



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES

Evaluación del potencial de control biológico del mórdo
***Engytatus varians* (Distant) y determinación de su**
susceptibilidad hacia distintos pesticidas

TESIS

Que presenta:

Daniel Alberto Pérez Aguilar

Como requisito para obtener el grado de:

Maestro en Producción Agropecuaria con Opción Terminal en el área Agrícola

Director de tesis:

Dr. Samuel Pineda Guillermo

Morelia, Michoacán, Noviembre de 2016.



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo y al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia por haberme apoyado económicamente para poder llevar a cabo este proyecto.

Al Departamento de Entomologia de la Universidad Federal de Lavras que tuvieron a bien recibirme para que realizara una parte de este proyecto de investigación.

Al ingeniero Antonio Tapia por haber compartido su conocimiento y experiencia acerca de la agricultura protegida y del cultivo de tomate en México, informacion que jugó un papel fundamental en la planeación y desarrollo de este proyecto.

A mi asesor, el Dr. Samuel Pineda Guillermo, por la oportunidad, la confianza, por todas esas arduas e incontables horas de trabajo, por su tiempo, comprensión, conocimiento y por todos aquellos consejos tanto a nivel profesional y personal que han contribuido a mi persona para poder realizar este proyecto.

A mis sinodales:

Dra. Ana Mabel Martinez Castillo, por ese basto conocimiento que tuvo a bien compartir conmigo, por ese ejemplo de dedicación y por esas palabras de apoyo que nunca sobraron.

Dr. José Isaac Figueroa de la Rosa, por la paciencia que tuvo al enseñarme el mundo de los insectos, por los consejos, las charlas y por compartir ese preciso conocimiento en la rama de la taxonomía.

Dr. Benjamin Gomez Ramos, por toda esa paciencia al mostrarme las bondades de la estadística.

Dr. Geraldo Andrade Carvalho. Muito obrigado pela oportunidade, para que eu pudesse conhecer um país tão maravilhoso como o Brasil, onde tive a oportunidade de conhecer sua cultura e pessoas muito boas, simplesmente uma das melhores experiências que moldaram a minha vida. Gostei demais.

A todos mis compañeros-amigos-colegas del Laboratorio de Entomologia Agrícola, esta travesia no hubiera sido lo mismo sin ustedes. Muchas Gracias

DEDICATORIAS

*Entrena mientras ellos duermen,
estudia mientras ellos se divierten,
persiste mientras ellos descansan
y viviras lo que ellos solo sueñan.*

Muhammad Ali

Quiero dedicar este logro a mi familia por haber creído en mí , en especial a mis padres quienes han sido pilar fundamental en mi formación profesional, por haberme brindado todo ese apoyo cuando el camino parecía largo y difícil. También a esos verdaderos amigos y a todas esas personas que están, o estuvieron conmigo durante esta etapa de mi vida.

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	ii
NOTA AL LECTOR	iii
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. ANTECEDENTES GENERALES	4
2.1 El cultivo de tomate.....	4
2.2 El cultivo de tomate en México.....	4
2.3 Principales plagas del tomate	5
2.3.1 El psílido del tomate <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc.).....	7
2.3.2 Distribución e importancia económica.....	7
2.3.3 Morfología y ciclo de vida	8
2.3.4 Plantas hospederas.....	10
2.3.5 Daños causados por <i>Bactericera cockerelli</i>	11
2.3.5.1 Directos.....	11
2.3.5.2 Indirectos	11
2.3.5.2.1 Permanente del tomate.....	12
2.3.5.2.2 Punta morada de la papa.....	12
2.3.5.2.3 Zebra chip.....	12
2.3.6 Métodos de control de <i>Bactericera cockerelli</i>	13
2.3.6.1 Control Biológico	13
2.3.6.1.1 Parasitoides.....	14

2.3.6.1.2 Entomopatógenos	14
2.3.6.1.3 Depredadores	14
2.4 Familia Miridae	15
2.4.1 Tribu Dicyphini	15
2.4.2 Zoofitofagia	16
2.4.3 Míridos zoofitófagos como agentes de control biológico	17
2.5. <i>Engytatus varians</i>	20
2.5.1 Distribución de <i>E. varians</i>	21
2.5.2 Morfología y ciclo de vida	21
3. LITERATURA CITADA.....	23
OBJETIVO DE LA TESIS	39
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	39
CAPÍTULO II	40
Impact of zoophytophagous predator <i>Engytatus varians</i> on <i>Bactericera cockerelli</i> control.....	40
Abstract.....	40
1. Introduction	41
2. Materials and Methods	43
2. 1. Insects and rearing	43
2.2. Plant material and experimental design	43
2.3. Experimental conditions and tomato cultivation practices	45
2.4. Evaluations.....	46
2.5. Statistical analysis.....	47
3. Results	47
3.1. <i>Bactericera cockerelli</i> population densities.....	47

3.2. <i>Engytatus varians</i> population densities	50
3.3. Necrotic rings.....	50
4. Discussion.....	51
5. References	56
CAPÍTULO III	63
Lethal and sublethal effects caused for some insecticides on <i>Engytatus varians</i> , a predator of <i>Tuta absoluta</i>	63
Abstract.....	63
1. Introduction	64
2. Materials and Methods	65
2.1. Insects and rearing	65
2.2. Chemicals.....	66
2.3 Lethal and sublethal effects: treatment of nymphs and adults in laboratory ...	66
2.4 Semifield test of persistence	69
2.5. Data analysis	70
3. Results	70
3.1 Lethal effects on nymphs and adults in laboratory	70
3.2. Sublethal effects on nymphs and adults.....	72
3.3. Semifield test of persistence	72
4. Discussion.....	74
5. References	77

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Plagas del cultivo de tomate en México.....	6
Figura 2. Distribución y estados de vida de <i>B. cockerelli</i>	9
Figura 3. Daños causados por <i>B. cockerelli</i>	12
Figura 4. Daños provocados por <i>N. tenuis</i>	19
Figura 5. Ciclo de vida de <i>Engyatus varians</i>	22

CAPÍTULO II

Figure 1. Temperature and relative humidity in the greenhouse during the experiment.....	46
Figure 2. Populations densities (mean \pm SE) of adults and nymphs of <i>B. cockerelli</i> , and adults and nymphs of <i>E. varians</i>	48
Figure 3. Necrotic rings/leaf (mean \pm SE) in different weeks in the treatments where were released 0, 1 and 4 adults <i>E. varians</i> /plant	51

CAPÍTULO III

Figure 1. Mortality (mean \pm SE) caused by 2 h- and 12-days old residues of thiamethoxam, chlorfenapyr, and abamectin on third-fourth instar <i>Engytatus varians</i> when applied at their maximum field recommended concentration on tomato plants in greenhouse.	74
---	----

INDICE DE CUADROS

CAPITULO I

Cuadro 1. Duración promedio de los diferentes estados de vida de <i>B. cockerelli</i>	10
---	----

CAPÍTULO II

Table 1. Average (\pm SE) of nymphs and adults of <i>B. cockerelli</i> , nymphs and adults of <i>E. varians</i> , and necrotic rings accumulated per day for treatments receiving 0, 1 and 4 <i>E. varians</i> per plant.	49
---	----

CAPÍTULO III

Table 1. Insecticides, active ingredients, concentrations, and manufacturers used for effects on <i>Engytatus varians</i> in this study.....	67
Table 2. Effects of five insecticides on third-fourth instar of <i>E. varians</i> after continuous exposure to fresh residue in glass Petri dishes.	71
Table 3. Effects of five insecticides on <i>E. varians</i> adults after continuous exposure to fresh residue in glass Petri dishes.....	71
Table 4. Adult longevity and offspring from nymphs and adults of <i>E. varians</i> treated with insecticides	73

NOTA AL LECTOR

El programa de Maestría en Producción Agropecuaria, sancionado por el H. consejo Universitario con fecha 15 de Marzo de 2013; establece los lineamientos para su operación en su plan de estudios. Determinando en el artículo 28 de las reglas complementarias los requisitos para la obtención del grado que a la letra dice: *Artículo 28. Requisitos para la obtención del grado. Se otorgará el grado de “Maestría en Producción Agropecuaria”, con cualquiera de las siguientes opciones: “Agrícolas”, “Pecuaria”, “Forestal”, “Acuícola” o “Agronegocios” al alumno que cumpla con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento General de Estudios de Posgrado y con los siguientes requisitos:*

a) Haber cubierto la totalidad de los créditos.

b) Haber entregado y defendido el proyecto de Tesis el cual se define de la siguiente manera

c) PROYECTO TERMINAL (TESIS). Es un informe académico que se deriva de los estudios realizados y, de acuerdo con el CONACYT (2006), es de carácter profesional, docente o empresarial, en el que el estudiante debe demostrar el dominio de las competencias adquiridas. Es un informe producto del trabajo que puede ser de carácter profesional, experimental o empresarial, según la modalidad escogida por el estudiante (ver anexo 2), donde tiene que demostrar el dominio de las competencias adquiridas en el programa de la maestría y deberá responder a una problemática relacionada con el área y relevante en nuestro contexto a la cual contribuya a solucionar.

A su vez el anexo 2 de dicho plan de estudios es más específico al explicar las alternativas para la realización del proyecto de tesis, como a continuación se describe: *Anexo 2 Alternativas para la realización del proyecto de tesis del PMPA Debido a la diversidad de opciones y a los requerimientos de flexibilización de los planes de estudio de esta maestría, se plantean diferentes modalidades para el desarrollo del Proyecto de Tesis, el cual busca dar respuesta a las demandas del campo productivo, así como a los intereses y aptitudes del estudiante.*

El objetivo de este anexo es clarificar las características generales de cada modalidad que sirvan de guía para que a los Comités Revisores, conformados adhoc, quienes delimitaran los requisitos, exigencias, aspectos a abordar y los estándares mínimos de calidad requeridos. El proyecto de tesis podrá realizarse a través de alguna de las siguientes opciones:

1. ESTUDIO DE CASOS

Es un análisis de una entidad, fenómeno o unidad social de naturaleza particularista, descriptiva y heurística, basada en el razonamiento inductivo. Es particularista porque se centra en una situación, evento o fenómeno específico, el cual en sí mismo es importante por lo que revela del fenómeno y lo que pueda representar. Es descriptivo, porque el producto final es una representación rica y densa del fenómeno a investigar y es heurística, porque ilumina la comprensión del lector del fenómeno objeto de estudio, lo que puede llevar a descubrir nuevos significados, ampliar la experiencia o confirmar lo que se sabe (Pérez 2001). El estudio de casos puede ser de una empresa, de una actividad productiva, etc. Los estudios de casos cualitativos son estudios que involucran la exploración detallada a lo largo de un periodo de tiempo, lo suficientemente extenso, que permita el entendimiento profundo del objeto de estudio y del contexto en que este se ubica, por medio de métodos múltiples de recolección de datos y múltiples fuentes de información altamente contextualizadas (Cresswell 1998). Es aplicable en innumerables campos donde se trate de combinar eficazmente la teoría de la práctica.

2. ESTUDIOS ECONOMICOS

Los estudios de este tipo son componentes importantes de la investigación acerca de la efectividad y establecimiento de políticas en los niveles federal, estatal y local en diversos tipos de sistemas educativos. Su propósito es entender los efectos de reformas o políticas en relación con sus costos, contribuciones de la educación al crecimiento económico y al desarrollo, así como acerca del entorno no monetario en educación (Coombs 1994).

3. PROYECTOS DE DESARROLLO TECNOLOGICO

Estos proyectos involucran un proceso de cambio, por medio del cual se intenta alcanzar los objetivos de la actividad productiva con los más altos niveles de logro. Se caracterizan por realizar una descripción especializada de un caso, organizado de acuerdo con las líneas del posgrado. Los aspectos básicos que debe contener el análisis serán: describir el contexto situacional del caso, los principales factores involucrados, los conceptos que se aplican con base en las perspectivas disciplinares actuales, la explicación de los elementos que justifiquen el qué, cómo y cuándo de la problemática, la delimitación de la problemática analizada donde se deben definir sus fronteras e identificar los factores o variables que ocasionan obstáculos en el desarrollo de la institución; así como el análisis de las interrelaciones de los factores o variables seleccionadas.

4. DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y MEDICIÓN PRODUCTIVA

Consiste en el diseño, desarrollo y validación de un instrumento, técnica o estrategia de evaluación y medición, con sus propiedades, limitaciones y fortalezas reportadas; así como sus indicadores de confiabilidad y validez.

5. PROGRAMAS DE PREVENCIÓN E INTERVENCIÓN

Consiste en el proyecto de atención, solución y prevención de problemas productivas, documentados a través de acciones que evidencien la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes durante el programa de estudio. Será necesario implementar el proyecto (aun en fases piloto o preliminares) y evaluar sus resultados.

6. OTROS

*Cualquier otro proyecto propuesto del estudiante por el visto bueno de su asesor, aprobado por el Comité tutorial. Por tanto este documento podrá ser de la naturaleza descrita con antelación y con ello cumplir con el objetivo y el enfoque Profesionalizante del programa. **La Coordinación Académica del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria con opción terminal en el Área: Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Agronegocios.***

RESUMEN

En este trabajo, se evaluó, bajo condiciones de invernadero, el potencial de control biológico del depredador *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae) sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae), una de las plagas de mayor importancia en cultivos de solanáceas, a través de la liberación de 1 y 4 adultos de *E. varians* (Ev)/planta más un testigo que no recibió liberación del depredador, en jaulas que contenían plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Miller). Se observó una reducción del 80 y 90% tanto de ninfas como de adultos de *B. cockerelli* cuando se liberó 1 y 4 Ev/planta, respectivamente. Se observaron alrededor de 30, tanto ninfas y adultos de *E. varians* acumulados por día en jaulas donde se liberó el depredador. El número de anillos necróticos/hoja fue inversamente proporcional a la presencia de la presa y fue más evidente en la dosis de mayor liberación. La segunda parte de este proyecto se enfocó en determinar los efectos letales y subletales causados por varios insecticidas usados en el cultivo de tomate para controlar a la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) sobre *E. varians*. Los residuos de clorfenapir, tiametoxam, abamectina e imidacloprid en caja Petri causaron una mortalidad >90% tanto en ninfas como en adultos del depredador a las 72 h, con excepción de este último compuesto que causó 78% en ninfas. Teflubenzuron causó 24 y 66% de mortalidad sobre los adultos y ninfas, respectivamente. La descendencia de hembras provenientes de ninfas tratadas con teflubenzuron fue significativamente menor que la del testigo, pero no cuando las hembras se trataron como adultos. Teflubenzuron redujo significativamente la longevidad de los machos provenientes de ninfas tratadas comparada con la observada en el testigo, pero no hubo ningún efecto sobre las hembras. Cuando los machos y las hembras se trataron como adultos con teflubenzuron no hubo ningún efecto sobre su longevidad comparado con el testigo. En los residuos sobre plantas de tomate en invernadero, los residuos de 2 h de edad de tiametoxam, clorfenapir y abamectina causaron una mortalidad mayor al 70% sobre las ninfas de tercer y cuarto instar de *E. varians* a las 72 h postratamiento, mientras que en los residuos de 12 días de edad la mortalidad fue menor al 30% para los tres compuestos. Los resultados del presente estudio demostraron que *E. varians* puede controlar efectivamente las poblaciones de *B. cockerelli* bajo condiciones de invernadero y los datos obtenidos sobre los efectos letales y subletales sugieren que los insecticidas evaluados deben usarse cuidadosamente en programas de manejo integrado de *T. absoluta*.

