 La integración del control químico y biológico puede representar una fuente de manejo  
3 sustentable, por lo tanto es esencial conocer los riesgos, selectividad y condiciones de  
4 uso de los insecticidas, para maximizar la compatibilidad entre estas dos tácticas. Para  
5 ello se comparó la tolerancia de *Chrysoperla carnea* y *Bactericera cockerelli* a la  
6 concentración de campo de los insecticidas; abamectina, bifentrina, endosulfan,  
7 imidacloprid y profenofos, además se estimó la selectividad de estos sobre el  
8 depredador. Los resultados muestran que abamectina, bifentrina y endosulfan fueron  
9 más tóxicos para *B. cockerelli* en comparación a *C. carnea*. Profenofos resultó altamente  
10 tóxico para ambas especies; mientras que imidacloprid fue más tóxico para *C. carnea* en  
11 comparación a *B. cockerelli*. Los valores de la proporción de selectividad fueron  
12 1072.84, 14.33, 6.07, 0.61 y 0.11 para abamectina, endosulfan, bifentrina, profenofos e  
13 imidacloprid, lo que indica que abamectina fue altamente selectivo, endosulfan y  
14 bifentrina fueron selectivos y profenofos e imidacloprid fueron no selectivos para el  
15 depredador.

16  
17 **Palabras clave:** control integrado, selectividad, tolerancia, concentración letal.

## INTRODUCCIÓN

18  
19  
20 *Bactericera cockerelli* es el factor más importante que limita la producción de  
21 papa en México y sur de Texas, en los Estados Unidos (Flores *et al.*, 2004; Liu y  
22 Trumble, 2006), debido a su capacidad de transmitir enfermedades infecciosas,  
23 ocasionadas por bacterias y fitoplasmas (Garzón *et al.*, 2004; Hansen *et al.*, 2008). En  
24 Coahuila y Nuevo León (Noreste de México) los rendimientos del cultivo de papa se

1 redujeron hasta 90% durante los años 2003 y 2004, a causa del fitoplasma, que ocasiona  
2 la enfermedad punta morada de la papa, transmitido por *B. cockerelli*, (Flores *et al.*,  
3 2004; Garzón *et al.*, 2004). En México el control químico, es el método más empleado  
4 por los productores de papa para el manejo de esta plaga, es común que se realicen de 12  
5 a 30 aplicaciones de insecticidas durante la temporada de cultivo (Rubio *et al.*, 2006;  
6 Vega *et al.*, 2008), lo que sugiere una dependencia a estos productos.

7 *Chrysoperla carnea* es un depredador generalista y voraz, comúnmente  
8 encontrado en sistemas agrícolas (Tauber *et al.*, 2000), presenta amplio rango de presas  
9 (McEwen *et al.*, 2001) y su efectividad como agente de control biológico en cultivos a  
10 campo abierto e invernadero ha sido demostrado (Hagley y Miles, 1987). *C. carnea* es  
11 considerado como uno de los principales agentes de control biológico de *B. cockerelli*  
12 (Al-jabr, 1999); Sin embargo el usar solo agentes de control biológico no es suficiente  
13 para proporcionar un adecuado control, pero a través de su integración con otras tácticas  
14 de manejo, puede representar una fuente de control sustentable (Cock, 1994).

15 El uso indiscriminado de los insecticidas puede impedir el éxito del control  
16 biológico debido a sus efectos tóxicos directos e indirectos en los enemigos naturales.  
17 Debido a ello, varias tácticas deben ser consideradas e implementadas en la práctica, a  
18 fin de minimizar los efectos adversos de los insecticidas en los organismos benéficos  
19 (Dagli y Bahsi, 2009). Por lo tanto, es esencial conocer los riesgos, selectividad y las  
20 condiciones de uso de los insecticidas, para maximizar la compatibilidad entre el control  
21 químico y biológico (Stevenson y Walters, 1983), lo cual es uno de los principales  
22 objetivos del manejo integrado de plagas (MIP) (Wennergren y Stark, 2000).

23 La compatibilidad de un insecticida con los agentes de control biológico, se ha  
24 determinado mediante pruebas de mortalidad en los enemigos naturales (Elzen, 1989) y

1 a través de pruebas de selectividad, para identificar productos con toxicidad más baja  
2 sobre los organismos no blanco (Purcell *et al.*, 1994), tales insecticidas selectivos son de  
3 gran valor, debido a su efectividad sobre las plagas, pero con mínimos efectos sobre los  
4 enemigos naturales (Bacci *et al.*, 2007).

5 Debido a lo anterior el objetivo fue comparar la tolerancia de *C. carnea* y su  
6 presa *B. cockerelli*, a concentraciones de campo y concentraciones reducidas de los  
7 insecticidas abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid y profenofos; Así como  
8 determinar la selectividad de estos productos mediante comparación de CL<sub>50</sub> entre  
9 ambas especies, bajo condiciones de laboratorio.

10

11

## MATERIALES Y MÉTODOS

12

### *Insectos*

13

14

15

16

17

18

19

20

21

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

22

### **Evaluación de la toxicidad**

23

24

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*. Se utilizó el método de

1 bioensayo de película residual en caja Petri (Dennehy *et al.*, 1987). Donde se emplearon  
2 tres concentraciones para cada insecticida, al 10, 50 y 100% de la concentración de  
3 campo recomendada (CCR), para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa, más  
4 un testigo (Sin aplicar). Los insecticidas evaluados fueron abamectina (Agrimec 1.8 %  
5 CE), bifentrina (Capture 100 12.15 % CE), endosulfan (Thiodan 33% CE), imidacloprid  
6 (Confidor 70% PH), y profenofos (Curacrón 73% CE). Las concentraciones de campo  
7 fueron de: 18, 180, 1200, 1300 y 1400 ppm/L, estas se realizaron utilizando como  
8 solvente etanol al 95% y al testigo solo se aplicó etanol; Se incluyeron 10 repeticiones,  
9 una repetición consistió de una caja Petri (6cm de diámetro) conteniendo 10 ninfas de la  
10 plaga, en el caso del depredador, consistió de 8 larvas, contenidas en forma individual en  
11 cada caja Petri. Se depositó 500  $\mu$ L de la solución insecticida en cada una de las cajas,  
12 dos horas después se transfirieron los insectos (Evaporación del solvente). Se cuantificó  
13 la mortalidad a 24 h y se tomó como criterio de muerte, cuando los insectos  
14 manifestarán un desplazamiento menor del largo de su cuerpo, después de estimularlos  
15 con un pincel. Todos los bioensayos se llevaron a cabo bajo condiciones controladas;  
16 temperatura  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de  $70 \pm 10\%$ .

#### 17 **Concentración letal media**

18 Se realizaron bioensayos para estimar los valores de  $CL_{50}$  para ninfas de *B.*  
19 *cockerelli* y larvas de *C. carnea*, se emplearon nueve concentraciones para cada  
20 insecticida, con 10 repeticiones. El rango de concentraciones para el depredador de  
21 abamectina, bifentrina, endosulfan, imidacloprid, y profenofos fueron de 0.5-18, 18-560,  
22 120-2100, 40-1300 y 1.4- 140. Mientras que, para la plaga fueron de 0.018-0.18, 18-180,  
23 120-1200 y 1.4-140. Las condiciones de los bioensayos fueron similares a las descritas

1 en la sección anterior. La mortalidad fue corregida con la fórmula de Abbott (1925),  
2 donde se presentó mortalidad en el testigo (no mayor al 15%).

### 3 **Análisis estadístico**

4 Los efectos de los factores especie, insecticida y concentración sobre el  
5 porcentaje de mortalidad de ninfas *B. cockerelli* y larvas de *C. carnea* expuestos a  
6 residuos de diferentes insecticidas, se analizaron con un ANOVA de tres-vías [PROC  
7 GLM de SAS/STAT (SAS, 2001)], las medias de los mínimos cuadrados se compararon  
8 por Tukey,  $p \leq 0.05$  (SAS, 2001).

9 Los resultados del experimento concentración-mortalidad, se analizaron por  
10 regresión probit (Finney, 1971) usando el procedimiento PROC PROBIT de SAS/STAT  
11 (SAS, 2001), para obtener los valores de  $CL_{50}$  y sus límites fiduciales (95%). Se  
12 consideró que la  $CL_{50}$  de las dos especies comparadas para el mismo insecticida no son  
13 estadísticamente diferentes cuando los límites fiduciales (95%) se traslapan (Robertson y  
14 Preisler, 1992). La proporción de selectividad (PS) de los insecticidas a *C. carnea*, se  
15 calculó por la relación,  $PS = CL_{50}$  del insecticida para el enemigo natural /  $CL_{50}$  del  
16 insecticida para la plaga (Bacci *et al.*, 2009). Si  $PS > 1$  el insecticida es selectivo al  
17 enemigo natural, mientras si  $PS < 1$  la selectividad es favorable a la plaga (Metcalf,  
18 1972).

## 19 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 20 **Evaluación de la toxicidad**

21 Los efectos de los factores especie, insecticida, concentración e interacciones de  
22 estos, fueron significativos para el porcentaje de mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* y  
23 larvas de *C. carnea* ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 1). En general se observó, mayor mortalidad en  
24 ninfas de la plaga en comparación a larvas de crisopa ( $F = 770.33$ ;  $gl = 1,360$ ;  $P = 0.0001$ ),

1 sobre todo en los insecticidas abamectina, bifentrina y endosulfan, que fueron  
 2 significativamente más tóxicos para *B. cockerelli* en comparación a *C. carnea*,  
 3 independientemente de la concentración. Profenofos resultó altamente tóxico para ambas  
 4 especies en las tres concentraciones empleadas. Sin embargo los residuos de  
 5 imidacloprid fueron significativamente más tóxicos para *C. carnea* en comparación a *B.*  
 6 *cockerelli*, en las tres concentraciones (Cuadro 2).

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

Fuente de variación	GL	CM	F <sub>valor</sub>	P <sub>valor</sub>
Especie	1	54347.27	770.33	0.0001
Insecticida	4	22789.57	323.03	0.0001
Concentración	3	93976.43	1332.05	0.0001
Especie x Insecticida	4	23223.95	329.18	0.0001
Especie x Concentración	3	1187.68	16.83	0.0001
Insecticida x Concentración	12	3518.27	49.87	0.0001
Especie x Insecticida x Concentración	12	3203.48	45.41	0.0001
Error	360	70.55		
Total correcto	399			

11  
 12 Los insecticidas imidacloprid y profenofos presentaron significativamente mayor  
 13 mortalidad para *C. carnea*, en comparación a abamectina, endosulfan y bifentrina,  
 14 independientemente de la concentración evaluada. Mientras que, para *B. cockerelli*  
 15 abamectina, endosulfan y profenofos mostraron significativamente mayor mortalidad, en  
 16 comparación a bifentrina e imidacloprid, independientemente de la concentración  
 17 [(F=323.03; gl=4,360; P=0.0001)]; (Cuadro 2).