Palabras clave: Zoofitofagia, depredación, pesticidas, efectos letales y subletales, semicampo.

ABSTRACT

The potential for biological control of *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae) on *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae), one of the most serious pests of solanaceous crops, was evaluated using 1 and 4 adults of *E. varians* (Ev)/plant plus a control that received no predator release, in cages containing tomato (*Solanum lycopersicum* Miller) plants under greenhouse conditions. A reduction of 80 and 90% of both nymphs and adults of *B. cockerelli* was observed when 1 and 4 Ev/plant were released, respectively. Around 30 of both nymphs and adults of *E. varians* accumulated per day were observed in cages where predator was released. The number of necrotic rings/leaf was inversely proportional to presence of the prey, but it was more strongly observed in the higher release rate. The second part of this project was focused to determinate the lethal and sublethal effects caused for several insecticides used in the tomato crop for controlling *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) on *E. varians*. Glass Petri dish residues of chlorfenapyr, thiamethoxam, abamectin, and imidacloprid caused >90% mortality on both nymphs and adults of the predator at 72 h, with exception to the last compound that caused 78% on nymphs. Teflubenzuron caused 24 and 66% mortality on adults and nymphs, respectively. The offspring of females derived from treated nymphs with teflubenzuron was significant lower than the control but not when females were treated as adult. Longevity of males derived from nymphs treated with teflubenzuron was significant reduced compared with the control, but not effects were observed on females. When males and females were treated as adults with teflubenzuron there were not effects on their longevity compared to control. In the greenhouse-aged tomato plants, the 0 days-old residues of thiamethoxam, chlorfenapyr, and abamectin caused more than 70% of mortality of third-fourth instar of *E. varians* at 72 h posttreatment, while at 12 days-old, the mortality was lower than 30% for all three compounds. Our results have demonstrated that *E. varians* can effectively controlling the populations of *B. cockerelli* under greenhouse conditions, and by the other hand, data about lethal and sublethal effects suggest that chlorfenapyr, thiamethoxam, abamectin, imidacloprid, and teflubenzuron should be carefully used in integrated pest management programs of *T. absoluta*.

Keywords: Zoophytophagy, predation, pesticides, lethal and sublethal effects, semi-field.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente, el tomate (*Solanum lycopersicum* L) se considera el segundo vegetal más importante en el mundo debido a su valor de producción y generación de empleos. México es el principal exportador mundial de tomate a los Estados Unidos de América, Canadá, y otros países europeos, ya que es responsable de 2.8 millones de toneladas, con una superficie de ~ 52.000 hectáreas (FAOSTAT 2014a, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] 2014). A nivel mundial, los principales países productores son China, India y Estados Unidos de América, mientras que México se encuentra en el décimo lugar, con alrededor de 3.2 millones de toneladas anuales (FAOSTAT 2014b), siendo los principales estados productores Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán (SIAP 2014, 2015).

El cultivo de tomate es atacado por una gran diversidad de insectos plaga, entre los que destaca el psílido del tomate, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae), el cual ha sido reportado como una de las principales plagas en otros cultivos de solanáceas como papa (*Solanum tuberosum* L.) y chile (*Capsicum annuum* L.). Este insecto causa doble daño en la planta; un daño directo al momento que se alimenta de la savia provocando amarillamiento temporal (Bujanos *et al.* 2005), e indirecto al ser trasmisor de fitoplasmas que provocan las enfermedades “permanente del tomate” y “punta morada de la papa”, mismas que causan pérdidas hasta del 40% (Garzón *et al.* 2005). *Bactericera cockerelli* también es trasmisor de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (= *Candidatus Liberibacter psyllauros*), la cual está asociada con la enfermedad conocida como “zebra chip” en tubérculos de papa (Hansen *et al.* 2008; Liefting *et al.* 2008, 2009; Lin *et al.* 2009), chile y tomate (Camacho-Tapia *et al.* 2011, Hansen *et al.* 2008). Esta enfermedad ha causado pérdidas de millones de dólares en la industria de la papa frita en los Estados Unidos de América (Munyanza *et al.* 2007).

En los distintos sistemas agrícolas, se encuentra una gran diversidad de organismos benéficos que ayudan a regular las poblaciones de insectos plaga, es el caso de la chinche *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae), la cual fue reportada recientemente en el

estado de Michoacán, México, depredando ninfas y huevos de *B. cockerelli* (Martínez *et al.* 2014, Velázquez *et al.* 2014, 2015, Medina 2014).

Engytatus varians pertenece a la tribu Dicyphini. Algunas de las especies que integran a esta tribu tienen hábito zoofitófago; es decir, pueden alimentarse de insectos presa, así como de la planta huésped (Martínez *et al.* 2014). Algunas especies de míridos depredadores que pertenecen a esta tribu pueden encontrarse en los cultivos agrícolas de manera natural a principios de la temporada o, utilizando diversas estrategias, pueden ser liberados para establecerse en los mismos con el fin de controlar algunas especies de insectos plaga (Gabarra *et al.* 2004; Calvo *et al.* 2009; Calvo *et al.* 2012). Sin embargo, en programas de manejo integrado de plagas (MIP) es frecuente combinar el uso de enemigos naturales e insecticidas químicos para evitar que las poblaciones de los insectos plaga alcancen niveles inaceptables y causen daños económicos a los cultivos. Además, es bien sabido que los enemigos naturales, entre ellos los depredadores, son más susceptibles a los plaguicidas, no sólo por la mortalidad que algunos compuestos puedan causar a estos artrópodos, sino también por los efectos secundarios sobre su fisiología y comportamiento, los cuales pueden tener consecuencias significativas sobre algunos parámetros biológicos y así interferir con la eficacia en su rol de agentes controladores naturales (Desneux *et al.* 2007). Por lo tanto, la compatibilidad entre insecticidas y enemigos naturales, es un punto crítico para lograr mantener las poblaciones de insectos plaga en niveles que no repercutan en pérdidas económicas.

Actualmente, no existen estudios del impacto de insecticidas químicos sobre *E. varians*. Sin embargo, existe información disponible acerca de los efectos letales y subletales que algunos pesticidas pueden causar a otras especies de miridos depredadores tales como *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) y *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) (Arno y Gabarra 2011; Amor *et al.* 2012; Fernandez *et al.* 2012; Martinou *et al.* 2014).

Con base a lo anterior, en este estudio se evaluó la efectividad de *E. varians* como agente controlador de *B. cockerelli* y el daño que este depredador pueda ocasionar a las plantas de tomate en condiciones de invernadero. También se evaluaron los efectos letales (mortalidad directa) y subletales (longevidad de adultos y progenie) causados por cinco

insecticidas comúnmente utilizados en cultivo de tomate (abamectina, clorfenapir, imidacloprid, teflubenzuron y tiametoxam) sobre este depredador.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 El cultivo de tomate

El cultivo del tomate es una de las principales hortalizas cultivadas en el mundo debido a que posee un alto valor nutrimental, tiene una amplia variedad de usos para el consumo ya que es utilizado como ingrediente principal en diversos alimentos tales como jugos, pastas y bebidas entre otros, además posee un alto valor comercial por unidad de superficie cultivada (Cruz *et al.* 2013; Fernández *et al.* 2004).

A nivel mundial, el cultivo de tomate es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa; en 2014 más del 50% de la producción se concentró en cuatro países: China (30%), India (12%) Estados Unidos de América (8%) y Turquía (7%). A escala mundial existen ~4.7 millones de hectáreas de superficie sembradas con este cultivo lo que representa una producción de 164.5 millones de toneladas al año (FAOSTAT 2014a).

2.2 El cultivo de tomate en México

México se encuentra en el décimo lugar a nivel mundial en producción de tomate (FAOSTAT 2014a); sin embargo, ocupa el primer lugar en exportación, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y comunicados de prensa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (FAOSTAT 2014b, SAGARPA 2015); siendo su principal mercado Norteamérica (Estados Unidos de América y Canadá) con un 98% del total exportado. Para México, el tomate es la segunda hortaliza más importante después del chile. Los estados con mayor aportación son Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Zacatecas, que en conjunto totalizan un poco más del 50% de la producción nacional (SIAP 2015). Las variedades de tomate más importantes y producidas, en campo abierto y agricultura protegida (invernadero), son Saladette (mayor demanda), seguido por Bola (Steak), Cereza (cherry) en racimo y otras como Mimi y Campari (SAGARPA 2011b), siendo la variedad Cherry la de mayor exportación a Estados Unidos, Canadá y Japón (INEGI 2009).

El cultivo del tomate en el estado de Michoacán es importante porque genera divisas e impulsa la economía de las regiones donde se produce. Por otra parte, en las últimas décadas se ha expandido la producción de hortalizas en invernaderos que utilizan sistemas

hidropónicos y fertirriego. Estos sistemas de irrigación reducen las limitaciones dadas por el clima, agua y nutrientes. Recientemente, se ha incrementado el establecimiento de invernaderos dedicados a la producción de tomate en hidroponía en el estado de Michoacán. El potencial de producción por hectárea en invernadero es de aproximadamente 400 toneladas por hectárea al año; sin embargo, en algunos invernaderos aún no se ha alcanzado dicho potencial, debido principalmente a la presencia de enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y distintas especies de insectos plaga (Rodríguez *et al.* 2011).

2.3 Principales plagas del tomate

Los cultivos agrícolas han presentado una gran diversidad de problemas fitosanitarios. Por ejemplo, el cultivo del tomate es afectado por un gran número de insectos plaga y enfermedades, además de ser susceptible a algunos desórdenes fisiológicos. Entre las plagas más importantes del cultivo de tomate en México se encuentran algunos hemípteros como las moscas blancas *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Fig. 1A) y *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) (Fig. 1B), el psílido del tomate *B. cockerelli* (Fig. 1C), algunos áfidos como *Myzus persicae* (Sulzer) (Fig. 1D), *Aphis gossypii* (Glover) (Fig. 1E), *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) (Fig. 1F) y *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) (Fig. 1G); algunos lepidópteros como el gusano del fruto *Helicoverpa zea* (Boddie) (Fig. 1H), gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (Fig. 1I) y *Keiferia lycopersicella* (Walsingham) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Fig. 1J), dípteros como el minador de la hoja, *Liriomyza sativae* (Blanchard) (Fig. 1K), *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) (Fig. 1L), trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) (Fig. 1M), además de algunos ácaros, entre los que destacan la araña roja, *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae) (Fig. 1N) y el ácaro del bronceado del tomate *Aculops lycopersici* (Masse) (Acari: Eriophyidae) (Fig. 1O) (Bayer CropScience 2012).

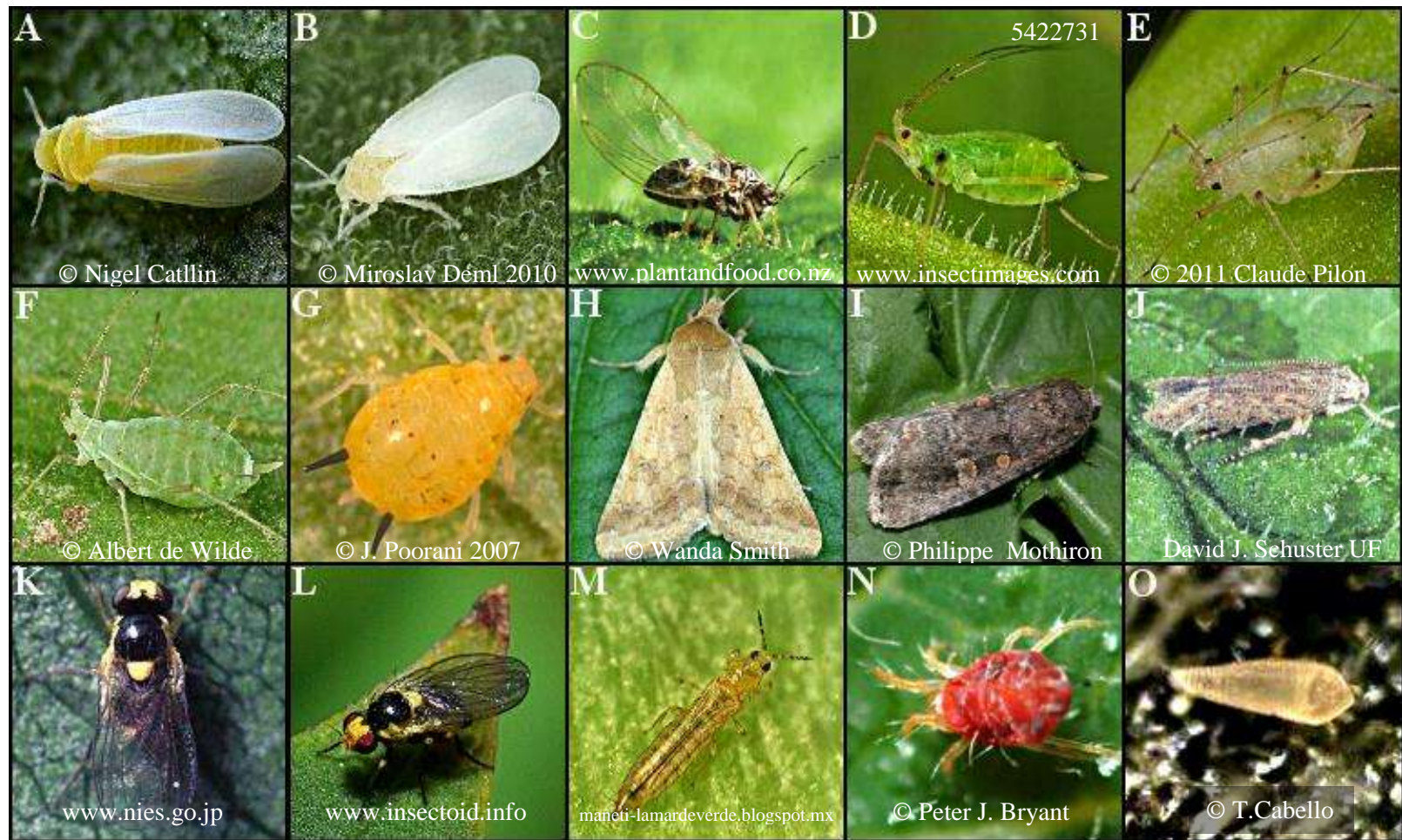


Figura 1. Plagas del cultivo de tomate en México. A) *Bemisia tabaci*, B) *Trialeurodes vaporariorum*, C) *Bactericera cockerelli*, D) *Myzus persicae*, E) *Aulacorthum solani*, F) *Macrosiphum euphorbiae*, G) *Aphis gossypii*, H) *Helicoverpa zea*, I) *Spodoptera exigua*, J) *Keiferia lycopersicella*, K) *Liriomyza sativae*, L) *Liriomyza trifolii*, M) *Frankliniella occidentalis*, N) *Tetranychus urticae*, O) *Aculops lycopersi*.