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

Insecticida	% de Mortalidad							
	<i>C. carnea</i>				<i>B. cockerelli</i>			
	% de concentración de campo*				% de concentración de campo*			
	100	50	10	0	100	50	10	0
Abamectina	65.0Aby	43.0Bby	18.0Ccy	0.0Day	100.0Aa x	100.0Aa x	100.0Aa x	14.6Bax
Bifentrina	22.0Aby	15.0Bdy	11.0Bdy	0.0Cay	79.0Abx	75.0Abx	43.0Bcx	14.6Cax
Endosulfan	32.5Acy	25.0Bcy	3.8Cey	0.0Cay	96.0Aax	94.0Aax	63.0Bbx	14.6Cax
Imidacloprid	100.0Aax	98.0Aax	42.0Bbx	0.0Cay	56.0Acy	40.0Bcy	26.0Cdy	14.6Dax
Profenofos	100.0Aax	100.0Aa x	100.0Aa x	0.0Bay	100.0Aa x	100.0Aa x	100.0Aa x	14.6Bax

4 \* Concentración de campo de los insecticidas; abamectina (18 ppm), bifentrina (180 ppm), endosulfan  
 5 (1200 ppm), imidacloprid (1300 ppm) y profenofos (1400 ppm). Las medias de los mínimos cuadrados en  
 6 una línea seguida por la misma letra mayúscula (A-D) no son significativamente diferentes entre los  
 7 porcentajes de concentración de campo, para una sola especie e insecticida. Las medias de los mínimos  
 8 cuadrados en una columna seguida por la misma letra minúscula (a-e) no son significativamente diferentes  
 9 entre insecticidas, para una sola especie y un porcentaje de concentración de campo. Las medias de los  
 10 mínimos cuadrados en una línea seguidas por la misma letra minúscula (x-y) no son significativamente  
 11 diferentes entre especie, para un solo insecticida y un porcentaje de concentración de campo (PROC  
 12 GLM, Tukey,  $P > 0.05$ ).

13  
 14  
 15 Abamectina, bifentrina, endosulfan e imidacloprid presentaron significativamente menor  
 16 mortalidad para *C. carnea* a medida que la CCR se redujo, sin embargo profenofos  
 17 (Altamente toxico) no presentó diferencias significativas entre las concentraciones  
 18 evaluadas sobre este depredador. Para el caso *B. cockerelli* imidacloprid mostró  
 19 significativamente menor mortalidad a medida que la CCR se redujo. Sin embargo  
 20 abamectina y profenofos no mostraron diferencias significativas entre las tres  
 21 concentraciones, por otro lado la CCR al 50 y 100% de bifentrina no tuvo diferencias  
 22 significativas, pero la mortalidad fue significativamente menor a 10% de la CCR,

1 resultados similares presentó endosulfan. [( $F=1332.05$ ;  $gl=3,360$ ;  $P=0.0001$ ) (Cuadro  
2 2)].

3 El insecticida abamectina es considerado compatible con MIP debido a su baja  
4 toxicidad sobre depredadores (Bacci *et al.*, 2007). Pero en este estudio *C. carnea*  
5 presentó una mortalidad mayor al 50% en la concentración al 100% de la CCR (Cuadro  
6 2), lo que sugiere un efecto nocivo; sin embargo a concentraciones reducidas al 10% y  
7 50% de la CCR, el porcentaje de mortalidad sobre el depredador se redujo a 18 y 43%  
8 respectivamente. Por su parte *B. cockerelli* presentó 100% de mortalidad en todas las  
9 concentraciones (Cuadro 2). Estos resultados nos sugieren, que se pueden utilizar  
10 concentraciones menores a las recomendadas; con lo cual, el efecto del insecticida sobre  
11 el depredador se reduciría (Cuadro 2). En relación a lo anterior Johnson y Tabashnik  
12 (1999) mencionan que las dosis recomendadas para campo pueden ser más altas que las  
13 requeridas para el control efectivo de algunas plagas, las cuales son nocivas para los  
14 enemigos naturales, pero a través de dosis reducidas se puede incrementar la selectividad  
15 de los insecticidas (Poehling, 1989), lo que concuerda con estos resultados.

16 En relación a la bifentrina, este estudio nos indica que fue más tóxico para la  
17 plaga en comparación al depredador, en concentración al 100% de la CCR, *B. cockerelli*  
18 obtuvo 75% de mortalidad y *C. carnea* 22.5%; sin embargo, la eficiencia de bifentrina  
19 sobre esta plaga fue regular. Estos resultados nos hacen pensar que tanto la plaga como  
20 el depredador presentaron cierto grado de tolerancia a este insecticida. Lo que concuerda  
21 con reportes, donde indican que existe cierta tolerancia de diferentes especies de  
22 Chrysopidae, sobre este grupo de insecticidas (Piretroides) (Grafton-Cardwell y Hoy,  
23 1985; Carvalho *et al.*, 2003).

1           Por otro lado, *B. cockerelli* presentó mayor mortalidad sobre las tres  
2           concentraciones evaluadas de endosulfan, en comparación a *C. carnea* (Cuadro 2). Este  
3           insecticida presentó alta eficiencia sobre la plaga aun a concentración reducida al 50%,  
4           lo que sugiere que es posible utilizar una concentración menor a la CCR. Además *C.*  
5           *carnea* presentó 32.5% de mortalidad a la CCR y a concentraciones reducidas la  
6           mortalidad decreció, lo que indica alta compatibilidad de este insecticida junto con  
7           liberaciones de crisopas. Estos resultados concuerdan con los reportados por Nasreen *et*  
8           *al.* (2003), quienes obtuvieron un 25% de mortalidad en larvas de *C. carnea* expuestas a  
9           este insecticida.

10           Para el caso de imidacloprid, nuestros resultados indican que fue mas tóxico para  
11           *C. carnea*; en concentración al 10% la mortalidad para el depredador fue del 42%, y  
12           para *B. cockerelli* fue de 26%, lo que indica baja eficiencia del insecticida sobre la plaga  
13           y un alto efecto nocivo sobre el depredador (Cuadro 2). Por lo tanto, el imidacloprid se  
14           consideró no compatible con larvas de crisopas, lo que concuerda con lo reportado por  
15           Huerta *et al.* (2003a), quienes encontraron a este insecticida altamente tóxico sobre  
16           larvas de *C. carnea* y demostraron también que imidacloprid fue nocivo para adultos del  
17           depredador (Huerta *et al.*, 2003b); Resultados similares se han obtenido en otras  
18           especies de depredadores (Bacci *et al.*, 2007; Dagli y Bahsi, 2009),

19           En relación a profenofos, esta investigación demostró que es altamente tóxico  
20           para ambas especies estudiadas, lo que indica que es eficiente sobre la plaga aun al 10%  
21           de la CCR, sin embargo fue altamente nocivo sobre el depredador en la misma  
22           concentración. Por lo tanto, se le consideró no compatible junto con liberaciones de  
23           crisopas. La alta toxicidad de profenofos sobre *C. carnea* fue similar a lo reportado por  
24           Nasreen *et al.* (2003), quienes obtuvieron 100% de mortalidad en larvas de *C. carnea*

1 expuestos a este insecticida. En general los insecticidas organofosforados son altamente  
 2 tóxicos a las especies de Chrysopidae, tal como a *Chrysoperla carnea* (Grafton-  
 3 Cardwell y Hoy, 1985; Giolo *et al.*, 2008), *C. rufilabris* (Mizell y Schiffahuer, 1990), *C.*  
 4 *externa* (Silva, 2005), *Chrysopa oculata* (Lecrone, 1980).

### 5 **Concentración letal media**

6 Los valores de CL<sub>50</sub> de abamectina, bifentrina y endosulfan, para *B. cockerelli*  
 7 fueron significativamente menores en comparación a las obtenidas para *C. carnea*, lo  
 8 que nos indican que estos insecticidas presentan mayor toxicidad sobre la plaga en  
 9 comparación al depredador (Cuadro 3).

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

Insecticida	Especie						PS***
	<i>B. cockerelli</i>			<i>C. carnea</i>			
	CL <sub>50</sub> **	Límites fiduciales		CL <sub>50</sub> **	Límites fiduciales		
	Inferior	Superior		Inferior	Superior		
Abamectina	0.01A*	0.005	0.013	10.96B	8.825	14.280	1072.84
Bifentrina	36.80A*	24.911	48.116	223.51B	123.556	482.052	6.07
Endosulfan	106.22A*	67.850	143.339	1523.00B	1100.000	2614.000	14.33
Imidacloprid	1567.00A*	1071.000	3254.000	165.38B	80.090	307.214	0.11
Profenofos	2.63A*	2.033	3.242	1.61A	0.708	2.578	0.61

13 \* La CL<sub>50</sub> de las dos especies comparadas para el mismo insecticida no son estadísticamente diferentes  
 14 cuando los límites fiduciales (95%) se traslapan.

15 \*\* Expresado en partes por millón (ppm)

16 \*\*\* Proporción de selectividad (PS), estimado con la relación CL<sub>50</sub> del depredador/CL<sub>50</sub> de la plaga. Si  
 17 PS>1 el insecticida es selectivo al enemigo natural, mientras si PS<1 la selectividad es favorable a la  
 18 plaga.

19

1           En referencia a la proporción de selectividad, abamectina presentó el valor más  
2 alto; lo cual sugiere, que fue altamente selectivo al depredador. Este resultado nos indica  
3 que *C. carnea* fue 1072 veces más tolerante a este insecticida que *B. cockerelli* (Cuadro  
4 3). Este grado de tolerancia pudiera estar relacionado a la penetración del insecticida  
5 según Stock y Halloway (1993), quienes señalan que las sustancias con bajo peso  
6 molecular tienen alta capacidad para penetrar en la cutícula de los insectos y por tanto  
7 llegan más rápido a su sitio blanco, contrario a esto los componentes B1a y B1b de  
8 abamectina presentaron peso molecular alto (873.1 y 859.1g/mol (Berg *et al.*, 2003)),  
9 sugiriendo baja penetración a través del integumento, lo que pudiera influir en su  
10 selectividad sobre el depredador. Otro factor que pudiera influir en la baja toxicidad de  
11 abamectina son las enzimas detoxificativas, al respecto Clark *et al.* (1994) mencionan  
12 que el principal mecanismo fisiológico de resistencia o tolerancia a la abamectina son las  
13 enzimas oxidativas. La alta selectividad de abamectina sobre este depredador y su alta  
14 eficiencia exhibida sobre *B. cockerelli* en CCR y CCR reducida, sugieren que este  
15 insecticida puede ser usado en sistemas de MIP, para el manejo de poblaciones de esta  
16 plaga en el cultivo de la papa.