2.3.1 El psílido del tomate *Bactericera cockerelli* (Sulc.)

Este insecto se registró por primera vez en 1909 en el estado de Colorado, Estados Unidos de América por el investigador Cockerell (Butler y Trumble 2012a), se le denominó como *Trioza cockerelli* y en ese mismo año se reclasificó como *Paratrioza cockerelli* (Ramírez *et al.* 2008, Rubio *et al.* 2006). Actualmente, se reconoce como *B. cockerelli*, pertenece al Orden: Hemiptera; Suborden: Sternorrhyncha; Superfamilia: Psylloidea y Familia: Triozidae. Es conocido comúnmente como pulgón saltador, salerillo, psílido de la papa y/o tomate.

2.3.2 Distribución e importancia económica

Bactericera cockerelli es originario del oeste de los Estados Unidos de América y fue descubierta como una plaga importante en cultivos de papa en Colorado por el Dr. T. D. Cockerell y reportada por Sulcer (1909). De acuerdo con Abdullah (2008) la presencia, por primera vez, de este psílido en California fue en 1940 y posteriormente, debido a las condiciones climáticas inusuales, se reportó en el medio oeste de los Estados Unidos en 1970. Hasta el 2001 no se habían reportado brotes de gran importancia, sin embargo, es a partir de este año que comienzan a darse una serie de brotes subsecuentes en los cultivos de papa y tomate (Leyva-López *et al.* 2002; Hamm *et al.* 2003; Liu y Trumble, 2004, 2005), incluyendo algunos casos en Canadá (Ferguson y Shipp, 2002).

Actualmente, este insecto cuenta con una distribución muy amplia, desde Norteamérica en países como Canadá (Alberta, Columbia Británica, Ontario, Quebec, Saskatchewan), Estados Unidos de América (Arizona, California, Colorado, Idaho, Kansas, Minnesota, Montana, Nebraska, Nevada, Nuevo Mexico, Dakota del Norte, Oklahoma, Dakota del Sur, Texas, Utah, Wyoming) y México (EPPO 2009), en parte de Centroamérica como Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua (EPPO 2013, Rehman *et al.* 2010, Bextine *et al.* 2013a, Bextine *et al.* 2013b, Munyaneza *et al.* 2015) y más recientemente en Nueva Zelanda y la Isla Norfolk (Teulon *et al.* 2009, Walker *et al.* 2015) (Fig. 2A)

En el 2006 *B. cockerelli* representó un serio problema en cultivos de papa en Guatemala y Honduras donde fue asociado con la decoloración y daño de tubérculos (Abdullah, 2008). En México, la presencia de *B. cockerelli* se documentó en 1947 en solanáceas en los estados de Durango, Estado de México, Guanajuato, Michoacán y

Tamaulipas (Plesch, 1947). A partir de 1970 esta especie se considera una plaga primaria de los cultivos de papa, chile y tomate (Garzón *et al.* 1992; Garzón, 2003). En el Estado de Guanajuato *B. cockerelli* mermó 60% de la producción de tomate en 1990, y en consecuencia 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 donde los daños se han calculado hasta en 65% (Díaz *et al.* 2005). A finales de los 90's en el noreste de México, se reportaron pérdidas de 35% en la calidad del producto, destinado tanto al mercado fresco como a la industria por el manchado interno del tubérculo debido al síndrome de la punta morada (Rubio *et al.* 2011).

2.3.3 Morfología y ciclo de vida

En general, los psílidos se reproducen sexualmente, aunque en algunas poblaciones se ha observado la partenogénesis (Hodkinson 2009). *Bactericera cockerelli* pasa por una metamorfosis hemimetábola: huevo, ninfa y adulto. Generalmente, la proporción de sexos en las poblaciones naturales es de 1:1 (hembra: macho) (Bayer CropScience, 2005). El estado de huevo es de forma ovoide, de color anaranjado-amarillento, corion brillante; presenta en unos de sus extremos un pequeño filamento con el cual se adhieren a la superficie de las hojas (Fig. 2B). Los cinco instares ninfales tienen forma oval, aplanados dorso-ventralmente, con ojos bien definidos (Fig. 2C–G). Los adultos, al emerger, presentan una coloración verde-amarillento; son inactivos, alas blancas, que después de 3 ó 4 h de la eclosión se tornan transparentes (Bujanos y Ramos 2015). La coloración del cuerpo pasa de ligeramente ámbar a café oscuro (Bujanos *et al.* 2005, Ramírez *et al.* 2008, Vargas 2010). La hembra posee abdomen con cinco segmentos visibles más el segmento genital, éste último de forma cónica en vista lateral (Fig. 2H). En la parte media dorsal se presenta una mancha en forma de “Y” con los brazos hacia la parte terminal del abdomen. El abdomen del macho tiene seis segmentos visibles, más el genital; éste último se encuentra plegado sobre la parte media dorsal del abdomen (Fig. 2I).

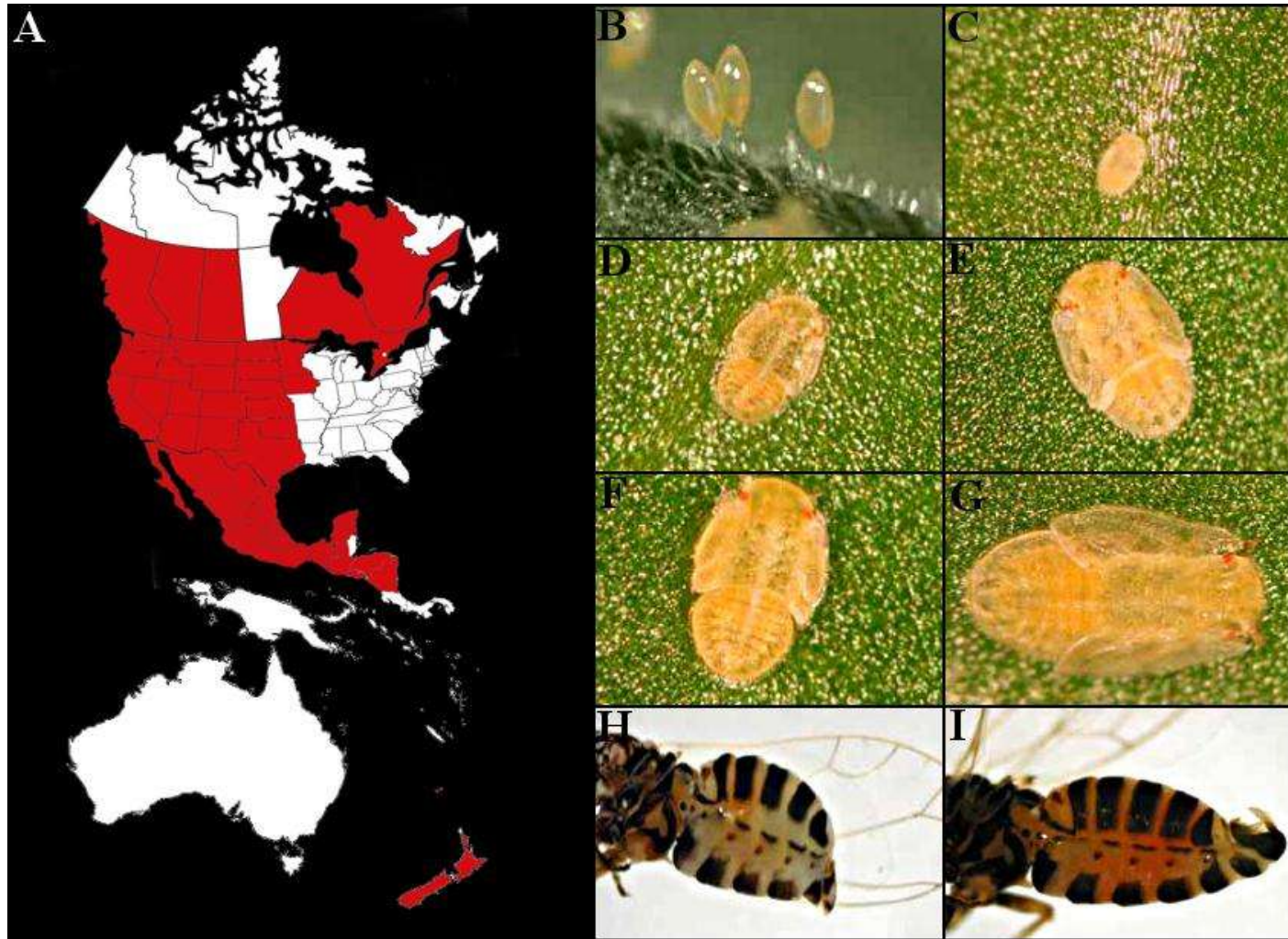


Figura 2. A) Distribución y estados de vida de *B. cockerelli*. B) Huevo, C) Primer, D) Segundo, E) Tercer, F) Cuarto, G) Quinto estadio de *B. cockerelli*, Diferencia entre H) macho y I) hembra. Fotografías de Antonio Marín. Tomadas de Bujanos y Ramos (2015).

En vista dorsal se distinguen los genitales del macho, los cuales tienen estructuras en forma de pinza (Marín *et al.* 1995).

El ciclo de vida de *B. cockerelli* varía de acuerdo a la temperatura; de 16 – 27 ° C completa su ciclo en 25 días. Las hembras ovipositan durante 21 días hasta 500 huevecillos (Liu y Trumble 2006). Posteriormente, las ninfas eclosionan y en 21 días completan los cinco estadios ninfales (Bayer CropScience 2005) (Cuadro 1). Requieren de 356 unidades de calor (UC) para completar su ciclo de vida: 72 UC el estado de huevo, 204 UC para el desarrollo de los diferentes estadios ninfales y 80 UC para la emergencia del adulto (Cranshaw 1993).

Cuadro 1 Duración promedio de los diferentes estados de vida de *B. cockerelli* (Bayer CropScience 2005).

Estados de desarrollo	Duración (días)
Huevo	5.5
Ninfa	
Primer ínstar	4.1
Segundo ínstar	3.6
Tercer ínstar	4.1
Cuarto ínstar	3.6
Quinto ínstar	6.1

2.3.4 Plantas hospederas

Bactericera cockerelli es un insecto polífago ya que se puede desarrollar sobre plantas de hasta 20 familias (EPPO 2013). A mediados de los años 30's se publicó que *B. cockerelli* prefería, para su oviposición y alimentación, a las plantas de la familia Solanaceae; entre ellas *S. lycopersicum*, *C. annuum* y *S. tuberosum* (Bujanos *et al.* 2005; Avilés *et al.* 2007). Sin embargo, se sabe que este insecto también ataca especies de las familias Amaranthaceae, Asclepiadaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Violaceae, Chenopodiaceae, Convolvulaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Lycophyllaceae, Malvaceae, Menthaceae, Pinaceae, Poaceae, Polygonaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Salicaceae, Scrophulariaceae y Zygophollaceae (Aviles *et al.* 2007).

2.3.5 Daños causados por *Bactericera cockerelli*

2.3.5.1 Directos

Bactericera cockerelli es una plaga que afecta a sus plantas hospederas a través de la alimentación. Tiene un aparato bucal picador–chupador que está conformado por un estilete compuesto por dos conductos; uno de entrada y uno de salida. En la planta, las ninfas y/o adultos introducen el estilete hasta el floema; por uno de los conductos el insecto succiona la savia de la planta y por otro inyecta su saliva. Este tipo de alimentación produce daños directos a las plantas, como amarillamiento de hojas, entrenudos acortados y retraso en el crecimiento (Munyanza *et al.* 2007).

El daño directo es causado principalmente por las ninfas debido a la inyección de toxinas, inducen síntomas en las hojas de las plantas que se conoce como “amarillamiento del psilido” en cultivo de tomate y papa, el cual puede causarle el manchado del tubérculo (Hansen *et al.* 2008). En tomate, papa y chile los daños ocasionados por las ninfas pueden matar a las plantas si se establecen antes de su floración. En las hojas colonizadas por las ninfas se ha encontrado una actividad anormal tipo hormonas. Las plantas se ven amarillentas y raquílicas, con merma de rendimiento y frutos o tubérculos pequeños, de poca calidad comercial (Garzón 2002). Además, debido a la constante alimentación de este insecto, las ninfas y adultos secretan grandes cantidades de mielecilla (Fig. 3A), la cual es un sustrato favorable para el crecimiento de hongos (fumaginas) (Fig. 3B) que obstruyen el proceso de fotosíntesis (Hodkinson 2009),

2.3.5.2 Indirectos

En México, desde el año 2000 se consideró a *B. cockerelli* como una plaga importante en cultivos de tomate, papa y chile, debido a que es transmisor de organismos procariotes y fitoplasmas (Beltran 2014; Garzón *et al.* 2005). Convirtiéndolo en uno de los principales vectores de algunas enfermedades (Garzón 2002). Se ha relacionado a *B. cockerelli* con las enfermedades “permanente en tomate”, “punta morada de la papa (PMP)” (Rubio *et al.* 2006) y “zebra chip” (ZCh) en papa (Rubio *et al.* 2006).