17           El insecticida bifentrina también fue selectivo a *C. carnea* a nivel de  $CL_{50}$ , su  
18 valor de proporción de selectividad fue de 6.07, este valor sugiere que este depredador  
19 fue seis veces más tolerante a bifentrina que *B. cockerelli*. Sin embargo es importante  
20 señalar que este insecticida exhibió regular eficiencia sobre *B. cockerelli* en CCR, donde  
21 obtuvo solo 75% de mortalidad; Bacci *et al.* (2007) consideran a un insecticida eficiente,  
22 si presenta porcentaje de mortalidad igual o mayor a 80%. Por lo tanto debido a que  
23 presentó un 75% de mortalidad la bifentrina, no es recomendable en sistemas de MIP  
24 basados en liberaciones crisopas, para el manejo de poblaciones de esta plaga en el

1 cultivo de la papa. Es claro que ambas especies presentan tolerancia a este insecticida,  
2 en lo que respecta a *C. carnea* existe evidencia de su tolerancia natural a los insecticidas  
3 piretroides (Plapp y Bull, 1978; Shour y Crowder, 1980; Grafton-Cardwell y Hoy,  
4 1985), y esto parece ser resultado de la alta actividad de enzimas esterases (Ishaaya y  
5 Casida, 1981; Bashir y Crowder, 1983), al metabolismo oxidativo (Pree *et al.*, 1989), y a  
6 modificaciones en los canales de sodio, que cambian la sensibilidad de las enzimas (Na-  
7 K)-ATPasa y Mg<sub>2</sub>-ATPasa, responsables de la reducción de la acción neuroinsecticida  
8 de los piretroides (Leng y Xiao, 1995), factores similares podrían estar involucrados en  
9 la tolerancia de *B. cockerelli*.

10 Por otro lado la proporción de selectividad de endosulfan fue 14.33, este  
11 resultado señala que *C. carnea* fue 14 veces más tolerante a este insecticida en  
12 comparación a *B. cockerelli*, por lo que se consideró selectivo al depredador. Aunado a  
13 lo anterior endosulfan presentó alta eficiencia sobre la plaga en estudios con CCR, por lo  
14 tanto es candidato para su uso en sistemas de MIP basados en liberaciones de crisopas,  
15 para el manejo de poblaciones de esta plaga en el cultivo de la papa. La tolerancia de *C.*  
16 *carnea* a endosulfan pudiera estar relacionado a la alta tasa de detoxificación del  
17 insecticida o a la insensibilidad del sitio blanco. En lo referente a las enzimas de  
18 detoxificación Rufingier *et al.* (1999) mencionan que el principal mecanismo fisiológico  
19 de resistencia o tolerancia a endosulfan son las enzimas glutatión S-transferasas y por su  
20 parte Pérez *et al.* (2000) involucran las vías oxidativas e hidrolíticas en el metabolismo  
21 de este insecticida. Así mismo, Ffrench-Constant *et al.* (1993) encontraron que la  
22 resistencia a endosulfan fue debido a la insensibilidad del ácido  $\gamma$ -amino butírico  
23 (GABA), provocado por un punto de mutación (Alanina<sub>302</sub> a Serina o Glicina) en la

1 proteína receptora de GABA, lo que pudiera explicar el grado de tolerancia de *C.*  
2 *carnea*.

3 La  $CL_{50}$  de profenofos para *C. carnea* y *B. cockerelli* no difieren  
4 estadísticamente, por lo tanto presenta toxicidad similar para ambas especies. Sin  
5 embargo la  $CL_{50}$  de imidacloprid para *B. cockerelli* resultó significativamente mayor en  
6 comparación a la  $CL_{50}$  obtenida para el depredador, lo que indica mayor toxicidad para  
7 el enemigo natural (Cuadro 3). Por otro lado los valores de la proporción de selectividad  
8 de los insecticidas imidacloprid y profenofos fueron inferiores a la unidad (0.11 y 0.61  
9 respectivamente) y de acuerdo al criterio establecido estos insecticidas no son selectivos  
10 a *C. carnea*. Estos resultados nos sugieren que ambos insecticidas no son candidatos  
11 para su uso en sistemas de MIP basados en control biológico.

12 La alta toxicidad de imidacloprid sobre el depredador en este estudio, pudiera  
13 estar influenciada por la vía de exposición, ya que la selectividad de este insecticida se  
14 basa en su actividad sistémica y translaminar, lo que minimiza su impacto sobre  
15 organismos no blanco, y en contraste imidacloprid presenta efecto tóxico, similar a los  
16 insecticidas convencionales cuando se aplica en forma foliar (Mizell y Sconyers, 1992),  
17 lo que concuerda con lo obtenido en esta investigación donde la aplicación se realizó por  
18 vía residual. Sin embargo el uso de imidacloprid para el control de algunas plagas  
19 implica los dos tipos de aplicación, por ejemplo Barbosa *et al.* (2002) recomienda una  
20 aplicación sistémica y cuatro foliares de imidacloprid para el control de huevos, ninfas y  
21 adultos de *Bemisia tabaci*, de ahí la importancia de estudiar a este insecticida en vía de  
22 exposición diferente.

23 Por otra parte la  $CL_{50}$  de imidacloprid para *B. cockerelli* (1567 ppm) fue 9 veces  
24 mayor a la obtenida para *C. carnea* y fue 1.2 veces mayor a la CCR, lo que sugiere que

1 esta plaga fue altamente tolerante a este insecticida. Este grado de tolerancia pudiera  
2 estar relacionado a la alta tasa de detoxificación del insecticida, Nauen y Denholm  
3 (2005) involucran a citocromo P-450 dependiente de monooxigenasas en la resistencia a  
4 este insecticida, lo que pudiera explicar la tolerancia de *B. cockerelli*.

## 5 **CONCLUSIÓN**

6 Los insecticidas abamectina y endosulfan son candidatos para su integración con *C.*  
7 *carnea*, en sistemas de manejo integrado de plagas, para el control de *B. cockerelli* en el  
8 cultivo de la papa. Es importante realizar estudios posteriores para confirmar los  
9 posibles mecanismos de tolerancia involucrados en ambas especies estudiadas.

## 10 **LITERATURA CITADA**

- 11
- 12 Abbott, S W. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal  
13 of Economic Entomology. 18: 265-267.
- 14 Al-jabr, A. M. 1999. Integrated Pest Management of Tomato / Potato Psyllid, *Paratrioza*  
15 *cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae) with Emphasis on its Importance in  
16 Greenhouse Grown Tomatoes. Dissertation for the Degree of Doctor of  
17 Philosophy. Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- 18 Bacci, L., M. C. Picanço, J. F. Rosado, G. A. Silva, A.L.B. Crespo, E.J.G. Pereira, and J.  
19 C. Martins. 2009. Conservation of natural enemies in *Brassica* crops:  
20 comparative selectivity of insecticides in the management of *Brevicoryne*  
21 *brassicae* (Homoptera: Sternorrhyncha: Aphididae). Applied Entomology and  
22 Zoology. 44: 103-113.
- 23 Bacci, L., A.L.B. Crespo, T.L. Galvan, E.J.G. Pereira, M.C. Picanço, G.A. Silva, and M.  
24 Chediak. 2007. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly

- 1 (Homoptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. Pest Management Science,  
2 63: 699-706.
- 3 Barbosa, F. R., K. M. M. Siquiera, E. A. Souza, W. A. Moreira, F. N. P. Haji, e J. A.  
4 Alencar. 2002. Efeito do controle químico da moscabranca na incidencia do  
5 virus-do-mosaico-dourado e na produtividade do feijoeiro. Pesquisa  
6 Agropecuária Brasileira. 37:879-883.
- 7 Bashir, N. H. H., and L. A. Crowder. 1983. Mechanisms of permethrin tolerance in the  
8 common green lacewing. Journal of Economic Entomology. 76: 407-409.
- 9 Berg, G. L., C. Sine, R. T. Meister, and J. Poplyk. 2003. Farm Chemicals Handbook. Ed.  
10 Meister, Willoughby, OH.
- 11 Carvalho, G. A., D. Bezerra, B. Souza, e C. F. Carvalho. 2003. Efeitos de insecticidas  
12 usados na cultura do algodoeiro sobre *Chrysoperla externa* (Hagen)  
13 (Neuroptera: Chrysopidae). Neotropical Entomology. 32: 699-706.
- 14 Clark, J. M., J. G. Scott, F. Campos, and J.R. Bloomquist. 1994. Resistance to  
15 avermectins: Extent, mechanisms and management implications. Annual  
16 Review of Entomology. 40: 1-30.
- 17 Cock, M. J.W. 1994. Integrated management of whitefly pest problems in the Middle  
18 and Near East with special emphasis on biological control. The Arab Journal  
19 of Plant Protection. 12: 127-136.
- 20 Dagli, F., and Bahsi S. U. 2009. Topical and residual toxicity of six pesticides to *Orius*  
21 *majusculus*. Phytoparasitica. 37: 399-405.
- 22 Dennehy, T. J., E. E. Grafton-Cardwell, J. Granett, and K. Barbour. 1987. Practitioner  
23 assessable bioassay for detection of dicofol resistance in spider mites (Acari:  
24 Tetranychidae). Journal of Economic Entomology. 80: 998-1103.

- 1 Elzen, G.W. 1989. Sub-lethal effect of pesticides on beneficial. In Pesticides and Non-  
2 target Invertebrates. P. C. Jepson (ed.). Intercept Limited, Dorset, England,  
3 pp. 129-150.
- 4 Ffrench-Constant, R. H., J. C.Steichen, T. A. Rocheleau, K. Aronstein, and R. T Roush.  
5 1993. A single-amino acid substitution in a  $\gamma$ -aminobutyric acid subtype a  
6 receptor locus is associated with cyclodiene insecticide resistance in  
7 *Drosophila* populations. Proceedings of the National Academy of Sciences.  
8 90: 1957-1961.
- 9 Finney, D. J. 1971. Probit analysis. 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge
- 10 Flores, O. A., N. I.Alemán, y M. I. Notario. 2004. Alternativas para el manejo de la  
11 punta morada. *In*: Flores, O. A.; y R. H. Lira (eds). Detección, diagnóstico y  
12 manejo de la enfermedad punta morada de la papa. Parnaso. España. pp. 66-  
13 90.
- 14 Garzón, T. J. A. 2004. *Bactericera cockerelli* (*Paratrioza cockerelli* Sulc), vector de  
15 fitoplasmas en México. *In*: Flores, O. A. y R. H. Lira (eds). Detección,  
16 diagnóstico y manejo de la enfermedad punta morada de la papa. Parnaso.  
17 España. pp. 91-114.
- 18 Giolo, F. B., P. Medina, A. D. Grutzmacher, and E. Viñuela. 2009. Effects of pesticides  
19 commonly used in peach orchards in Brasil on predatory lacewing  
20 *Chrysoperla carnea* under laboratory conditions. *Biocontrol*. 54: 625-635.
- 21 Grafton-Cardwell, E.E., and M.A. Hoy. 1985. Intraspecific variability in response to  
22 pesticides in the common green lacewing, *Chrysoperla carnea* Stephens  
23 (Neuroptera: Chrysopidae). *Hilgardia*. 53: 1-31.