Figura 3. Daños causados por *B. cockerelli*. A) Acumulación de mielecilla sobre las hojas de tomate, B) Crecimiento de hongos sobre hojas de tomate (fumagina), C) Permanente del tomate, D) Punta morada de la papa, E) y F) Síntomas de la enfermedad zebra chip en un tubérculo fresco y papas fritas, respectivamente

2.3.5.2.1 Permanente del tomate

Esta enfermedad inicia con una clorosis de los bordes y enrollamiento de las hojas inferiores que adquieren una estructura quebradiza (Fig. 3C). También causa caída de las flores. La enfermedad “permanente del tomate” detiene el desarrollo de las plantas, son más verdes de lo normal y finalmente se tornan amarillentas, secándose por fungosis en la raíz, causada por el debilitamiento de la planta y mayor susceptibilidad al ataque de otros patógenos (Garzón *et al.* 2005).

2.3.5.2.2 Punta morada de la papa

Los síntomas de la enfermedad PMP se caracterizan por un achaparramiento de la planta, abultamiento del tallo en los lugares de inserción de las hojas, formación de tubérculos aéreos y las hojas superiores tienden a adquirir una coloración morada en algunas variedades (Fig 3D). Los tubérculos provenientes de plantas con síntomas de esta enfermedad desarrollan un pardeamiento interno y generalmente no brotan, o si lo hacen, sus brotes son muy delgados o ahilados (Rubio *et al.* 2011).

2.3.5.2.3 Zebra chip

Esta enfermedad es ocasionada por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Sin. *Ca. L. psyllaurous*). *Bactericera cockerelli* es el principal vector de este patógeno, aunque

esta bacteria también se transmite por injerto (Crosslin y Munyaneza 2009) no hay reportes que indiquen la transmisión mecánica (CESAVEG 2011). Esta bacteria tampoco se transmite a través de la semilla de plantas infectadas (Babu *et al.* 2015)

Los principales hospedantes de esta enfermedad son los cultivos de papa, tomate y chile. En papa ocasiona síntomas como enrollamiento de las hojas hacia el haz, amarillamiento del follaje, entrenudos cortos, coloración púrpura del tejido joven, producción de tubérculos aéreos, reducción del tamaño de los tubérculos y decoloración de los mismos. La parte interna de los tubérculos infectados presenta vetas de color marrón oscuro intenso, de ahí su nombre de “zebra chip” por el manchado similar a las rayas de una zebra (Fig. 3E). Los síntomas son mejor apreciados cuando se fríe la papa (Fig. 3F). En tomate, Zebra chip produce síntomas como amarillamiento, retraso en el crecimiento de la planta y enrollamiento de las hojas. Asimismo, produce la elongación de los tallos, el fruto puede tomar la forma de una fresa y su desarrollo es irregular. Sin embargo, también se pueden tener plantas asintomáticas. En Chile, los síntomas que se presentan son clorosis, distorsión de las hijas, acortamiento de tallos, caída de flores y la muerte progresiva de la planta (CESAVEG 2011).

2.3.6 Métodos de control de *Bactericera cockerelli*

En el control de *B. cockerelli* se han implementado diferentes métodos como el cultural, químico y biológico (Bujanos *et al.* 2005). Las fuertes pérdidas económicas que ha causado esta plaga, ocasionan que en la mayoría de los casos el control esté basado en su totalidad en el control químico, haciendo a un lado la posibilidad de complementarlo con otras estrategias como el control biológico. Sin embargo, el uso excesivo de plaguicidas ha provocado un desequilibrio en los agroecosistemas, salud humana, resurgimiento de plagas secundarias y el desarrollo de resistencia a diferentes grupos toxicológicos (Devine *et al.* 2008; Vega *et al.* 2008).

2.3.6.1 Control Biológico

El control biológico de *B. cockerelli* mediante sus enemigos naturales, es una alternativa que ha obtenido resultados favorables en el control de las poblaciones del psílido del tomate, manteniéndolas por debajo del umbral económico y reduciendo el uso excesivo de plaguicidas (Martínez 2002).

2.3.6.1.1 Parasitoides

Tamarixia triozae Burks (Hymenoptera: Eulophidae) es un ectoparasitoide primario de ninfas que tiene alto potencial como un agente de control biológico sobre *B. cockerelli*, el cual se ha reportado parasitando a diferentes instares ninfales de esta plaga, causando desde 30 a 100% parasitismo en condiciones de laboratorio (Morales *et al.* 2013). También se reportó hasta 80% de parasitismo en cultivos de chile en condiciones de campo en los Valles Centrales de Oaxaca (Bravo y López 2007). El parasitoide *Methaphycus psyllidus* (Compere) (Hymenoptera: Encyrtidae) se alimenta de ninfas de *B. cockerelli*; sin embargo, no se considera un agente potencial para su control (Hansen *et al.* 2008).

2.3.6.1.2 Entomopatógenos

El hongo *Beauveria brongniartii* (Sacc.) (Hypocreales: Cordycipitaceae) es uno de los mejores biocontroladores de *B. cockerelli* debido a que causa mortalidad alta, seguido por *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) y *Beauveria bassiana* Vuill. (Hypocreales: Cordycipitaceae) (Villegas *et al.* 2014). Otros hongos entomopatógenos a los cuales *B. cockerelli* ha mostrado susceptibilidad son *Entomophthora* spp., *Zoophthora* spp. (Entomophthorales: Entomophthoraceae), *Erynia* spp. (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae), *Hirsutella* spp. (Globigerinida: Globorotalliidae), *Hymenostilbe* spp. (Hypocreales: Ophiocordycipitaceae), *Isaria* spp. (Eurotiales: Trichocomaceae), *Fusarium* spp. y *Verticillium* spp. (Hypocreales: Plectosphaerellaceae) (Bujanos *et al.* 2005).

2.3.6.1.3 Depredadores

En investigaciones bajo condiciones de laboratorio se ha observado que los depredadores *Chrysoperla* spp. (Neuroptera: Chrysopidae), *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville, *H. americana* Crotch, *H. lecontei* var *uteana* Casey, *H. quinquesignata* Kirby y *H. tredecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) pueden depredar adultos y mayoritariamente ninfas de *B. cockerelli*. Dentro de los hemípteros depredadores registrados en condiciones de campo para esta plaga se pueden mencionar a *Nabis ferus* L. (Hemiptera: Nabidae), *Geocoris decoratus* Uhler (Hemiptera: Geocoridae), *Orius tristicolor* White y *Anthocoris melanocerus* Reuter (Hemiptera: Anthocoridae), la mayoría de estas especies como depredadores de ninfas y adultos de *B. cockerelli* (Butler y Trumble 2012b).

Recientemente, se registró en el estado de Michoacán, México, una chinche perteneciente a la familia Miridae (Martínez *et al.* 2014).

2.4 Familia Miridae

Dentro del orden Hemiptera se encuentra un grupo de chinches, conocidas también como “chinches verdaderas”, son el grupo más diverso entre los insectos con metamorfosis incompleta. Existen alrededor de 38,000 especies descritas y una cantidad similar aún desconocidas. El suborden Heteroptera se divide en unas 75 familias, que poseen una extrema diversidad biológica y adaptabilidad en el entorno en que se encuentren (Schuh 1995).

La familia Miridae, también conocida como mirdos o chinches de las plantas, tiene amplia distribución en todo el mundo (Wheeler 2001). Existen alrededor de 10,000 especies dentro de 1, 200 géneros (Cassis y Schuh 2012). La mayoría de los mirdos son de hábitos fitófagos y varias especies tienen importancia agrícola ya que pueden ser plagas de cultivos como el algodón, alfalfa, sorgo, guayaba, manzana y aguacate; mientras que otras especies tienen hábitos zoofitófagos y se comportan como depredadores polífagos (Yarita y Cisneros 2010).

Morfológicamente, los mirdos se distinguen fácilmente porque tienen el cúneo claramente separado del resto del hemiélitro y carecen de ocelos. Además, la membrana de las alas presenta una o dos celdas en la base y no posee nerviaciones longitudinales; las antenas presentan cuatro artejos y su inserción es siempre visible dorsalmente; el pico tiene cuatro segmentos y en reposo se adosa sobre la cara ventral del cuerpo (Goula y Alomar 1994).

2.4.1 Tribu Dicyphini

Dentro de la subfamilia Bryocorinae se encuentra la tribu Dicyphini, en la cual se encuentran diversas especies que son potencialmente útiles en el manejo de plagas de una amplia variedad de cultivos (Wheeler y Krimmel 2015).

Los miembros de esta tribu son pequeños (entre 2 y 5.5 mm; longitud total sin antena), de cuerpo generalmente alargado, muy frágiles debido a sus largas patas y antenas. Las tonalidades, en general poco vistosas, suelen ser bastante fijas dentro de un mismo género. Dorsalmente el cuerpo es liso, a menudo provisto de largas setas. Generalmente, los ojos

están alejados del pronoto, el cual tiene una silueta trapezoidal y presenta un grueso collar, característico de la tribu en el margen anterior. Es frecuente que el borde posterior del pronoto sea muy arqueado y deje al descubierto la base del escutelo. Los hemiélitros suelen ser translúcidos y las uñas presentan un diente grueso en la base y amplios pulvilos membranosos (Goula y Alomar 1994).

Los míridos de la tribu Dicyphini con mayor frecuencia se asocian con las plantas que poseen tricomas glandulares y/o tricomas no glandulares densamente distribuidos, o en algunos casos con hospederos que tienen cualidades tóxicas, tales como altas concentraciones de alcaloides, ya que poseen adaptaciones morfológicas y en su comportamiento que les han permitido desplazarse y reproducirse sobre este tipo de hospederos (Wheeler y Krimmel 2015).

2.4.2 Zoofitofagia

Dentro del orden Hemiptera existen familias que son zoófagos obligados (ejemplo: Reduviidae, Phymatidae y Nabidae) con gran contribución en el control biológico de plagas ya sea de manera natural o aplicada, y fitófagos obligados (ejemplo: Tingidae y Coreidae) (Coll y Guershon 2002). Sin embargo, existen depredadores zoofitófagos, tal es el caso de algunas especies de pentatómidos pertenecientes a la subfamilia Asopinae (Torres *et al.* 2006) y algunos míridos dentro de la tribu Dicyphini, estos últimos con gran interés debido a su potencial como agentes de control biológico.

La zoofitofagia es un caso especial de omnivoría en el cual los insectos se alimentan tanto de plantas como de presas durante el mismo estado de desarrollo (Castañe *et al.* 2011). Estos depredadores son llamados zoofitófagos (Albajes *et al.* 2006).

Tres modelos han sido propuestos para explicar la relación funcional entre la cantidad de planta y presa consumida por depredadores zoofitófagos (Gillespie y McGregor 2000; Albajes *et al.* 2006). i) los depredadores cambian entre la planta y la presa como fuente de alimento alternativo (ejemplo: las plantas son explotadas como fuente de alimento cuando la presa adecuada no puede ser encontrada) y como resultado la alimentación sobre la planta disminuye cuando la alimentación sobre la presa se incrementa. ii) la alimentación sobre la planta aumenta con la alimentación sobre la presa ya que las plantas proporcionan elementos que se necesitan para el consumo de presas. iii) la alimentación sobre la planta ocurre

independientemente de la cantidad de la alimentación sobre las presas, el depredador necesita elementos fundamentales de las plantas que no están disponibles en la presa. Estos modelos son apropiados para el estudio del comportamiento de los depredadores en relación con la alimentación de la planta; cada individuo puede comportarse de acuerdo a un modelo u otro en función de las circunstancias específicas de los cultivos en que se encuentren.

En Europa, particularmente en la cuenca del Mediterráneo, el manejo de depredadores zoofitófagos en cultivos de hortalizas ha estado principalmente enfocado en cuatro especies: *N. tenuis*, *M. pygmaeus*, *Dicyphus tamaninii* Wagner y *Dicyphus hesperus* (Knight) (Hemiptera: Miridae), todos pertenecientes a la tribu Dicyphini. Estos importantes depredadores generalistas regulan las poblaciones de otros artrópodos tales como mosca blanca, áfidos, araña roja, minadores de hojas y trips (Shipp y Wang 2006; Urbaneja *et al.* 2001). La conservación de poblaciones nativas de *N. tenuis*, *D. tamaninii* y *M. pygmaeus* es una estrategia de manejo de plagas que ha sido usada satisfactoriamente en la región del Mediterráneo (Castañé *et al.* 2011).

2.4.3 Míridos zoofitófagos como agentes de control biológico

Con el objetivo de integrar a los míridos zoofitófagos en programas de MIP, desde mediados de la década de 1980 los investigadores de distintas partes del mundo han evaluado los efectos de varias especies de la tribu Dicyphini sobre las poblaciones de distintos insectos plaga en una gran variedad de cultivos hortícolas.

En Europa, a través del MIP ha permitido que estos depredadores colonicen los cultivos bajo invernadero de manera natural cuando dejan de aplicarse tratamientos químicos de amplio espectro (Alomar *et al.* 2002; Albajes *et al.* 2003; Castañé *et al.* 2004; Gabarra *et al.* 2006). Entre las especies más utilizadas destacan *M. pygmaeus*, *N. tenuis* y *D. tamaninii* (Urbaneja 2005). Estas especies han demostrado gran potencial como agentes de control biológico reduciendo las poblaciones de mosca blanca en programas de control biológico basados en la conservación y el aumento de las poblaciones autóctonas en cultivos protegidos y de cielo abierto (Albajes *et al.* 2003; Castañé *et al.* 2004; Calvo *et al.* 2009; Arnó *et al.* 2010).

En la actualidad, el uso de míridos zoofitofagos como controladores de las poblaciones de insectos plaga en cultivos hortícolas es aun discutido debido a que, por sus

hábitos fitófagos, algunas especies pueden convertirse en plagas, tal es el caso de *N. tenuis* (CABI 2015).