- 1 Hagley, E. A. C., and N. Miles. 1987. Release of *Chrysoperla carnea* Stephen  
2 (Neuroptera:Chrysopidae) for control of *Tetranychus urticae* Koch  
3 (Acarina:Tetranychidae) on peach grown in a protected environment structure.  
4 Canadian Entomologist. 119: 119-205.
- 5 Huerta, A., P. Medina, G. Smagghe, P. Castanera, and E. Viñuela. 2003a. Topical  
6 toxicity of two acetonic fractions of *Trichilia havanensis* Jacq. and four  
7 insecticides to larvae and adults of *Chrysoperla carnea* (Stephens)  
8 (Neuroptera: Chrysopidae). Communications in Agricultural and Applied  
9 Biological Sciences. 68: 277-286.
- 10 Huerta, A., P. Medina, P. Castanera, and E. Viñuela, 2003b. Residual effects of some  
11 modern pesticides on *Chrysoperla carnea* (Stephens) adults under laboratory  
12 conditions. IOBC/WPRS Bull. 26: 165–170.
- 13 Ishaaya, I., and J. E. Casida. 1981. Pyrethroid esterase(s) may contribute to natural  
14 pyrethroid tolerance of larvae of the common green lacewing. Environmental  
15 Entomology. 10: 681-684.
- 16 Johnson, M. W., and B. E. Tabashnik. 1999. Enhanced biological control through  
17 pesticidy selectivity. In Bellows, T. S., and T. W. Fisher (Eds). Handbook of  
18 biological control. Principles and applications of biological control. Academic  
19 Press San Diego. pp: 297-317
- 20 Lecrone, S., and Z. Smilowitz. 1980. Selective toxicity of pirimicarb, carbaryl, and  
21 methamidophos to green peach aphid, *Myzus persicae* (Sultzer), *Coleomegilla*  
22 *maculata lengi* (Timberlake), and *Chrysopa oculata* Say. Environmental  
23 Entomology. 9: 752-755.

- 1 Leng, X. F., and D. O. Xiao. 1995. Effect of deltamethrin on protein phosphorylation of  
2 housefly brain synaptosomes. *Pesticide Science*. 44:88-89.
- 3 Liu, D., and J. T. Trumble. 2006. Ovipositional preferences, damage thresholds, and  
4 detection of the tomato/potato psyllid (*Bactericera cockerelli* Sulc) on  
5 selected tomato accessions. *Bulletin of Entomological Research*. 6:197-204.
- 6 Metcalf, R. L. 1972. Development of selective and biodegradable pesticides. *In* Pest  
7 control strategies for the future. Natural Academic of Sciences. Washington,  
8 D. C. pp. 137-156.
- 9 McEwen P.K., T. R. R. New, A. Whittington. 2001. Lacewing in the crop management.  
10 Cambridge University Press. 546 p
- 11 Mizell, R. F., and D. E. Schiffhauer. 1990. Effects of pesticides on pecan aphid  
12 predators *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae), *Hippodamia*  
13 *convergens*, *Cycloneda sanguinea* (L.), *Olla v-nigram* (Coleoptera:  
14 Coccinellidae), and *Aphelinus perpallidus* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal*  
15 *of Economic Entomology*. 83: 1806-1812.
- 16 Mizell, R. F., and M. Sconyers. 1992. Toxicity of imidacloprid to selected arthropod  
17 predators in the laboratory. *Florida Entomologist*. 75: 277-280 (Nota  
18 cinetifica)
- 19 Nasreen, A., G. Mostafa, and M. Ashfaq. 2003. Selectivity of some insecticides to  
20 *Chrysoperla carnea* (Stephen) (Neuroptera: Chrysopidae) in laboratory.  
21 *Pakistan Journal Biological Science*. 6: 536-538.
- 22 Nauen, R., and I. Denholm. 2005. Resistance of insect pests to neonicotinoid  
23 insecticides: current status and future prospects. *Archives of Insect*  
24 *Biochemistry and Physiology*. 58: 200-215.

- 1 Pérez, C. J., P. Alvarado, C. Narvaez, F. Miranda, L. Hernandez, H. Vanegas, A.  
2 Hruska, and A. M. Shelton. 2000. Assessment of insecticide resistance in five  
3 insect pests attacking field and vegetable crops in Nicaragua. *Journal of*  
4 *Economic Entomology*. 93: 1779-1787.
- 5 Plapp, F. W. Jr., and D. L. Bull. 1978. Toxicity and selectivity of some insecticide to  
6 *Chrysopa carnea*, a predator of the tobacco budworm. *Environmental*  
7 *Entomology*. 7: 431-434.
- 8 Poehling H. M. 1989. Selective application strategies for insecticides in agricultural  
9 crops. *In: Pesticides and non-target invertebrates*. P. C. Jepson (ed.). Intercept  
10 Ltd. Andover, United Kingdom. pp: 151-175.
- 11 Pree, D. J., D. E. Archibald, and R. K. Morrison. 1989. Resistance to insecticides in the  
12 common green lacewing *Chrysoperla carnea* (Neuroptera, Chrysopidae) in  
13 southern Ontario. *Journal of Economic Entomology*. 82: 29-34.
- 14 Purcell, M. F., J. D. Stark, and R. H. Messing. 1994. Effects of insecticides on three  
15 tephritid fruit flies and associated braconid parasitoids in Hawaii. *Journal of*  
16 *Economic Entomology*. 87: 1455-1462.
- 17 Robertson, J. L., and H. K. Preisler. 1992. *Pesticide Bioassays with Arthropods*. CRC,  
18 Boca Raton, FL. 127 p.
- 19 Rubio, C. O., I. H. Almeida, J. Ireta, J. A. Sánchez, R. Fernández, J. T. Bordon, C. Diaz,  
20 J. A. Garzón, R. Rocha, y M. Cadena. 2006. Distribución de la punta morada  
21 y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en  
22 México. *Agricultura Técnica*. 32: 201-211.
- 23 Rufingier, C., N. Pasteur, J. Lagnel, C. Martin and M. Navajas. 1999. Mechanisms of  
24 insecticide resistance in the aphid *Nasonovia ribisnigri* (Mosley) (Homoptera:

1           Aphididae) from France. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 29:385-  
2           391.

3   SAS Institute 2001. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.

4   Shour, M.H., and L. A. Crowder. 1980. Effects of pyrethroid insecticides on the  
5           common green lacewing. *Journal of Economic Entomology*. 73: 306-309.

6   Silva, R. A. S.; G. A. Carvalho, C. F. Carvalho, P. R. Reis, A. M. A. R. Pereira, e L.V.  
7           Cosme. 2005. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados na cultura do  
8           cafeeiro a larvas de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e  
9           efeitos sobre as fases subseqüentes do desenvolvimento do predador.  
10          *Neotropical Entomology*. 34: 951-959.

11   Stevenson, J. H., and J. H. H. Walters. 1983. Evaluation of pesticides for use with  
12          biological control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 10: 201-215.

13   Stock, D., and P. J. Holloway. 1993. Possible mechanisms for surfactant induced foliar  
14          uptake of agrochemicals. *Pesticide Science*. 38:165-177.

15   Tauber, M. J., C. A. Tauber, K. M. Daane, and K. S. Hagen. 2000. Commercialization of  
16          predators: recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae:  
17          *Chrysoperla*). *American Entomologist*. 46: 26-38.

18   Vega, G. M. T., J. C. Rodríguez, O. Díaz, R. Bujanos, D. Mota, J. L. Martínez, A.  
19          Lagunes, y J. A. Garzón. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos  
20          poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera:  
21          Triozidae). *Agrociencia*. 42: 463-471.

22   Wennergren, U., and J. D. Stark. 2000. Modeling long-term effects of pesticides on  
23          populations: beyond just counting dead animals. *Ecological Applications*. 10:  
24          295-302.

### Artículo 3

## COMPARACIÓN DE LA TOXICIDAD Y MECANISMOS DE RESISTENCIA DE *Chrysoperla carnea* Y *Bactericera cockerelli* PARA ABAMECTINA Y PROFENOFOS

Carlos **Ail**<sup>1</sup>, Ernesto **Cerna**<sup>1</sup>, Jerónimo **Landeros**<sup>1</sup>, Sergio **Sanchez**<sup>1</sup>, Mohammad H.  
**Badii**<sup>2</sup>, Luis A. **Aguirre**<sup>1</sup> y Yisa **Ochoa**<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. C.P. 25315. Buenavista,  
Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Biología. C.P.28710. San Nicolás de los Garza,  
Nuevo León. \*Autor para correspondencia:

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, AV. Universidad No 940 Col. Cd. Universitaria C. P.  
Aguascalientes, Aguascalientes. Tel y Fax 01 (449) 965 00 62 Ext 8107. [yisa8a@yahoo.com](mailto:yisa8a@yahoo.com)

## INTRODUCCIÓN

El psílido de la papa, *Bactericera cockerelli* es un vector importante de enfermedades infecciosas, ocasionadas por bacterias y fitoplasmas (Garzón, 2004; Hansen *et al.*, 2008), sobre plantas solanáceas en México (Vega *et al.*, 2008) y además ocasiona daño directo al succionar la savia de las plantas (Munyaneza *et al.*, 2007). *Chrysoperla carnea* es considerado como uno de los principales agentes de control biológico de *B. cockerelli* (Al-jabr, 1999), depredador generalista y voraz, comúnmente encontrado en sistemas agrícolas (Tauber *et al.*, 2000). Sin embargo la principal forma de control de este psílido es a través de aplicaciones de insecticidas químicos (Vega *et al.*, 2008), por lo que es poco probable el uso del control biológico para el manejo de esta plaga, ya que los insecticidas puede impedir el éxito del control biológico debido a sus efectos tóxicos directos e indirectos en los enemigos naturales. A pesar de esto a *C. carnea* se le reporta como tolerante a los insecticidas fenvalerato, permetrina, abamectina, chlorfenapyr, endosulfan y spinosad (Shour y Crowder, 1980; Pree *et al.*, 1989; Nasreen *et al.*, 2003). En general las larvas de crisopa son conocidas por presentar tolerancia natural a los insecticidas piretroides, y esto parece ser resultado de la alta actividad de enzimas esterases (Isahaaya y Casida, 1981; Bashir y Crowder, 1983), y al metabolismo oxidativo (Pree *et al.*, 1989), lo cual la hace un candidato adecuado para su integración junto con insecticidas en programas de manejo integrado de plagas (MIP).

Al respecto Rumpf *et al.* (1997) mencionan que como parte de cualquier evaluación de esta especie de crisopa para su uso en MIP, es importante entender su respuesta a los insecticidas, tanto los efectos letales de estos productos sobre este depredador, como las respuestas subletales inducidas por los insecticidas, tal como los efectos sobre la actividad de las enzimas.