Los míridos zoofitófagos al alimentarse de la savia de las plantas pueden causar lesiones a los tejidos de las mismas debido a la inserción frecuente del estilete en los tejidos vasculares, lo que produce una coloración marrón alrededor de los tallos (Fig. 4A), peciolos (Fig. 4B) y hojas (Fig. 4C), lo que se conoce como anillos necróticos. Además, pueden causar abortos florales y halos o puncaduras blanquecinas en los frutos (Fig. 4D) (Arnó *et al.* 2010; Castañé *et al.* 2011) y, en última instancia y bajo determinadas condiciones, a la pérdida de rendimiento (Sánchez 2009; Arnó *et al.* 2010). Sin embargo, daños significativos causados a las plantas por los míridos zoofitófagos son relativamente raros (Albajes y Alomar 2008).

Los daños al cultivo son a menudo resultado de interacciones complejas entre la morfología, fisiología, características del comportamiento del depredador, variedad de planta, tipo de cultivo, factores ambientales y disponibilidad de presa (Gessé 1992, Sánchez y Lacasa 2008, Castañé *et al.* 2011, Calvo *et al.* 2009). Pumariño *et al.* (2010) demostraron que la alimentación de los míridos depredadores sobre la planta es una tendencia constante, aun cuando la presa es abundante. Sin embargo, los depredadores no parecen producir lesiones visibles durante todo el tiempo de alimentación sobre sus plantas hospederas

Con lo mencionado anteriormente, no todas las especies de depredadores causan la misma cantidad de lesiones ni tienen el mismo comportamiento, ya que a pesar de la cercanía taxonómica entre especies, cada una de éstas presenta características específicas con respecto de otra. Por ejemplo, *D. tamaninii* puede permanecer en las hojas cuando la presa es abundante, pero se alimenta de frutos de tomate en los que pueden encontrar los recursos necesarios para su desarrollo ninfal cuando las presas son escasas. Por el contrario, *M. pygmaeus* no puede exhibir ese cambio de comportamiento y como resultado, puede no

causar un daño mayor a los cultivos, excepto cuando sus poblaciones son muy altas y existe una ausencia de presas (Castañé *et al.* 2011).

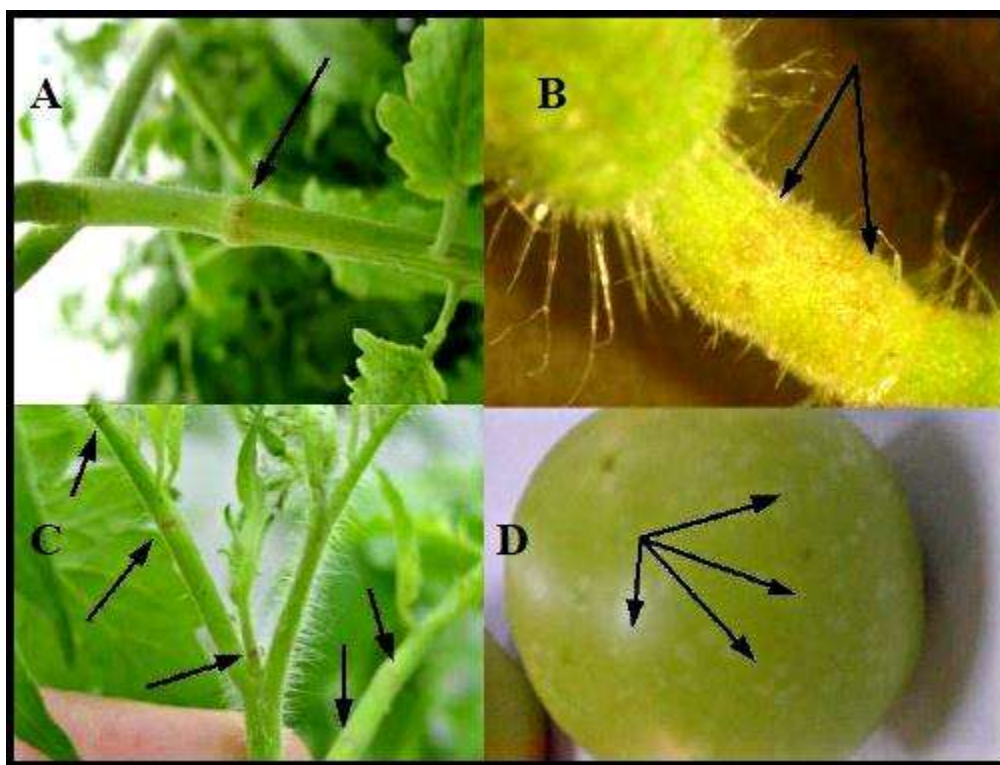


Figura 4. Daños provocados por *N. tenuis* en A) tallos, B) peciolo, C) hojas y D) frutos de tomate. Imágenes tomadas de Calvo y Urbaneja (2003).

Por otro lado, a pesar de la gran controversia que se ha generado acerca del uso de estos peculiares depredadores, y de ser generalmente percibidos como menos eficaces en el mantenimiento de los niveles de plagas ya que el consumo de la planta podría reducir la ingestión de presas (Castañé *et al.* 2011). En las últimas décadas se ha generado una gran cantidad de información, donde utilizando diversas estrategias o colonizando de manera natural los invernaderos, estos depredadores contribuyen de manera importante a mantener las poblaciones de una gran diversidad de insectos plaga tales como trips, lepidópteros, áfidos y algunos ácaros en diferentes cultivos hortícolas como tomate, pimiento, pepino, berenjena (Perez-Hedo y Urbaneja 2016, Calvo y Belda 2006, Calvo *et al.* 2009, Calvo *et al.* 2016, Castañé *et al.* 2009, Shipp y Wang 2006, Nannini *et al.* 2012, Gabarra *et al.* 1995, Messelink *et al.* 2014, Perez-Hedo y Urbaneja 2014, Gigon *et al.* 2015).

Debido a que la importación de míridos utilizados con éxito en Europa no se ha permitido por los gobiernos de los países de Norteamérica (Ejemplo: Estados Unidos y Canadá) (Wheeler 2001), diversos investigadores de América del Norte están evaluando la posibilidad de uso de especies nativas, tal es el caso de *D. hesperus* y *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae), como posibles agentes para controlar poblaciones de insectos plaga como moscas blancas y *B. cockerelli* bajo condiciones de invernadero (McGregor *et al.* 1999; Calvo *et al.* 2016; Martínez *et al.* 2014; Pineda *et al.* 2016)

2.5. *Engytatus varians*

Se clasifica taxonómicamente dentro de la Clase: Insecta, Orden: Hemiptera, Suborden: Heteroptera, Familia: Miridae, Subfamilia: Bryocorinae, Tribu: Dicyphini, Subtribu: Dicyphina, Género: *Engytatus*, Especie: *Engytatus varians* (Distant). Es una especie de hábito mixto o zoofitófago que se alimenta tanto de la planta, así como de los insectos que se encuentran sobre ésta para completar su ciclo biológico (Martinez *et al.* 2014).

Rosewall y Smith (1930) encontraron adultos y ninfas de *E. varians* en campos de tabaco en Luisiana, Estados Unidos de América depredando huevos y larvas de primeros estadios de *Heliothis* sp. (Lepidoptera: Noctuidae), así como huevos y larvas de *H. virescens* y *H. obsoleta* (Fab.). Por otro lado, Illingworth (1937) observó, la naturaleza de depredación de *E. varians* sobre áfidos del tabaco, utilizó pseudocóccidos, así como huevos y larvas de primeros estadios de la mariposa de la col *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) para su alimentación. Estudios en Cuba mencionan que *E. varians* se observó como depredador de *B. tabaci* sobre cultivos de papa y cucurbitáceas (Castiñeiras 1995). Estudios realizados en Brasil, demostraron que *E. varians* puede controlar de manera efectiva a *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) sobre plantas de tabaco, ya que tuvo una tasa de depredación del 92% (Bueno *et al.* 2013). Recientemente, en Michoacán, México se reportaron estudios sobre algunos parámetros biológicos en condiciones de laboratorio sobre *E. varians* como un agente potencial para el control de *B. cockerelli* sobre plantas de tomate (Velázquez *et al.* 2014, 2015, Medina 2014, Mena 2016, Pineda *et al.* 2016).

2.5.1 Distribución de *E. varians*

Se distribuye desde el sur de los Estados Unidos de América en el estado de Luisiana y Florida (Madden y Chamberlin 1945, Rosewall y Smith 1930); en el Caribe: Cuba (Bruner 1934, Bruner y Scaramuzza 1938, Bruner *et al.* 1945, 1975, Zayas 1988), Puerto Rico (Maldonado 1969, Hernández y Henry 2010), República Dominicana (Pérez-Gelabert 2008, Schuh 1995); América Central: Guatemala (Distant 1884) y Nicaragua (Maes 1998) y América Meridional: Surinam (Carvalho y Rosas 1965), Brasil (Moreira 1925; Carvalho 1947; Alayo 1974), Argentina (Blanchard 1945) y Ecuador (Schuh 1995). Los hallazgos más recientes de *E. varians* en América son los de Martínez *et al.* (2014) en México y Cherót y Carpintero (2016) en Guyana Francesa.

2.5.2 Morfología y ciclo de vida

Recientemente, Pineda *et al.* (2016) reportaron por primera vez el ciclo biológico de *E. varians*, el cual se escribe a continuación:

Huevo: Las hembras realizan la oviposición de forma endofítica; es decir, insertan los huevos en el tallo de la planta, peciolo y nervaduras principales de las hojas. El huevo es elipsoidal y ligeramente curvo. Los huevos recién ovipositados, o menores a 24 horas de edad, son transparentes (Fig. 4A) y conforme avanza el desarrollo embrionario se vuelven blanquecinos (Fig. 4B-D). A las 24 h de edad tienen una longitud de 0.8 x 0.2 mm, a las 168 h tienen un ligero aumento (0.9 x 0.3 mm) y ya se observan los ojos rojos de las ninfas. Por lo general, los huevos de *E. varians* presentan dos, raramente tres, proyecciones exocoriales en forma de cuernos, que son los conductos respiratorios (Fig. 4E). Estas estructuras, que se encuentran expuestas sobre la superficie del tallo de la planta, son la única evidencia de oviposición por parte de las hembras de *E. varians*. Los huevos de este depredador son muy similares a los de *M. pygmaeus* (Perdikis y Lykouroussis 2002). El estado de huevo de *E. varians* tiene una duración de 9.2 días.

Ninfa: El primer ínstar (**N₁**) tiene una duración de 4.21 días y mide 0.9 x 0.2 mm, pico de cuatro segmentos de color amarillento, ojos rojizos y cuerpo cilíndrico de tonalidad amarillo-pálido (Fig. 4F). Las patas son delgadas, largas y decoloradas; sus antenas tienen una tonalidad amarillenta, son del tipo claviforme con cuatro segmentos y con el primer artejo más pequeño que el resto. El segundo instar (**N₂**) tiene una duración de 2.72 días, es muy

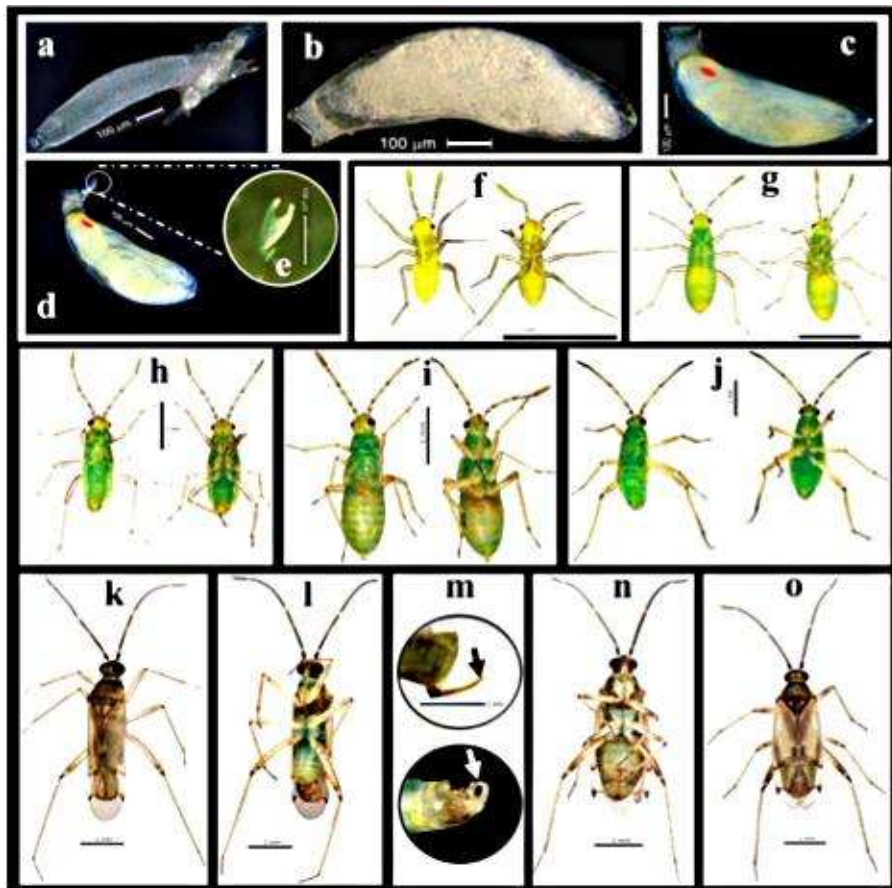


Figura 5. Vista lateral de huevo de *Engyatus varians* (a), (b), (c) y (d) de 24, 72, 168 y 216 horas de edad, respectivamente; (e) cuerno respiratorio con dos proyecciones ornamentales; (f), (g), (h), (i) y (j) vista dorsal y ventral la ninfa de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto estadio, respectivamente; (k) y (l) vista dorsal y ventral del macho, respectivamente; genitalia de (m) hembra (flecha indica el ovipositor) y macho (flecha indica proceso de capsula genital acodada); (n) y (o) vista ventral y dorsal de la hembra, respectivamente. Tomado de Pineda *et al.* (2016).

similar al primero, pero su tamaño se incrementa al doble (1.8 x 0.4 mm) y la coloración de su cuerpo cambia a una ligera tonalidad verdosa (Fig. 4G). El tercer ínstar (**N₃**), con la aparición de los rudimentos alares (Fig. 4H), tiene un tamaño de 2 x 0.5 mm y una duración de 2.63 días. El cuarto ínstar (**N₄**) tiene una duración de 3.23 días y mide 2.6 x 0.5 mm, se distingue porque los rudimentos alares alcanzan el borde anterior del segundo segmento abdominal (Fig. 4I). Finalmente, el quinto ínstar (**N₅**) mide 2.7 x 0.5 mm y se distingue porque los rudimentos alares se prolongan hasta la mitad del cuarto segmento abdominal (Fig. 4J). En este quinto ínstar se puede observar la diferenciación de los sexos en *E. varians*,

tiene una duración de 4.57 días. La coloración se torna más verdosa conforme avanza el desarrollo de los ínstares ninfales.

Adulto: Los machos y hembras presentan una coloración verde amarillento, alas grisáceas y esternitos abdominales con tonalidades verdosas. Los ojos son de color rojo. Los fémures tienen pequeñas manchas circulares dispersas de color café oscuro. La frente, clípeo, nuca, primer segmento antenal, la cuarta parte basal del segundo segmento antenal y ápice del cuneo son de color café oscuro a negro. Presentan cabeza convergente en vista dorsal, ojos ligeramente prominentes, antenas de cuatro segmentos, longitud antenal casi del tamaño del cuerpo, pico de cuatro segmentos que se extienden más allá del primer par de patas. Los tarsos son de tres segmentos, el corio y cuneo de las alas poseen setas dispersas y una membrana transparente.

Macho: Mide de 3.07 mm de largo x 0.5 mm de ancho. El abdomen es más estrecho comparado con el de la hembra (Fig. 4K y L) y sus últimos segmentos denotan la genitalia con parámetros expuestos (Fig. 4M). La longevidad del macho es de 17 días en condiciones de laboratorio.

Hembra: Miden de 2.6 mm de largo x 0.5 mm de ancho y tienen el abdomen más robusto que los machos (Fig. 4N y O). En la parte ventral, y desde el cuarto segmento abdominal, se encuentra una abertura longitudinal por donde se expone su genitalia (Fig. 4M), su longevidad es de 22 días en condiciones de laboratorio.

3. 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 of Agricultural Research*. 3 (1): 60-67
- Alayo, P. D. 1974. **Los Hemípteros de Cuba (Parte XII). Familia Miridae.** *Torreia, nueva serie*. 32: 3-41.
- Albajes, R., O. Alomar. 2008. **Facultative predators.** En: Capinera, J.L. (Ed.), *Encyclopedia of Entomology*. Springer, The Netherlands, pp. 1400–1405.
- Albajes, R., C. Castañé, R. Gabarra, O. Alomar. 2006. **Risks of plant damage caused by natural enemies introduced for arthropod biological control.** En: Bigler, F., D.

- Babendreier, U. Kuhlmann. (Eds.), Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods: Methods and Risk Assessment. CABI Publishing, Oxon, pp. 132–144.
- Albajes, R., C. López, X. Pons. 2003. **Predatory fauna in cornfields and response to imidacloprid seed treatment.** *Journal of Economic Entomology*. 96 (6): 1805-1813.
- Alomar, O., M. Goula, R. Albajes. 2002. **Colonization of tomato fields by mirid bugs (Hemiptera: Heteroptera) in northern Spain.** *Agriculture Ecosystems and Environment*. 89: 105–115.
- Arnó, J., C. Castañé, J. Riudavets, R. Gabarra. 2010. **Risk of damage to tomato crops by the generalist zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae).** *Bulletin of Entomological Research*. 100:105- 115.
- Amor, F., P. Medina, P. Bengochea, M. Cánovas, P. Vega, R. Correia, F. García, M. Gómez, F. Budia, E. Viñuela, J. A. López. 2012. **Effect of emamectin benzoate under semi-field and field conditions on key predatory biological control agents used in vegetable greenhouses.** *Biocontrol Science and Technology*. 22(2): 219-232.
- Avilés, G., A. Domínguez, C. Fu, V. Pérez, F. Velarde. 2007. **Monitoreo y control del psílido del tomate *Bactericera (=Paratrioza) cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) en hortalizas.** Memoria Técnica No. 23. Conferencias sobre: Paratrioza, virosis y mercados en hortalizas. Hermosillo, Sonora, México. pp. 22-51.
- Babu, B., M. L. Paret, N. Dufault, C. L. Harmon. 2015. **“*Candidatus Liberibacter solanacearum*”: An Emerging Pathogen Infecting Potato and Tomato.** Publication PP320 Plant Pathology Department, University of Florida (UF)/Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) Extension. August 2015.
- Bayer CropScience 2005. **Boletín técnico de la *Paratrioza cockerelli* o pulgón saltador del tomate y la papa.** pp. 12-15.
- Bayer CropScience 2012. **Guía de identificación de plagas y enfermedades del tomate.** pp. 3-4.

- Bextine, B., E. Aguilar, A.R. Rueda, O. Caceres, V.G. Sengoda, K.F. McCue, J.E. Munyaneza. 2013a. **First report of “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” on tomato in El Salvador.** *Plant Disease*. 97: 1245.
- Bextine, B., A. Arp, E. Flores, E. Aguilar, L. Lastrea, F.S. Gomez-Powell, A. Rueda. 2013b. **First report of zebra chip and ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ on potatoes in Nicaragua.** *Plant Disease*. 97: 1109.
- Blanchard, E. E. 1945. **Insectos y nematodos relacionados con el cultivo del tabaco.** Publicaciones del Instituto de Sanidad Vegetal, año 1, serie A, nº 6, 23 p.
- Bravo, M. E., L. P. López. 2007. **Principales plagas del chile de agua en los valles centrales de Oaxaca.** *Agro produce*. Abril 2007. pp. 12-15.
- Bruner, S. C. 1934. **Notes on Cuban Dicyphinae (Hemiptera, Miridae).** Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural “Felipe Poey”. 8: 35-46.
- Bruner, S. C., L. C. Scaramuzza. 1938. **Reseña de los insectos del tabaco en Cuba.** Estación Experimental Agronómica Santiago de Las Vegas, Habana, Cuba. Secretaría de Agricultura. Circular 80 (2ª ed.) pp. 50.
- Bruner, S. C., L. C. Scaramuzza, Y. A. R. Otero. 1945. **Catálogo de los insectos que atacan a las plantas económicas de Cuba.** *Boletín de la Estación Experimental Agronómica* 63. Santiago de Las Vegas, Habana, Cuba, pp. 246.
- Bruner, S. C., L. C. Scaramuzza, Y. A. R. Otero. 1975. **Catálogo de los insectos que atacan a las plantas económicas de Cuba.** Segunda edición revisada y aumentada. Instituto de Zoología, Academia de Ciencias de Cuba, Habana, Cuba, pp.401.
- Bueno, V. H. P., J. C. Van Lenteren, J. C. Lins, A. M. Calixto, F. C. Montes, D. B Silva, L. D. Santiago, L. M. Pérez. 2013. **New records of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) predation by Brazilian Hemipteran predatory bugs.** *Journal of Applied Entomology*. 137: 29-34.
- Bujanos, M. R., T. J. A. Garzón, J. A. Marín. 2005. **Manejo integrado del pulgón saltador *Bactericera (=Paratrioza) cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) en los cultivos**

de solanáceas en México. pp. 93-98. En: Segunda Convención Mundial del Chile, 14-16 Agosto, Zacatecas, Mexico.

Bujanos, M. R., R. Ramos. 2015. **El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA.** pp. 25-36.

Butler, C. D., J. T. Trumble. 2012a. **Spatial dispersion and binomial sequential sampling for the potato psyllid (Hemiptera: Triozidae) on potato.** *Pest Management Science*. 68(6): 865-869.

Butler, C. D., J. T. Trumble. 2012b. **Identification and impact of natural enemies of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Southern California.** *Journal of Economic Entomology*. 105(5): 1509-1519.

CABI 2015 (Centre for Agricultural Bioscience International) **Plantwise knowledge bank. Tomato bug (*Nesidiocoris tenuis*).** <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=16251>. Consultado agosto 2016

Calvo, J., A. Urbaneja. 2003. ***Nesidiocoris tenuis* Reu. (Het., Miridae) en tomate: ¿Amigo o Enemigo?** *Almeria Verde*. 4: 21-23.

Calvo, J., J. E. Belda. 2006. **Comparación de estrategias de control biológico de *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) en pimiento bajo condiciones de semicampo.** *Boletín de sanidad vegetal Plagas*. 32(2): 297-311.

Calvo, J., K. Bolckmans, P. A. Stansly, A. Urbaneja. 2009. **Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato.** *BioControl*. 54: 237-246.

Calvo, J., J. M. Lorente, P. Stansly, J. E. Belda. 2012. **Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisia tabaci* in green house tomato.** *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 143: 111-119.

- Calvo, F. J., A. Torres, J. C. Velázquez, E. Rodríguez, J. R. Lomelí. 2016. **Evaluation of *Dicyphus hesperus* for biological control of sweet potato whitefly and potato psyllid on greenhouse tomato.** *BioControl*. 61 (4): 415–424.
- Camacho-Tapia, M., R. I. Rojas-Martínez, E. Zavaleta-Mejía, M. G. Hernández-Deheza, J. A. Carrillo-Salazar, A. Rebollar-Alviter, D. L. Ochoa-Martínez. 2011. **Aetiology of Chili pepper variegation from Yurécuaro, México.** *Journal of Plant Pathology*. 93: 331-335.
- Carvalho, J. C. M. 1947. **Mirideos neotropicais, XXVII: Gêneros *Porpomiris* Berg, *Lampethusa* Distant, *Cyrtopeltis* Fieber and *Dicyphus* Fieber (Hemiptera).** *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro (n.s.) (Zool.). 77: 1-43.
- Carvalho, J. C. M., A. F. Rosas. 1965. **Mirideos neotropicais, XCV: Gênero e especie nova do Suriname, com uma lista de espécies coligadas em Paramaribo (Hemiptera).** *Revista Brasileira de Biología*. 25: 207-210.
- Cassis, G., T. T. Schuh. 2012. **Systematics, biodiversity, biogeography, and host associations of the Miridae (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Cimicomorpha).** *Annual review of entomology*. 57: 377-404.
- Castañé, C., O. Alomar, M. Goula, R. Gabarra. 2004. **Colonization of tomato greenhouses by the predatory mirid bugs *Macrolophus caliginosus* and *Dicyphus tamaninii*.** *Biological Control*. 30: 591-597.
- Castañé, C., J. Riudavets, O. Alomar. 2009. **El depredador generalista *Dicyphus tamaninii* en el control de poblaciones mixtas de mosca blanca y de trips en pepino de invernadero.** *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*. 32: 29-37.
- Castañé, C., J. Arnó, R. Gabarra, R. Alomar. 2011. **Plant damage to vegetable crops by zoophytophagous mirid predators.** *Biological Control*. 59: 22–29.
- Castineiras, A. 1995. **Natural enemies of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Cuba.** *Florida Entomologist*. 78: 538-540.
- CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato). 2011. **Zebra chip (*Candidatus Liberibacter solanacearum*) Programa de Vigilancia Epidemiológica**

http://www.cesaveg.org.mx/html/folletos/folletos_11/trip_zebra_chip.pdf

- Chérot, F., D. L. Carpintero. 2016. **New and little-known miridae from French Guyana and neighbouring areas (Hemiptera: Heteroptera)**. *Entomologica Americana*. 122(1): 82-96.
- Coll, M., J. R. Ruberson. 1998. **Predatory Heteroptera: Their ecology and use in biological control**. En: Thomas Say Publications Entomology: Proceedings. Entomological Society of America, Lanham, Maryland. pp. 223.
- Coll, M., M. Guershon. 2002. **Omnivory in terrestrial arthropods: mixing plant and prey diet**. *Annual Review of Entomology*. 47: 267-297.
- Cranshaw W. S. 1993. **An Annotated Bibliography of Potato/Tomato Psyllid, Paratrioza cockerelli (Sulc) (Homoptera: Psyllidae)**. Technical Bulletin TB93-5. Agricultural experiment Station. Department of Entomology. Colorado State University.
- Crosslin, J. M., J. E. Munyaneza. 2009. **Evidence that the zebra chip disease and the putative causal agent can be maintained in potatoes by grafting and in vitro**. *American Journal of Potato Research*. 86(3): 183-187.
- Cruz, B. R. M., G. J. González, C. P. Sánchez. 2013. **Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno**. *Nutrición Hospitalaria*. 28:6-15 pp.
- Medina, M. D. D., E. C. Chávez, L. A. A. Uribe, O. G. Martínez, Y. M. O. Fuentes, G. G. Morales, J. L. Flores. 2013. **Susceptibilidad y mecanismos de resistencia a insecticidas en *Bactericera cockerelli* (Sulc.) en Coahuila, México**. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(6): 1145-1155.
- Desneux, N., A. Decourtye, J. M. Delpuech. 2007. **The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods**. *Annual Review of Entomology*. 52:81-106.
- Devine, G. J., D. Eza, E. Ogasuku, M. J. Furlong. 2008. **Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas**. *Medicina Experimental y Salud Pública*. 25: 74-100.

- Díaz, G., E. Tejeda, A. Avalos. 2005. **Efecto de insecticidas biorracionales y mezclas de hongos sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae).** *Entomología Mexicana*. 5: 539-541.
- Distant, W. L. 1884. **Insecta. Rhynchota. Hemiptera-Heteroptera.** pp. 265-304. En: F. D. Godman y O. Salvin (eds). *Biologia Centrali-Americana*. Vol. 1. London, 462 p., 39 plates.
- EPPO 2009. (EPPO Reporting service Pest and Diseases). No 5, Paris 2009-05-01.
- EPPO 2013. (EPPO Reporting service Pest & Diseases) **Data sheets on pests recommended for regulation fichas informativas sur les organismes recommandés pour réglementation ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’.** *Bulletin OEEP/EPPO*. 43(2): 197-201.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2014a. Consulta de bases de datos de comercio mundial de Tomate. Disponible <http://faostat3.fao.org/download/T/TP/S> (Consultado Agosto 2016)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2014b. Consulta de bases de datos de producción mundial de Tomate. Disponible <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S> (Consultado Agosto 2016)
- Ferguson G, L. Shipp. 2002. **New pests in Ontario greenhouse vegetables.** *Bulletin-OILB/SROP*. 2002:69-72.
- Fernández, R. V., L. Galiana, M. M. C. Sánchez. 2004. **Internal quality characterization of fresh tomato fruits.** *Horticultural Science*. 39(2): 339-345.
- Fernández, M. M., F. Amor, P. Bengochea, E. Velázquez, P. Medina, A. Ferreres, E. Viñuela. 2012. **Effects of the insecticides methoxyfenozide and abamectin to adults of the whitefly natural enemies *Eretmocerus mundus* (Mercet) (Hymenoptera: Aphelinidae), *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) under laboratory conditions.** *IOBC-WPRS Bulletin*. 82: 1-7.