Las respuestas en la actividad de los sistemas enzimáticos son usadas como marcadores biológicos para evaluar la contaminación subletal en invertebrados (Lagadic *et al.*, 1993). La actividad de las glutatión S-transferasas (GST) es usada como un indicador de la salud de los enemigos naturales sobrevivientes a la exposición de los insecticidas, pero también puede ser usada para medir o monitorear la resistencia y determinar los mecanismos de resistencia a los insecticidas en las plagas y enemigos naturales (Motoyama, 1980; Booth *et al.*, 2007). Las GST junto con otros sistemas enzimáticos, esterasas y oxidasas, juegan un rol importante en la biotransformación de varios insecticidas principalmente organofosforados, organoclorados y piretroides (Fournier *et al.*, 1992; Rufinger *et al.*, 1999; Scott, 1999; Hemingway y Rason, 2000; Kostaropoulos *et al.*, 2005; Oakeshott *et al.*, 2005).

Por lo tanto es esencial conocer tanto la tolerancia de los enemigos naturales a los insecticidas usados en el control de las plagas de los cultivos, así como los mecanismos responsables de dicha tolerancia. Por tal motivo el objetivo de esta investigación fue comparar la toxicidad de los insecticidas abamectina y profenofos sobre *Chrysoperla carnea* y su presa *Bactericera cockerelli* y determinar los mecanismos bioquímicos involucrados en la tolerancia de estos insectos hacia abamectina y profenofos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Insectos.** La colonia de *B. cockerelli*, se obtuvo de psílicos recolectados en lotes comerciales de papa, en el municipio de Arteaga, Coahuila, México, los cuales se mantuvieron en plantas de papa variedad Alpha y mantenidas en una jaula entomológica bajo condiciones de campo. Las larvas de crisopas, se obtuvieron a partir de huevos proporcionados por el Centro de Reproducción de Organismos Benéficos (CROB) del

Estado de Coahuila, estos se individualizaron en vasos de plástico de 3cm de diámetro por 3cm de alto y después de su emergencia, las larvas se alimentaron con huevos de *Sitotroga cereallela* y se mantuvieron en condiciones controladas, de temperatura  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $70\pm 10\%$ .

**Evaluación de la Toxicidad.** La toxicidad residual de los insecticidas, fue evaluada en ninfas ( $n_4$ - $n_5$ ) de *B. cockerelli* y larvas de primer instar (48 h de edad) de *C. carnea*. Se utilizó el método de bioensayo de película residual en caja Petri (Dennehy *et al.*, 1987). Donde se emplearon seis concentraciones para cada insecticida, al 0.1, 0.5, 1.0, 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) y profenofos (Curacrón 73% CE). Las concentraciones de campo fueron de: 18 y 1400 ppm/L, estas se realizaron utilizando como solvente etanol al 95% y al testigo solo se aplicó etanol; se incluyeron 10 repeticiones para cada concentración y el testigo, una repetición consistió de una caja Petri (6cm de diámetro) conteniendo 10 ninfas de la plaga, en el caso del depredador una repetición consistió de 8 larvas, contenidas en forma individual en cada caja Petri. Se depositó 500  $\mu\text{L}$  de la solución insecticida en cada una de las cajas Petri, dos horas después se transfirieron los insectos (Evaporación del solvente). Se cuantificó la mortalidad a 24 h y se tomó como criterio de muerte, cuando los insectos manifestarán un desplazamiento menor de una vez el largo de su cuerpo, después de estimularlos con un pincel fino. Todos los bioensayos se llevaron a cabo bajo condiciones controladas; temperatura  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de  $70 \pm 10\%$ . Al final del periodo de exposición para cada concentración de insecticida, los organismos vivos y muertos de ambas especies fueron removidos y almacenados a  $-80^{\circ}\text{C}$ , para su posterior análisis enzimático.

**Análisis de la actividad enzimática.** Cuatro pruebas bioquímicas se utilizaron en *C. carnea* y *B. cockerelli* para la determinación de la actividad de las enzimas  $\alpha$ -esterasas,  $\beta$ -esterasas, y glutatión S-transferasas, y para determinar el contenido de oxidasas, implicadas en la tolerancia a los insecticidas abamectina y profenofos. Todas las pruebas se hicieron por triplicado en placas de 96 pozos y leídas mediante el lector de microplacas Stat fax-2100®.

**Fuente de enzima.** Se homogenizaron tres larvas de primer estadio de *C. carnea* (hcr) y cinco ninfas ( $n_4$ - $n_5$ ) de *B. cockerelli* (hps) en 100  $\mu$ L de tampón fosfato de potasio (Tfos, 100 mM, pH 7.2) y se diluyó a 1 mL con Tfos (Brogdon, 1984). Se prepararon 10 muestras de los organismos vivos o muertos de ambas especies, expuestos a cada una de las concentraciones de abamectina y profenofos. La concentración de proteína de la muestra fue determinada por el método de Bradford (1976) modificado por Brogdon (1984) utilizando albúmina sérica bovina como referencia y el reactivo azul de Coomassie G250.

**Actividad de esterasas.** Para determinar la actividad de  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas se empleó el método Brogdon y Dickinson (1983). Colocando 100  $\mu$ L de hcr o hps en cada pozo de la placa de Elisa, enseguida se depositaron 100  $\mu$ L de una solución de  $\alpha$  o  $\beta$ -naftil acetato (3 mM; pH 7.4). La mezcla se incubó a temperatura ambiente por 10 min y se le adicionaron 100  $\mu$ L de o-dianisidina (2 mM), se mantuvo la mezcla por 2 min y se leyó la absorbancia en un lector de ELISA a 545 nm. Se determinó la actividad enzimática mediante una curva estándar preparada con  $\alpha$  o  $\beta$ -naftol (0.1-1.0 mM).

**Actividad de glutatión S-transferasas.** Para determinar la actividad de estas enzimas se utilizó la metodología de Brogdon y Barber (1990). Colocando 100  $\mu$ L de hcr o hps en cada pozo de cada placa, luego se adicionó 100  $\mu$ L de una solución de glutatión reducido

(2 mM), inmediatamente después se colocaron 100  $\mu\text{L}$  de una solución de 1-cloro-2, 4'-dinitrobenzeno (1 mM). Se tomó la lectura de la placa con un filtro de 340 nm ( $T_0$ ), posteriormente se incubó por 5 min y se tomó una nueva lectura con el mismo filtro ( $T_5$ ). La diferencia entre las lecturas se empleó para el análisis de los resultados. Se determinó la actividad enzimática usando el coeficiente de extinción de  $9.6 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$

**Estimación de contenido de oxidasas.** Este ensayo no mide la actividad de las monooxigenasas, pero si la cantidad de proteínas que contienen grupo hemo, como este grupo está presente en el sitio activo de las monooxigenasas, la cantidad de grupo hemo corresponde a la cantidad de oxidasas presentes. Los niveles de oxidasas se determinaron con la metodología propuesta por Brogdon *et al.* (1997). Para ello, se colocaron 100  $\mu\text{L}$  de hcr o hps en cada pozo, luego se depositaron 200  $\mu\text{L}$  de una solución de 3, 3', 5, 5'-tetrametil-bencidina (1.6 mM), enseguida se colocaron 25  $\mu\text{L}$  de peróxido de hidrógeno (3 %), la mezcla se incubó por 5 min a temperatura ambiente y se realizó la lectura de la placa con un filtro de 630 nm. Se estimó la cantidad de oxidasas usando una curva estándar de Citocromo C (0.8-32  $\mu\text{g}$ ).

**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 los insecticidas abamectina y profenofos, se analizaron con un ANOVA de tres-vías [PROC GLM de SAS/STAT (SAS, 2001)], las medias de los mínimos cuadrados se compararon por Tukey,  $p \leq 0.05$  (SAS, 2001).

Los resultados de la actividad enzimática y el contenido de oxidasas entre los especímenes vivos y muertos de *B. cockerelli* y *C. carnea* para cada concentración, para cada insecticida y para cada enzima, se compararon a través de la prueba de t-Student [PROC TTEST de SAS/STAT (SAS, 2001)].

La relación entre la mortalidad y la actividad enzimática y el contenido de oxidasas fueron analizados usando el coeficiente de correlación de Pearson (r) [PROC CORR de SAS/STAT (SAS, 2001)].

## RESULTADOS

**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* ( $F=348.97$ ;  $gl=23,442$ ;  $P=0.0001$ ). En relación a abamectina se observó, mayor mortalidad en ninfas de la plaga en comparación a larvas de crisopa ( $F=2063.57$ ;  $gl=1,442$ ;  $P=0.0001$ ), este insecticida fue altamente eficiente sobre *B. cockerelli*, aun en concentraciones de 1.0 y 0.5% de la CCR, en las que se obtuvo alta mortalidad (94 y 80.7 % respectivamente), por su parte *C. carnea* presentó solamente 55% de mortalidad en 100% de la CCR, y en concentraciones bajas de abamectina (1.0, 0.5 y 0.1 % de la CCR) la mortalidad fue nula, mientras que profenofos resultó altamente tóxico para ambas especies ( $F=2063.57$ ;  $gl=1,442$ ;  $P=0.0001$ ), en concentraciones altas de 10, 50 y 100% la de CCR, ambos insectos presentaron 100 de mortalidad, en concentraciones bajas; 1.0, 0.5 y 0.1 % de la CCR, la mortalidad se redujo para ambas especies, sin embargo la mortalidad fue similar para los dos insectos. Abamectina y profenofos fueron altamente tóxicos sobre *B. cockerelli* aun a concentración de 1 % de la CCR, para el caso de *C. carnea* abamectina presento significativamente menor toxicidad en comparación a profenofos en las seis concentraciones evaluada ( $F=37.62$ ;  $gl=5,442$ ;  $P=0.0001$ ) (Cuadro 1)

**Actividad enzimática.** La actividad de las enzimas;  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterasas y glutatión S-transferasas, entre los organismos vivos y muertos de *B. cockerelli* expuestos a diferentes concentraciones de profenofos no presentaron diferencias significativas,

resultado similar se presentó para el contenido de oxidasas (Cuadro 2). Sin embargo la mortalidad de este insecto fue negativamente correlacionada con la actividad enzimática de las  $\alpha$ -esterasas ( $r = -0.81$ ),  $\beta$ -esterasas ( $r = -0.97$ ), de los organismos sobrevivientes a las diferentes concentraciones de profenofos, no hubo correlación entre la mortalidad y la actividad de las glutatión S-transferasas ( $r = 0.43$ ) y el contenido de oxidasas ( $r = -0.13$ ).