- Gabarra, R., C. Castané, R. Albajes. 1995. **The mirid bug *Dicyphus tamaninii* as a greenhouse whitefly and western flower thrips predator on cucumber.** *Biocontrol Science and Technology*. 5(4): 475-488.
- Gabarra, R., O. Alomar, C. Castañé, M. Goula, R. Albajes. 2004. **Movement of the greenhouse whitefly and its predators between in- and outside of Mediterranean greenhouses.** *Agriculture Ecosystems and Environment*. 102: 341-348.
- Gabarra, R., C. Zapata, C. Castañé, J. Riudavets, J. Arnó. 2006. **Releases of *Eretmocerus mundus* and *Macrolophus caliginosus* for controlling *Bemisia*.** *Bulletin IOBC/WPRS* 29 (4): 71-76.
- Garzón, T. J. A., F. Becerra, A. Marín, A. Mejía, M. Byerly. 1992. **Manejo integrado de la enfermedad “Permanente del tomate” (*Lycopersicon lycopersicum* Karst ex Fawll Mill.), en el Bajío.** En: Urías, C., R. Rodríguez, T. Alejandro (Eds). *Áfidos como vectores de virus en México*. Colegio de Postgraduados, Centro de Fitopatología, pp. 116-129.
- Garzón, T. J. A. 2002. **“Asociación de *Paratrioza cockerelli* Sulc. con enfermedades en papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicum lycopersicum* Mil. Ex. Fawnl) en México”.** En: Memoria del Taller sobre *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México. pp: 79-87.
- Garzón, T.J.A. 2003. **El pulgón Saltador o la Paratrioza, una amenaza para la horticultura de Sinaloa.** En: Memoria del Taller sobre *Paratrioza cockerelli* Sulc. Como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa. México, pp. 9-12.
- Garzón, T. J. A., C. Garzón, F. Velarde, J. Marín, C. Valenzuela. 2005. **Ensayos de transmisión del fitoplasma asociado al “Permanente del tomate” por el psílido *Bactericera cockerelli* Sulc en México.** *Entomología Mexicana*. 4: 672-674.
- Gessé, S. F. 1992. **Comportamiento alimenticio de *Dicyphus tamaninii* Wanger (Heteroptera: Miridae).** *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*. 18 (4): 685-6916.

- Gigon, V., C. Camps, J. Le Corff. 2016. Biological control of *Tetranychus urticae* by *Phytoseiulus macropilis* and *Macrolophus pygmaeus* in tomato greenhouses. *Experimental and Applied Acarology*. 68(1): 55-70.
- Gillespie, D.R., R. R. McGregor. 2000. **The functions of plant feeding in the omnivorous predator *Dicyphus hesperus*: water places limit on predation.** *Ecological Entomology*. 25: 380–386.
- Goula, M., O. Alomar. 1994. **Míridos (Heteroptera Miridae) de interés en el control integrado de plagas en el tomate. Guía para su identificación.** *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*. 20: 131-143.
- Hamm, P. B., J. M. Crosslin, G. Pelter, A. Jensen. 2003. **Potato purple top or psyllid yellows: What was the problem in 2002, and how might it be controlled.** *Potato Progress*. 3(1): 1-3.
- Hansen, A., T. Trumble, R. Stouthamer, T. Paine. 2008. **A New Huanglongbing species, “*Candidatus Liberibacter psyllauros*” found to infect tomato and potato, is vectored by psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc).** *Applied and Environmental Microbiology*. 74: 5862-5865.
- Hernández, L. M., T. J. Henry. 2010. **The plant bugs, or Miridae (Hemiptera: Heteroptera) of Cuba.** *Pensoft Series Faunistica* No. 92, Sofia and Moscow. pp.212
- Hodkinson, I. D. 2009. **Life cycle variation and adaptation in jumping plant lice (Insect: Hemiptera: Psylloidea): a global synthesis.** *Journal of Natural History*. 43: 65-179.
- Illingworth, J. F. 1937. **Observations on the predaceous habits of *Cyrtopeltis varians* (Dist.) (Hemip.).** *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*. 9: 458-459.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. **Productos del reino vegetal. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos.** 2(7): 33-34.
- Leyva-López, N. E., J. C. Ochoa-Sánchez, D. S. Leal-Klevezas, J. P. Martínez-Soriano. 2002. **Multiple phytoplasmas associated with potato diseases in Mexico.** *Canadian Journal of Microbiology*. 48(12):1062-1068.

- Liefting, L. W., X. C. Perez-Egusquiza, G. R. G. Clover. 2008. **A new *Candidatus Liberibacter* species in *Solanum tuberosum* in New Zealand.** *Plant Disease*. 92 (10): 14-74.
- Liefting, L. W., P. W. Southerland, L. I. Ward, K. L. Paice, B. S. Weir, G. R. G. Clover. 2009. **A new "*Candidatus liberibacter*" species associated with diseases of solanaceous crops.** *Plant Disease*. 93(3): 208-214.
- Lin, H., H. Doddapaneni, J. E. Munyaneza, E. L. Civerolo, V. G. Sengoda, J. L. Buchman, D. C. Stenger. 2009. **Molecular characterization and phylogenetic analysis of 16S rRNA from a new "*Candidatus liberibacter*" strain associated with zebra chip disease of potato (*Solanum tuberosum* L.) and the potato psyllid (*Bactericera cockerelli* Sulc).** *Journal of Plant Pathology*. 91(1): 215-219.
- Liu D., J. Trumble. 2004. **Tomato psyllid behavioral responses to tomato plant lines and interactions of plant lines with insecticides.** *Journal of Economic Entomology*. 97:1078- 1085.
- Liu D., J. Trumble. 2005. **Interactions of plant resistance and insecticides on the development and survival of *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Homoptera, Psyllidae).** *Crop Protection*. 24:111-117.
- Liu D., J. Trumble. 2006. **Ovipositional preferences, damage thresholds, and detection of the tomato/potato psyllid (*Bactericera cockerelli* Sulc) on selected tomato accessions.** *Bulletin of Entomological Research*. 96:197-204.
- Madden, A. H., F. S. Chamberlin. 1945. **Biology of the tobacco hornworm in the Southern Cigar-Tobacco District.** *United States Department of Agriculture Technical Bulletin*. 896: 1-51.
- Maes, J. M. 1998. *Insectos de Nicaragua*. Setab BOSAWAS, MARENA, Nicaragua. Vol. I, 485 p.
- Maldonado, C. J. 1969. **The Miridae of Puerto Rico (Insecta, Hemiptera).** *University of Puerto Rico Agricultural Experiment Station Technical Paper*. 45: 1-133.

- Marín, J. A., J. A. Garzón, F. Becerra, C. A. Mejía, R. M. Bujanos y K. F. Byerly. 2002. **Memorias del Taller sobre *Paratrioza cockerelli* (Sulc)**. Culiacán, Sinaloa, México. 25 y 26 de julio del 2002. pp. 37-45
- Martínez, C. A. M., M. Baena, J. I. Figueroa, P. Del Estal, M. Medina, L. E. Guzman, S. Pineda. 2014. **Primer registro de *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en México y su depredación sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): una revisión de su distribución y hábitos**. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*. 30(3): 617-624.
- Martínez, C. J. L. 2002. **Conceptos bioecológicos y manejo integrado de insectos plaga**. Memorias en extenso del Taller sobre *Paratrioza cockerelli* (Sulc). Culiacán, Sinaloa, México. 25 y 26 de julio del 2002, pp.13-19.
- McGregor, R. R., D. R. Gillespie, D. M. J. Quiring, M. R. J. Foisy. 1999. **Potential use of *Dicyphus hesperus* Knight (Heteroptera: Miridae) for biological control of pests of greenhouse tomatoes**. *Biological Control*. 16: 104–110.
- Medina, P. M. 2014. **Identificación y biología de *Engytatus varians* Distant (Hemiptera: miridae): depredación sobre el psílido del tomate, *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: triozidae)**. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Mena, M. L. 2016. **Características biológicas y reproductivas de *Engytatus varians* (Distant) y *Dicyphus maroccanus* Wagner (Hemiptera: Miridae), depredadores zoofitófagos de plagas de solanáceas**. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Messelink, G. J., C. M. J. Bloemhard, H. Hoogerbrugge, J. Schelt, B. L. Ingegno, L. Tavella. 2015. **Evaluation of mirid predatory bugs and release strategy for aphid control in sweet pepper**. *Journal of Applied Entomology*. 139(5):333-341.
- Morales, A. S. I., A. M. Martínez, J. I. Figueroa, A. M. H. Espino, J. M. Chavarrieta, R. R. Ortiz, C. L. E. Rodríguez, S. Pineda. 2013. **Parámetros de vida del parasitoide**

- sinovigénico *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae).** *Revista Colombiana de Entomologia*. 39:243-249.
- Moreira, C. 1925. **Os percevejos capsídeos de fumo no Brasil. Rio de Janeiro.** *Publicações do Serviço de informação do Ministerio de Agricultura, Industria y Comércio*. pp.7.
- Munyaneza, J. E., J. M. Crosslin, J. E. Upton. 2007. **Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with “zebra chip”, a new potato disease in Southwestern United State and México.** *Journal Economic Entomology*. 100 (3): 656-663.
- Munyaneza, J. E., V. G. Sengoda, E. Aguilar, B. Bextine, K. F. McCue. 2015 **First report of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ associated with psyllid-infested tobacco in Nicaragua.** *Plant Disease*. 97(9): 1244-1245.
- Nannini, M., F. Atzori, G. Murgia, R. Pesci, F. Sanna, 2012. **Use of predatory mirids for control of the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) in Sardinian greenhouse tomatoes.** *EPPO bulletin*. 42(2): 255-259.
- Perdikis, D., D. Lykouressis. 2002. **Description of the egg and nymphal instars of *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae).** *Entomología Hellenica*. 14: 32-40.
- Pérez-Gelabert, D. E. 2008. **Arthropods of Hispaniola (Dominican Republic and Haiti): A checklist and bibliography.** *Zootaxa*. 1831: 1-530.
- Pérez-Hedo, M., A. Urbaneja. 2015. Prospects for predatory mirid bugs as biocontrol agents of aphids in sweet peppers. *Journal of Pest Science*. 88(1), 65-73.
- Pérez-Hedo, M., A. Urbaneja. 2016. **The zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis*: A successful but controversial biocontrol agent in tomato crops.** En: Horowitz, A. R., I. Ishaaya. *Advances in Insect Control and Resistance Management* Springer International Publishing. pp. 121-138.
- Pineda, S., M. Medina, J. I. Figueroa, T. J. Henry, L. V. Mena, J. M. Chavarrieta, A. M. Martínez. 2016. **Life history, diagnosis, and biological aspects of *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae), a predator of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae).** *Biocontrol Science and Technology*. 26(8): 1073–1086.

- Pletsch D. 1947. **The potato psyllid *Paratrioza cockerelli* (Sulc), its biology and control.** *Montana Agricultural Experiment Station Bulletin.* 446:1-95.
- Pumariño, L., O. Alomar, N. Agustí. 2010. **Development of specific ITS markers for plant DNA identification within herbivorous insects.** *Bulletin of Entomological Research.* 101: 271-276.
- Ramírez, G. M., C. E. Santamaría, R. J. S. Méndez, F. J. L. Ríos, S. J. R. Hernández, M. J. G. Pedro. 2008. **Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* B. y L.) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño.** *Revista Chapingo Zonas Áridas* 76: 47-56.
- Rehman, M., J. Melgar, C. Rivera, N. Urbina, A.M. Idris, J. K. Brown. 2010. **First report of “*Candidatus Liberibacter psyllauros*” or “*Ca. Liberibacter solanacearum*” associated with severe foliar chlorosis, curling, and necrosis and tuber discoloration of potato plants in Honduras.** *Plant Disease.* 94: 376.
- Rodríguez, A. G., L. J. García, P. S. P. Fernández. 2011. **Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero en la zona centro de Michoacán.** *Revista Mexicana de Fitopatología.* S/N.50-59.
- Rosewall, O. W., C. E. Smith. 1930. **The predaceous habit of *Cyrtopeltis varians* (Dist.).** *Journal of Economic Entomology.* 23: 464.
- Rubio, C. O., L. I. H. Almeyda, H. M. A. Cadena, R. K. Lobato. 2011. **Relation between *Bactericera cockerelli* and presence of *Candidatus liberibacter psyllauros* in commercial field of potato.** *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 17-28.
- Rubio, C. O., L. I. H. Almeyda, M. J. Ireta, S. J. A. Sánchez, S. R. Fernández, S. J. T. Borbón, H. C. Díaz, J. A. Garzón, R. R. Rocha, H. M. A. Cadena. 2006. **Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México.** *Agricultura Técnica en México*, mayo-agosto, pp 201-211.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. **Comunicado de prensa NUM. 466/15 “Se consolida México como primer exportador mundial de tomate”.** San Luis Potosí, San Luis Potosí, 15 de julio de

2015. Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/2015/julio/Documents/2015B466.PDF>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011 **Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial y estudio de logística internacional de tomate**. Boletín Técnico. México D.F. 4 p.

Sánchez, J. A. 2009. **Density thresholds for *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) in tomato crops**. *Biological Control*. 51(3):493–498.

Sánchez, J. A., A. Lacasa. 2008. **Impact of the zoophytophagous plant bug *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) on tomato yield**. *Journal of Economic Entomology* 101 (6): 1864-1870.

Schuh, R. T. 1995. **Plant bugs of the world (Insecta: Heteroptera: Miridae). Systematic catalog, distributions, host list, and bibliography**. New York Entomological Society, New York. pp. 1329.

Shipp, J.L., K. Wang. 2006. **Evaluation of *Dicyphus hesperus* (Heteroptera: Miridae) for biological control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse tomato**. *Journal of Economic Entomology*. 99:414-420.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. **“Cierre de la producción agrícola por estados cíclicos y perennes “Modalidad riego + temporal”**. 2014 Disponible: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. (Consultado mayo 2016)

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. **Atlas agroalimentario 2015**. 86 pp.