La actividad de las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas, fue significativamente mayor en los individuos vivos en comparación con organismos muertos de *C. carnea* expuestos a diferentes porcentajes de CCR de profenofos, además la actividad de estas enzimas (Especímenes vivos) se correlacionó negativamente con la mortalidad [ $\alpha$ -esterasas ( $r = -0.66$ );  $\beta$ -esterasas ( $r = -0.76$ ) (Cuadro 3)]. En relación a la actividad de las glutatión S-transferasas, solo hubo diferencias significativas entre los especímenes vivos y muertos expuestos a la concentración de 1 % la CCR y la mortalidad de larvas de crisopa se correlacionó positivamente con la actividad enzimática de las glutatión S-transferasas ( $r = 0.96$ ). Para el caso de las oxidasas no hubo diferencias significativas en el contenido de estas enzimas entre los individuos vivos y muertos de *C. carnea* expuestos a diferentes concentraciones de profenofos, además no hubo correlación entre la mortalidad y contenido de oxidasas en los individuos sobrevivientes en las diferentes concentraciones de profenofos [ $r = 0.19$ ](Cuadro 3)].

La actividad de las enzimas;  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterasas y glutatión S-transferasas, entre los organismos vivos y muertos de *B. cockerelli* expuestos a diferentes concentraciones de abamectina no presentaron diferencias significativas (Cuadro 4). Sin embargo la mortalidad de este insecto fue negativamente correlacionada con la actividad enzimática (Organismos vivos) de las  $\alpha$ -esterasas ( $r = -0.75$ ), mientras que no hubo correlación con

la actividad de las  $\beta$ -esterasas ( $r = 0.02$ ) y las glutatión S-transferasas ( $r = 0.04$ ). Por otro lado los organismos vivos *B. cockerelli* expuestos a diferentes concentraciones de abamectina presentaron mayor contenido de oxidasas en comparación a los especímenes muertos (Cuadro 4), además la mortalidad este psílido se correlacionó positivamente con el contenido de estas enzimas ( $r = 0.96$ )

En el cuadro 5 se observa que la actividad de las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas, fue significativamente mayor en los individuos vivos en comparación a individuos muertos de *C. carnea* expuestos a diferentes porcentajes de CCR de abamectina (Cuadro 5), además la actividad de las  $\alpha$ -esterasas (Especímenes vivos) se correlacionó positivamente con la mortalidad ( $r = 0.97$ ), mientras que no hubo correlación con las  $\beta$ -esterasas ( $r = 0.52$ ). Para el caso de la actividad de las glutatión S-transferasas y el contenido de oxidasas, no hubo diferencias significativas entre los especímenes vivos y muertos expuestos a las diferentes concentración de abamectina, a demás la mortalidad de larvas de crisopa no se correlacionó con la actividad enzimática de las glutatión S-transferasas ( $r = 0.18$ ) y el contenido de oxidasas ( $r = -0.59$ ).

## DISCUSIÓN

Tillman y Mullinix (2004) mencionan que los estudios en donde se compara la susceptibilidad, entre enemigos naturales y sus presas son de vital importancia para evaluar la selectividad de los insecticidas a los enemigos naturales. En este estudio se evaluaron dos insecticidas; profenofos (Insecticida convencional) y abamectina (Insecticida bioracional) sobre *B. cockerelli* y su depredador *C. carnea*, profenofos fue altamente tóxico tanto para la plaga como para el enemigo natural, por otro lado abamectina fue más toxico para la plaga en comparación con el depredador, independientemente de la concentración evaluada, estos resultados coinciden con lo

reportado por Legaspi *et al.* (2000), quienes mencionan que en general los insecticidas con nuevo modo de acción son menos tóxicos para los enemigos naturales en comparación con los insecticidas convencionales. La baja toxicidad de abamectina sobre este depredador y su alta eficiencia exhibida sobre *B. cockerelli* en CCR y CCR reducida, sugieren que este insecticida puede ser usado en sistemas de MIP, para el manejo de poblaciones de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa. Para el caso de profenofos, este insecticida no se recomienda su uso en MIP.

El insecticida profenofos fue altamente tóxico para *B. cockerelli* y *C. carnea* en concentraciones altas y en bajas concentraciones la mortalidad se redujo, sugiriendo que algún mecanismo de tolerancia pudiera estar relacionado. En estudios de actividad enzimática se encontró que la actividad de las enzimas  $\alpha$ -esterasas,  $\beta$ -esterasas y glutatión S-transferasas, y también el contenido de oxidasas, en los individuos sobrevivientes de *B. cockerelli*, a las concentraciones de 1.0, 0.5 y 0.1 % de la CCR, fueron similares a la actividad enzimática de estas enzimas en los especímenes muertos, lo que pudiera indicar que estos mecanismos de resistencia no están involucrados en el nivel de tolerancia que presenta esta plaga hacia concentraciones bajas de profenofos, así también estos resultados nos sugieren que probablemente otro mecanismos de resistencia pudiera estar involucrado, en general se reporta a acetilcolinesterasa insensible como el principal mecanismos de resistencia a los insecticidas organofosforados en insectos (Kasagami *et al.*, 2002), lo que explicaría la tolerancia de este esta plaga a profenofos en concentraciones bajas. A pesar que la actividad de las  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas no se relacionan con el nivel de tolerancia a profenofos, estas enzimas se correlacionaron negativamente con la mortalidad que presento este psílido, indicando

que profenofos inhibe la actividad de las  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas a medida en que la concentración del insecticida se incrementó.

En relación a *C. carnea*, los estudios enzimáticos indicaron que la actividad de las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas fueron superiores en los especímenes vivos en comparación a los muertos, indicando que estas enzimas pudieran estar relacionadas con el nivel de tolerancia que presenta esta crisopa a concentraciones bajas de profenofos, no se tienen reportes de los posibles mecanismos de resistencia de *C. carnea* hacia este insecticida, sin embargo, su tolerancia natural a los insecticidas piretroides (Plapp y Bull, 1978; Shour y Crowder, 1980; Grafton-Cardwell y Hoy, 1985), parece ser resultado de la alta actividad de enzimas esterasas (Isahaaya y Casida, 1981; Bashir y Crowder, 1983), lo que pudiera coincidir con nuestros resultados, además en este estudio profenofos inhibió la actividad de las  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas a medida que la concentración del insecticida se incrementó. Por otro lado la actividad de la glutatión S-transferasas y el contenido de oxidasas entre los especímenes vivo y muertos no fueron significativamente diferentes, indicando que estos mecanismos no intervienen en el nivel de tolerancia de esta crisopa a concentraciones bajas de profenofos, sin embargo la actividad de las glutatión S-transferasa y la mortalidad se correlacionaron positivamente, lo que sugiere que insecticida indujo la actividad de esta enzima a medida que la concentración del insecticida se incrementó.

El análisis enzimático de los organismos vivos y muertos de *B. cockerelli* expuestos a concentraciones bajas de abamectina indicó que no existen diferencias significativas en la actividad de las enzimas;  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterasas y glutatión S-transferasas, entre estos especímenes. Estos resultados sugieren que estos sistemas enzimáticos no intervienen en el nivel de tolerancia de esta plaga hacia las concentraciones 1.0, 0.5 y 0.1

de la CCR de abamectina, sin embargo hubo una correlación negativa entre la mortalidad de *B. cockerelli* y la actividad de las  $\alpha$ -esterasas, lo que indica que abamectina inhibió la actividad de estas enzimas a medida en que la concentración del insecticida se incrementó. En relación al contenido de oxidasas, los especímenes vivos expuestos a concentraciones bajas de este insecticida presentaron mayor contenido de oxidasas, en comparación con los organismos muertos, este resultado sugiere que estas enzimas se encuentran involucradas en el nivel de tolerancia hacia las concentraciones de 1.0, 0.5 y 0.1 % de la CCR de abamectina, lo que coincide con Clark *et al.* (1994) quienes mencionan que el principal mecanismo fisiológico de resistencia o tolerancia a la abamectina son las enzimas oxidativas. Además se presentó una correlación positiva entre la mortalidad y el contenido de oxidasas, indicando que el contenido de estas enzimas se incrementó a medida que la concentración del insecticida se incrementó.

Esta investigación demostró que abamectina presentó baja toxicidad sobre *C. carnea*, en las seis concentraciones evaluadas, resultado que indica que es altamente selectivo para este depredador, ya que en concentraciones de 10 y 50 % de la CCR no superó 30 % de mortalidad, y a medida que la concentración del insecticida disminuyó la mortalidad fue nula, lo que concuerda con Bacci *et al.* (2007) quienes consideran a abamectina compatible con MIP debido a su baja toxicidad sobre depredadores. Estos resultados también nos indican que esta crisopa es altamente tolerante a este insecticida, sugiriendo que algún mecanismo de resistencia pudiera estar relacionado en la baja toxicidad.

En estudios de actividad enzimática se encontró que la actividad de las enzimas  $\alpha$ -esterasas,  $\beta$ -esterasas, en los individuos sobrevivientes de *C. carnea* a la exposición a las seis concentraciones de abamectina, fueron superiores a la actividad enzimática de estas enzimas en los especímenes muertos, lo que pudiera indicar que estos mecanismos de

resistencia están involucrados en el nivel de tolerancia que presenta este depredador hacia abamectina, estos resultados difieren con lo reportado por Clark *et al.* (1994) quienes mencionan que el principal mecanismo fisiológico de resistencia o tolerancia a la abamectina son las enzimas oxidativas, en este estudio el contenido de oxidasas no represento un factor de resistencia importante, sin embargo Argentine (1991) y Argentine *et al.* (1992), reportan que además del metabolismo oxidativo, la actividad de las carboxilesterasas pudieran estar involucradas en la resistencia de abamectina, lo que coincide con nuestros resultados.

#### LITERATURA CITADA

- Al-jabr A.,M. 1999. Integrated Pest Management of Tomato / Potato Psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae) with Emphasis on its Importance in Greenhouse Grown Tomatoes. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- Argentine, J. 1991. Two abamectin-resistant strains of Colorado potato beetle. Resistant pest management. 3: 30-31.
- Argentine, J.A., J.M. Clark and H. Lin. 1992. Genetics and biochemical mechanisms of abamectin resistance in two isogenic strains of Colorado potato beetle. Pesticide Biochemistry and Physiology. 44: 191-207
- 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 Management Science, 63: 699-706.
- Bashir, N. H. H., and L. A. Crowder. 1983. Mechanisms of permethrin tolerance in the common green lacewing. Journal of Economic Entomology. 76: 407-409.

- Booth L. H.; S. D. Wratten and P. Kehrl. 2007. Effects of reduced rates of two insecticides on enzyme activity and mortality of an aphid and its lacewing predator. *Journal Economic of Entomology*. 100(1): 11-19.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Annals of Biochemistry* 72: 248-254.
- Brogdon, W. G. 1984. Mosquito protein microassay-I, protein determinations from small portions of single-mosquito homogenates. *Comparative Biochemistry Physiology* 79: 457-459.
- Brogdon, W. G. 1988. Microassay of acetylcholinesterase activity in small portions of single mosquito homogenates. *Comparative Biochemistry and Physiology* 90: 145-150.
- Brogdon, W. G. and C. M. Dickinson. 1983. A microassay system for measuring esterase activity and protein concentration in small samples and in high-pressure liquid chromatography eluate fractions. *Analytical Biochemistry* 131: 499-503.
- Brogdon, W. G. and Barber. 1990. Microplate assay of glutathione S-transferase activity for resistance detection in singlemosquito triturates. *Comparative Biochemistry and Physiology* 96: 339-342.
- Brogdon, W. G.; J. C. McAllister, and; J. Vulule. 1997. Hemeperoxidase activity measured in single mosquitoes identifies individuals expressing an elevated oxidase for insecticide resistance. *Journal of the American Mosquito Control Association* 13: 233-237.

- Clark, J. M., J. G. Scott, F. Campos, and J.R. Bloomquist. 1994. Resistance to avermectins: Extent, mechanisms and management implications. *Annual Review of Entomology*. 40: 1-30.
- 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). *Journal of Economic Entomology*. 80: 998-1103.
- Fournier D., I. M. Bride, M. Poirie, J. B. Berge, and F. W. Plapp. 1992. Insect glutathione S-transferases biochemical characteristics of the major forms from houseflies susceptible and resistant to insecticides. *Journal Biological Chemistry*. 267: 1840-1845.
- Garzón, T. J. A. 2004. *Bactericera cockerelli* (*Paratrioza cockerelli* Sulc), vector de fitoplasmas en México (p. 91-114). *In*: Flores, O. A. y Lira, R. H. (eds). Detección, diagnóstico y manejo de la enfermedad punta morada de la papa. Parnaso. España. pp. 135.
- 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.
- Hemingway, J.; and H. Ranson. 2000. Insecticide Resistance in Insect Vectors of Human Disease. *Annual Review of Entomology* 45: 371-391.
- Ishaaya, I., and J. E. Casida. 1981. Pyrethroid esterase(s) may contribute to natural pyrethroid tolerance of larvae of the common green lacewing. *Environmental Entomology*. 10: 681-684.

- Kasagami, T., T. Miyamoto and I. Yamamoto. 2002. Activated transformations of organophosphorus insecticides in the case of non-AChE inhibitory oxons. *Pest Management Science*. 58:1107-1117
- Kostaropoulos, I.; Papadopoulos, A. I.; Metaxakis, A.; Boukouvala, E.; Papadopoulou-Mourkidou, E. 2001. Glutathione S-transferase in the defense against pyrethroid insecticides. *Insect Molecular Biology* 31:313-319.
- Lagadic, L., A. Cuany, J. B. Berge, and M. Echaubard. 1993. Purification and partial characterization of glutathione S-transferase from insecticide-resistant and lindane-induced susceptible *Spodoptera littoralis* (Boisd.) larvae. *Insect Biochemical Molecular Biology*. 23: 467-474.
- Legaspi, J. C., J. V. French, and B. C. Legaspi Jr. 2000. Toxicity of novel and conventional insecticides on selected beneficial insects. *Subtropical Plant Science*. 52: 23-32
- Motoyama, N. 1980. Glutathione-S-transferases: their role in the metabolism of organophosphorus insecticides. *Review Biochemical Toxicology*. 2: 49-69.
- Munyaneza, 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. *Journal of Economic Entomology*. 100: 656-663.
- Nasreen, A., G. Mostafa, and M. Ashfaq. 2003. Selectivity of some insecticides to *Chrysoperla carnea* (Stephen) (Neuroptera: Chrysopidae) in laboratory. *Pakistan Journal Biological Science*. 6: 536-538.
- Oakeshott, J. G.; C. Claudianos; P. M. Campbell; R. D. Newcomb and R. J. Rusell. 2005. Biochemical genetics and genomics of insect esterases. In: *Comprehensive*

- Molecular Insect Science. Gilbert, L. I.; K. Latrou; S. S. Gill (eds). Elsevier Ltd. Oxford. Vol.5: 309-381.
- Plapp, F. W. Jr., and D. L. Bull. 1978. Toxicity and selectivity of some insecticide to *Chrysopa carnea*, a predator of the tobacco budworm. Environmental Entomology. 7: 431-434.
- Pree, D. J., D. E. Archibald, and R. K. Morrison. 1989. Resistance to insecticides in the common green lacewing *Chrysoperla carnea* (Neuroptera, Chrysopidae) in southern Ontario. Journal of Economic Entomology. 82: 29-34.
- Rufingier, C., N. Pasteur, J. Lagnel, C. Martin and M. Navajas. 1999. Mechanisms of insecticide resistance in the aphid *Nasonovia ribisnigri* (Mosley) (Homoptera: Aphididae) from France. Insect Biochemistry and Molecular Biology. 29:385-391.
- Rumpf, S., F. Hetzel, and C. Frampton. 1997. Lacewings (Neuroptera: Hemerobiidae and Chrysopidae) and integrated pest management: enzyme activity as biomarker of sublethal insecticide exposure. Journal Economic of Entomology. 90(1): 102-108.
- 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. Journal of Economic Entomology. 73: 306-309.
- Scott, J. G. 1999. Cytochromes P450 and Insecticide Resistance. Insect Biochemistry and Molecular Biology 29:757-777.
- Tillman P. G. and B. G. Mullinix Jr. 2004. Comparison of susceptibility of pest *Euschistus servus* and predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera:

Pentatomidae) to selected insecticides. *Journal Economic of Entomology*.  
97(3): 800-806.

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*). *American Entomologist*. 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: Triozidae). *Agrociencia*. 42: 463-471.

Cuadro 1. Medias de los mínimos cuadrados para el porcentaje de mortalidad de *B. cockerelli* y *C. carnea* expuestos a residuos de diferentes porcentajes de la concentración de campo de los insecticidas abamectina y profenofos, recomendadas para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

% de concentración de campo**	% de Mortalidad*			
	Abamectina		Profenofos	
	<i>C. carnea</i>	<i>B. cockerelli</i>	<i>C. carnea</i>	<i>B. cockerelli</i>
100.0	55.0Aby	100.0Aax	100.0Aax	100.0Aax
50.0	30.0Bby	100.0Aax	100.0Aax	100.0Aax
10.0	14.4Cby	100.0Aax	100.0Aax	100.0Aax
1.0	0.0Dby	94.0Aax	90.0Aax	93.3Aax
0.5	0.0Dby	80.7Bax	73.1Bax	75.0Bax
0.1	0.0Dby	55.4Cax	46.3Cax	34.6Cby

\* Porcentaje de mortalidad corregida por Abbot (1925)

\*\* Concentración de campo de los insecticidas; abamectina (18 ppm), bifentrina (180 ppm), endosulfan (1200 ppm), imidacloprid (1300 ppm) y profenofos (1400 ppm).

Las medias de los mínimos cuadrados en una columna seguida por la misma letra mayúscula (A-D) no son significativamente diferentes entre porcentajes de la concentración de campo, para una sola especie y un insecticida. Las medias de los mínimos cuadrados en una línea seguida por la misma letra minúscula (a-b) no son significativamente diferentes entre especies, para un solo insecticida y un porcentaje de la concentración de campo. Las medias de los mínimos cuadrados en una línea seguidas por la misma letra minúscula (x-y) no son significativamente diferentes entre insecticidas, para una sola especie y un porcentaje de concentración de campo (PROC GLM, Tukey,  $P>0.05$ ).

Cuadro 2. Comparación de la actividad enzimática de individuos vivos y muertos de *B. cockerelli* expuestos a residuos de diferentes porcentajes de la concentración de campo del insecticida profenofos, recomendada para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

Concentración de campo		% M	Actividad enzimática						ng de grupo hemo/mg de proteína	
			μM/mg de proteína/min				nM/mg de proteína/min			
			α-esterasas		β-esterasas		GST		Oxidasas	
%	ppm		M	V	M	V	M	V	M	V
100.0	18.000	100.0	583.0	----	194.0	----	21.8	----	325.0	----
50.0	9.000	100.0	139.0	----	189.0	----	20.1	----	335.0	----
10.0	1.800	100.0	124.0	----	193.0	----	17.3	----	444.0	----
1.0	0.180	93.3	120.0A	130.0A	184.0A	189.0A	22.9B	33.7A	465.0A	406.0A
0.5	0.090	75.0	112.0A	116.0A	193.0A	196.0A	21.7A	17.5A	511.0A	639.0A
0.1	0.018	34.6	139.0A	159.0A	258.0A	301.0A	20.1A	23.7A	609.0A	483.0A

Las medias de la actividad enzimática seguida por la misma letra mayúscula (A-B) no son significativamente diferentes entre individuos vivos y muertos, para una sola enzima y un porcentaje de la concentración de campo (PROC TTEST, t-Student,  $P>0.05$ ).

Cuadro 3. Comparación de la actividad enzimática de individuos vivos y muertos de *C. carnea* expuestos a residuos de diferentes porcentajes de concentración de campo del insecticida profenofos, recomendada para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

Concentración de campo		% M	Actividad enzimática						ng de grupo hemo/mg de proteína	
			μM/mg de proteína/min				nM/mg de proteína/min			
			α-esterasas		β-esterasas		GST		Oxidasas	
%	ppm		M	V	M	V	M	V	M	V
100.0	18.000	100.0	113.0	----	125.0	----	7.6	----	297.0	----
50.0	9.000	100.0	115.0	----	125.0	----	12.0	----	305.0	----
10.0	1.800	100.0	124.0	----	130.0	----	8.9	----	371.0	----
1.0	0.180	90.0	118.0B	140.0A	109.0A	120.0A	7.5B	11.0A	343.0A	389.0A
0.5	0.090	73.1	105.0B	190.0A	107.0B	340.0A	8.5A	8.9A	347.0A	335.0A
0.1	0.018	46.3	108.0B	188.0A	113.0B	329.0A	8.2A	7.9A	401.0A	305.0A

Las medias de la actividad enzimática seguida por la misma letra mayúscula (A-B) no son significativamente diferentes entre individuos vivos y muertos, para una sola enzima y un porcentaje de la concentración de campo (PROC TTEST, t-Student,  $P>0.05$ ).

Cuadro 4. Comparación de la actividad enzimática de individuos vivos y muertos de *B. cockerelli* expuestos a residuos de diferentes porcentajes de concentración de campo del insecticida abamectina, recomendada para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

Concentración de campo		% M	Actividad enzimática						ng de grupo hemo/mg de proteína	
			μM/mg de proteína/min				nM/mg de proteína/min			
			α-esterasas		β-esterasas		GST		Oxidasas	
%	ppm		M	V	M	V	M	V	M	V
100.0	18.000	100.0	363.0	----	526.0	----	28.3	----	584.0	----
50.0	9.000	100.0	347.0	----	496.0	----	27.7	----	455.0	----
10.0	1.800	100.0	354.0	----	543.0	----	29.7	----	482.0	----
1.0	0.180	94.0	333.0A	331.0A	471.0A	521.0A	24.2A	24.5	651.0B	856.0A
0.5	0.090	80.7	352.0A	373.0A	506.0A	576.0A	22.6A	17.8A	649.0B	771.0A
0.1	0.018	55.4	340.0A	372.0A	501.0A	530.0A	25.1A	22.9A	590.0B	715.0A

Las medias de la actividad enzimática seguida por la misma letra mayúscula (A-B) no son significativamente diferentes entre individuos vivos y muertos, para una sola enzima y un porcentaje de la concentración de campo (PROC TTEST, t-Student,  $P>0.05$ ).

Cuadro 5. Comparación de la actividad enzimática de individuos vivos y muertos de *C. carnea* expuestos a residuos de diferentes porcentajes de concentración de campo del insecticida abamectina, recomendada para el control de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa.

Concentración de campo		% M	Actividad enzimática						ng de grupo hemo/mg de proteína	
			μM/mg de proteína/min				nM/mg de proteína/min			
%	ppm		α-esterasas		β-esterasas		GST		Oxidasas	
			M	V	M	V	M	V	M	V
100.0	18.000	55.0	196.0B	555.0A	273.0B	794.0A	9.5A	9.1A	244.0A	214.0A
50.0	9.000	30.0	184.0B	436.0A	264.0B	770.0A	6.3A	8.7A	260.0A	310.0A
10.0	1.800	14.4	193.0B	388.0A	637.0A	793.0A	10.7A	10.6A	260.0A	233.0A
1.0	0.180	0.0	----	306.0	----	670.0	----	8.1	----	268.0
0.5	0.090	0.0	----	364.0	----	793.0	----	5.5	----	362.0
0.1	0.018	0.0	----	306.0	----	717.0	----	10.8	----	287.0

Las medias de la actividad enzimática seguida por la misma letra mayúscula (A-B) no son significativamente diferentes entre individuos vivos y muertos, para una sola enzima y un porcentaje de la concentración de campo (PROC TTEST, t-Student,  $P>0.05$ ).

## CONCLUSIONES

Este estudio demostró que *C. carnea* es voraz sobre *B. cockerelli* y su capacidad depredadora está en función a su estado de desarrollo, tamaño de presa y al número de presas ofrecido, tiene tiempo de manipuleo relativamente corto y alto consumo de sobre ninfas de *B. cockerelli*, lo que nos confirma el potencial de este depredador como agente de control biológico de esta plaga, así también estos resultados nos sugieren que este depredador puede ser incluido en sistemas de manejo de plagas basados en el control biológico aumentativo.

Los experimentos de toxicidad y selectividad demostraron que los insecticidas abamectina y endosulfan son candidatos para su uso con liberaciones de crisopas en programas de manejo integrado de plagas (MIP). En el caso de bifentrina se debe restringir su uso o rotar con abamectina y endosulfan. Los insecticidas imidacloprid y profenofos no son candidatos para su uso con liberaciones de crisopas en programas de manejo integrado de plagas (MIP)

El nivel de tolerancia de *C. carnea* sobre abamectina podría estar relacionado a la actividad de las enzimas  $\alpha$ ,  $\beta$ -esterasas, y también estas misma enzimas pudieran estar involucrados en su tolerancia a concentraciones bajas de profenofos. El nivel de

tolerancia de *B. cockerelli* a concentraciones bajas de profenofos no es debido a la actividad de las enzimas estudiadas. Sin embargo la tolerancia de esta plaga a concentraciones bajas de abamectina pudiera estar relacionado a la actividad de las oxidasas.

## LITERATURA CITADA

- Abdullah, N. M. M. 2008. Life history of the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) in controlled environment agriculture in Arizona. African Journal Agricultural Research. 3: 60–67.
- Al-jabr, A. M. 1999. Integrated Pest Management of Tomato / Potato Psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae) with Emphasis on its Importance in Greenhouse Grown Tomatoes. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- Brattsten L. B., C. V: Holyoke, J. R. Leeper and K. F. Raffa. 1986. Insecticide resistance: Challenge to pest management and basic research. Science. 2: 1255-1260.
- Brown, A. W. A. 1958. Insecticide resistance in arthropods. Geneva, World Health Organization. 240 p.
- Cadena-Hinojosa, M. A. 1999. Potato purple top in México: Effects of plant spacing and insecticide application. Revista Mexicana de Fitopatología. 17: 91-95.
- Carter, R. D. 1950. Toxicity of *Paratrioza cockerelli* to certain sloanaceous. Ph D. Dissertation, University of California, Berkeley, California. USA.
- Cock, M. J.W. 1994. Integrated management of whitefly pest problems in the Middle and Near East with special emphasis on biological control. The Arab Journal of Plant Protection. 12: 127-136.
- Crawford, D. L. 1911. American Psyllidae III. (Triozinae). Pomona College Journal Entomology. 3: 422-453.
- Croft, B. A., y A. W. A. Brown. 1975. Responses of arthropod natural enemies to insecticides. Annual Review of Entomology. 20: 285-335.
- Croft, B. A., y K. Strickler. 1982. Natural enemy resistance to pesticides; documentation, caraccheterization, theory and application. pp: 669-703. In: G. P. Georghiuo and T. Saito (Eds). Pest resistance to insecticides. Plenum. New York.
- Dagli, F., and Bahsi S. U. 2009. Topical and residual toxicity of six pesticides to *Orius majusculus*. Phytoparasitica. 37: 399-405.
- Dent, D. 2000. Insect pest management. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom.

- FAO. 1979. Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de pérdidas agrícolas. Informe de la Segunda Reunión de Expertos (6/2) AGP; Roma. 67 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.
- García, N. B. C. 2007. Transmisión de fitoplasmas por *Bactericera cockerelli* (Sulc) a plantas de chile, papa y tomate. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Unidad de Biotecnología e ingeniería genética de plantas. Culiacán, Sinaloa, México.
- Garzón-Tiznado, J. A. 2003. El pulgón saltador o la *Paratrioza*, una amenaza para la horticultura de Sinaloa. pp: 79-89. *In*: Memoria del Taller sobre *Paratrioza cockerelli* Sulc. Como plaga vector de fitoplasma en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México.
- 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. 1965. Genetics studies on insecticide resistance. *Advances in pest control research*. 6: 171.
- Georghiou, G. P: 1971. Resistance of insects and mites to insecticides and acaricides and future of pesticides chemicals. *Agricultural Chemicals Harmony or Discord for Food, People and the Environment*. A Symposium John Swift, Ed. University of California. pp 112-127.
- Georghiou, G. P. y C. Taylor. 1977. Genetical and biological influence in the evolution of insecticide resistance. *Journal of economic entomology*. 70: 319-323.
- Georghiou, G. P. and Lagunes-Tejeda. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. Rome. FAO. 318 p.
- 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. *Canadian Entomologist*. 119: 119-205.
- Hansen A, Trumble JT, Stouthamer R, Paine TD 2008. New Huanglongbing (HLB) Candidatus species, “*Candidatus Liberibacter psyllauros*”, found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). *Applied and Environmental Microbiology*. 74: 5862-5865

- Hayes, W. P. and Y. S. Liu. 1947. Tarsal chemoreceptors of the house fly and their possible relation to DDT toxicity. *Annals of the Entomological Society of America*. 40: 401-416.
- Knowlton, G. F. 1933a. Aphis lion predators of the potato psyllid. *Journal of Economic Entomology*. 26: 977.
- Knowlton, G. F. 1933b. Ladybird beetles as predators of the potato psyllid. *The Canadian Entomologist*. 65: 241-243.
- Knowlton, G. F. 1933c. Notes on injurious Utah insects: Potato psyllid. *Proceedings Utah Academy of Sciences*. 10: 153.
- Knowlton, G. F. 1934. A big-eyed bug predator of the potato psyllid. *Florida Entomologist*. 18: 40-43.
- Lagunes, T. A. 1974. Resistencia diferencial a insecticidas entre poblaciones de *Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) que atacan al algodono, tomate y maíz en México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 101 p.
- Lagunes-Tejada, A. y Villanueva-Jiménez J: A. 1994. Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo Estado de México, México 1994. pp 264.
- Liu, D., y J. T. Trumble. 2004. Tomato psyllid behavioral responses to tomato plant lines and interactions of plant lines with insecticides. *Journal Economic of Entomology*. 97: 1078-1085.
- 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. *Bulletin of Entomological Research*. 6:197-204.
- Liu, D., L. Johnson, y J. T. Trumble. 2006. Differential responses to feeding by the tomato/potato psyllid between two tomato cultivars and their implications in establishment of injury levels and potential of damaged plant recovery. *Insect Science*. 13: 195-204.
- McEwen P.K., T. R. R. New, A. Whittington. 2001. Lacewing in the crop management. Cambridge University Press. 546 p.
- McNally, R. D. 1962. Mechanisms of insect resistance are manifold and highly efficient. *Agricultural Chemicals*. 17: 22-23.
- Perry, A. S. 1956. Factors associated with DDT resistance in the house fly, *Musca domestica* L. Tenth International Congress of Entomology. 2: 157-172.

- Pletsch, D. J. 1947. The potato psyllid *Paratrioza cockerelli* (Sulc.), its biology and control. Montana Agricultural Experiment Station Bulletin 446: 1-95.
- Rubio, C. O., I. H. Almeida, J. Ireta, J. A. Sánchez, R. Fernández, J. T. Bordon, C. Diaz, 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. Agricultura Técnica. 32: 201-211.
- Stevenson, J. H., and J. H. H. Walters. 1983. Evaluation of pesticides for use with biological control. Agriculture, Ecosystems and Environment. 10: 201-215.
- Tabashnik, B. E. y M. W. Johnson. 1999. Evolution of pesticides resistance in natural enemies. pp: 673-689. In: T. S. Bellows, T. W. Fisher, L. E. Caltagirone, D. L. Dahlsten, C. Huffaker, G. Gardh (Eds). Handbook of biological control. Academic Press. San Diego, USA.
- Tabashnik, B. E., y B. Croft. 1985. Evolution of pesticide resistance in Apple pests and natural enemies. Entomophaga. 30: 37-49.
- 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*). American Entomologist. 46: 26-38.
- Tiscareño, I. M. A., L. D. Ortega A., C. Rodríguez H., y C. Villar M. 2000. Efectividad biológica de insecticidas para el control de insectos chupadores en el cultivo del chile (*Capsicum annum* L.) en el altiplano potosino. Biotam Nueva Serie. 13: 47-62
- 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: Triozidae). Agrociencia. 42: 463-471.
- Wallis, R. L. 1955. Ecological studies on the potato psyllid as a pest of potatoes. USDA. Technical Bulletin. 1107:25.
- Wennergren, U., and J. D. Stark. 2000. Modeling long-term effects of pesticides on populations: beyond just counting dead animals. Ecological Applications. 10: 295-302.