Sulc K. 1909. ***Trioza cockerelli* n.sp.** *Acta Societatis Entomologicae Bohemiae*. 4: 110-116.

Teulon, D. A. J., P. J. Workman, K. L. Thomas, M. C. Nielsen. 2009. ***Bactericera cockerelli*: Incursion, dispersal and current distribution on vegetable crops in New Zealand**. *New Zealand Plant Protection*. 62: 136-144.

- Torres, J. B.; J. C. Zanuncio, M. A. Moura. 2006. **The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology and augmentative releases for lepidoperan larval control in *Eucalyptus* in Brazil.** *Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*.15: 1-16.
- Urbaneja, A., E. Arán, P. Squires, L. Lara, J. Van der Blom. 2001. **Primera cita de chinche *Creontiades pallidus* Ramb. (Hemiptera: Miridae) como depredador de mosca blanca y posible causante de daños en los cultivos de pimiento en invernadero. Primeros datos sobre su biología en laboratorio.** *Agrícola Vergel*. 235: 396–401.
- Urbaneja, A., G. Tapia, P. Stansly. 2005. **Influence of host plant and prey availability on developmental time and survivorship of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae).** *Biocontrol Science and Technology*. 15(5): 513-518.
- Vargas, M. H. 2010. **Morfometría y tabla de vida de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en dos variedades de jitomate en invernadero.** Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Vega, G., J. Rodríguez, O. Díaz, R. Bújanos, D. Mota, J. Martínez, A. Lagunes, J. A. Garzón. 2008. **Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae).** *Agrociencia*. 42: 463-471.
- Velázquez, R.Y.B., S. I. Morales, S. Pineda, L. V. Mena, J. M. Chavarrieta, A.M Martínez. 2014. **Depredación de la chinche *Engytatus* sp. (Hemiptera: Miridae) sobre huevos y ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemíptera: Triozidae).** *Entomologia Mexicana*. 13: 208-212.
- Velázquez, R.Y.B., S. I. Morales. S. Pineda, J. I. Figueroa, A. L. A Hernandez, A.M Martínez. 2015. Capacidad de consumo de *Engytatus varians* (Distant) (Heiptera: Miridae) sobre ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Entomologia Mexicana*. 2:235-240.
- Walker, P. W., G. R. Allen, R. S. Tegg, L. R. White, C. R. Wilson. 2015. **The tomato potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Šulc, 1909) (Hemiptera: Triozidae): a review of the threat of the psyllid to Australian solanaceous crop industries and surveillance for incursions in potato crops.** *Austral Entomology*. 54(3): 339-349.

- Wheeler Jr., A. G., B. A. Krimmel. 2015. **Mirid (Hemiptera: Heteroptera) specialists of sticky plants: adaptations, interactions, and ecological implications.** *Annual Review of Entomology*. 60: 393-414.
- Wheeler Jr., A.G. 2001. **Biology of the plant bugs (Hemiptera: Miridae). Pests, predators, opportunists.** Cornell University Press, Comstock Publishing Associates. Ithaca New York, USA.
- Yarita, Y., F. Cisneros. 2010. **Ciclo biológico y morfología de *Dagbertus minensis* Carv. & Fontes (Hemiptera: Miridae), en palto var. Hass, en la irrigación Chavimochic, Perú.** *Revista Peruana de Entomología* 46:15-19.
- Zayas, F. 1988. **Entomofauna cubana. Tópicos entomológicos a nivel medio para uso didáctico.** Superorden Hemipteroidea. Orden Homoptera. Orden Heteroptera. Tomo VII. Editorial Científico-Técnica, La Habana. Cuba, pp 261.

OBJETIVO GENERAL DE LA TESIS

Evaluar el potencial de control biológico del mrido *Engytatus varians* sobre *Bactericera cockerelli* y determinar la susceptibilidad de este depredador a distintos pesticidas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Capítulo II

- Evaluar la efectividad de distintas dosis de liberación del depredador *E. varians* sobre el psílido del tomate *B. cockerelli* bajo condiciones de invernadero, y cuantificar el daño ocasionado por este depredador zoofitofago hacia las plantas de tomate.

Capítulo III

- Evaluar los efectos letales (mortalidad directa) y subletales (longevidad y descendencia de adultos) de cinco insecticidas comúnmente utilizados contra *Tuta absoluta* en cultivos de tomate en Brasil sobre ninfas y adultos de *E. varians*.

CAPÍTULO II

Impact of zoophytophagous predator *Engytatus varians* on *Bactericera cockerelli* control

Abstract

Engytatus varians (Distant) (Hemiptera: Miridae) is a polyphagous predator widely distributed that has been found recently by first time in Mexico feeding on *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). The predation of this predator on this detrimental pest of several solanaceous crops was evaluated during 12 weeks, using 1 and 4 adults of *E. varians* (Ev)/plant plus a control that received no predator release in cages of 7 m² containing tomato plants, *Solanum lycopersicum* L., under greenhouse conditions. A reduction of 80% of both nymphs and adults of *B. cockerelli* was observed when 1 Ev/plant was released, whereas it was 90% in cages that received 4 Ev/plant for both life stages of the pest. There were more *E. varians* individuals in cages where predator was released at both release rates (around 30 of both nymphs and adults accumulated per day) than in controls (2 nymphs and adults). Finally, the number of necrotic rings/leaf was inversely proportional to presence of the prey, but it was more strongly observed in the higher release rate. Our results have demonstrated that *E. varians* can be established under greenhouse conditions and controlling *B. cockerelli* populations without causing significant damage to the tomato plants. The potential use of this predator as a biological control agent of *B. cockerelli* is discussed.

Keywords: Mirid bug, tomato psyllid, biological control, necrotic rings, inoculative releases, greenhouse.

1. Introduction

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop is the first most important vegetable crop in Mexico, based on its production value and increases in employment. Currently, this country is the world's main exporter of tomato fruit to United States of America, Canada, and other European countries because it is responsible for 2.8 million tons, with an area of ~52,000 ha (FAOSTAT 2014, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] 2014). In order to provide optimal conditions for crops development as well as improve their yield and to protect them from several abiotic factors, in Mexico there are approximately 20,000 ha under protected agriculture, of which 70% are destined for growing tomato crop (Ponce *et al.* 2013). However, this cultivation practice also favors the development of insect pest species, among them the tomato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae).

Bactericera cockerelli is considered one of the most serious pests of tomato, potato (*Solanum tuberosum* L.), pepper (*Capsicum annum* L.) and several other solanaceous crops in the United States of America, Mexico, Central America, and most recently as an invasive pest species in New Zealand and Norfolk Island (Liu *et al.* 2006, Munyaneza *et al.* 2007, Teulon *et al.* 2009, Walker *et al.* 2015). In addition to direct plant damage caused by sap sucking, nymphs and adults cause damage by contamination of leaves and fruits through honeydew production (Abdullah 2008). However, the principal damage is due to *B. cockerelli* transmit the pathogenic agents that causing the permanent yellowing disease in tomato (known in Mexico as “permanente del tomate”) (Munyaneza *et al.* 2009) and purple tip in potato (Garzón *et al.* 2005). Most recently, was discovery that this insect is the vector of the bacterium *Candidatus Liberibacter solanacearum* (aka Ca. *Liberibacter psyllaurous*; Hansen *et al.* 2008), which is associated with the zebra chip (ZC) disease in potatoes, tomato, and pepper (Hansen *et al.* 2008, Liefting *et al.* 2008, Camacho-Tapia *et al.* 2011). If control measures are not applied, *B. cockerelli* can to cause losses >85% on tomato crop (Liu and Trumble 2004).

Due to its polyphagous nature, *B. cockerelli* has a long history of exposure to synthetic insecticides, which has resulted in high resistance levels to organophosphates, carbamates, pyrethroids and insect growth regulators (Davila-Medina *et al.* 2012; Chavez *et al.* 2015). In addition, applications of broad spectrum insecticides are often costly and can result in a

significant reduction of the abundance of natural enemies, which may lead to resurgence of populations of this insect (Cloyd y Bethke 2011). To decrease the environmental impact of crop protection measures, there is a recognized need to find alternatives for the control of *B. cockerelli* that are compatible with integrated pest management (IPM) practices. The biological control through the use of predators has attracted particular interest.

In North America, Butler and Trumble (2012) listed nine predators species attacking *B. cockerelli* eggs and nymphs in open fields, including four species of coccinellids (*Hippodamia convergens* Guérin-Méneville, *Hippodamia quinquesignata* [Kirby], *Hippodamia tredecimpunctata* [L.], and *Hippodamia americana* [Crotch]), and five species of Hemiptera (*Geocoris decoratus* Uhler, *Orius tristicolor* [White], *Anthocoris tomentosus* Pericart, *Deraeocoris brevis* [Uhler], and *Nabis fesus* [L.]). In Mexico, the first report of the zoophytophagous *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae) attacking a population of *B. cockerelli* occurred in a tomato crop in a greenhouse of the Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) located in El Trébol, municipality of Tarímbaro, Michoacán (Martínez *et al.* 2014). Although *B. cockerelli* originates from North America and is since long known as an important pest, research on *E. varians* on this pest has only started recently. For instance, basic studies about the life cycle and several life parameters of this insect have been examined only under laboratory conditions. Martínez *et al.* (2014) reported the first promising results about the mirid predator *E. varians* when exposed to *B. cockerelli* on tomato. During a 24 h period, fourth instar *E. varians* preyed on 46% of the third instars of *B. cockerelli* (Martínez *et al.* 2014), whereas adult females consumed around 80% of both eggs and second instars of this pest (Velázquez *et al.* 2014). During its nymphal stage, *E. varians* consumed 80 and 85 *B. cockerelli* nymphs when fed third instars only and third instars + eggs of the grain moth, *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae), respectively (Pineda *et al.* 2016). In addition, *E. varians* has showed high fecundity and survival rates on tomato plants (S. Pineda, Unpublished data). However, beyond these early basic studies on *E. varians*, its potential as biological agent against *B. cockerelli* remains largely unknown.

Engytatus varians is an omnivore because it can to feed both on insects and plants (Martínez *et al.* 2014). This predator damages the tomato plants by causing brown rings on the leaves and stems and flower abortion (Pineda *et al.* 2016). Therefore, the balance between

injury to the plant and biological control of *B. cockerelli* must also be studied. In order to contribute to the integration of *E. varians* as a biological control agent of *B. cockerelli*, the effectiveness of this predator under greenhouse conditions was evaluated in this study. Damages caused for this predator, through the number of necrotic rings per leaf of tomato plants, was also determined.

2. Materials and Methods

2.1. Insects and rearing

Bactericera cockerelli and *E. varians* were obtained from the colonies maintained in the Entomology Laboratory of the IIAF of the UMSNH. The entire rearing process of both colonies was completed at ~25 °C, 56% RH, and with a photoperiod of ~12:12 h (L: D). *Bactericera cockerelli* colony had no history of insecticide exposure. Nymphs and adults were reared on tomato plants (variety Saladete) (~30 cm in height with five to seven fully expanded leaves) in three frame boxes (50 x 50 x 50 cm) entirely covered by a mesh screen. New host plants were supplied as needed. The sex ratio under these conditions was 1:1 (male: female).

Nymphs and adults of *E. varians* were maintained on tomato plants in three frame boxes identical to described above. Every four days, eggs of *S. cerealella* (Eco-FEL MICH, Uruapan, Michoacán, Mexico) were deposited on tomato leaves were supplied to the adults and nymphs. Tomato plants were used as oviposition substrate and water source. A 5% (w/v) solution of sugar (Chedraui®, Xalapa, Veracruz, Mexico) was also supplied to the predator in Eppendorf® (1.5 mL) tubes with a piece of cotton and replaced every 3 d to prevent fungal growth. This solution of sugar was offered to *E. varians* because in adults of *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) (species of the same subfamily and biologically comparable to *E. varians*), the fecundity increased when fed with eggs of the Mediterranean flour moth, *Ephesia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), plus a 17.1 % (w/v) sugar solution (Urbaneja-Bernat *et al.* 2013, 2015).

2.2. Plant material and experimental design

Tomato seeds (var. Saladette) were allowed to germinate in a humus-rich soil in individual 3 cm pots. One month after sowing (on 13 May 2015), the plants were transplanted individually to polyethylene black plastic bags (40 cm diameter x 45 cm high) containing a mixture of volcanic gravel known locally as “tezontle” (size of 2-5 mm) and humus-rich soil

(1:1). Three days after transplanting (on 16 May 2015), eight tomato plants were placed in each of 12 experimental cages (1.6 x 2 x 2.5 m) constructed with polyvinyl chloride (2 inches diameter) inside of a greenhouse. These cages were entirely covered by a mesh screen to prevent the insects from escaping or entry. The plants were placed in two rows; each of four plants separated each from another by 30 cm. Each cage was accessed by an independent door secured through two polyamide strips (Velcro®). After being placed in the cages, to prevent fungal diseases, plants were treated with 1 mL of the fungicide Promess 720® (66.90% propamocarb clorhidrate, Helm, Hamburg, Germany) diluted in 1 L of water. The first month of the experiment tomato plants were fertilized each three or four days with 250 mL of a 50% nutritive solution of macronutrients (Ca[NO₃]₂, MgSO₄, KH₂PO₄, KNO₃, and K₂SO₄) (Steiner 1984) with micronutrients (Iron, manganese, boron, zinc, copper, and molybdenum) (Kelatex-Multi®, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México). After that, 500 mL of this nutritive solution was used for each plant.

Two release rates of *E. varians* treatments were analyzed: i) 1 adult/plant (1 Ev/plant) and ii) 4 adults/plant (4 Ev/plant). A control that received no predator release also was included. A randomized complete block design was used with four replicates for each treatment. Predator release was done at sex ratio of 1:1 (male: female) only once during the experiment. These release rates were chosen based on studies with other mirid species, such as *N. tenuis* (Calvo and Urbaneja 2004, Calvo *et al.* 2009) and *Dicyphus hesperus* Knight (Hemiptera: Miridae) (Calvo *et al.* 2016). The aim of the higher rate was to test the effects of an excessive number of predators, like case of *N. tenuis* (Calvo *et al.* 2009). On May 23, 2015, a week after start the experiment, each experimental cage was infested with 64 *B. cockerelli* adults (≤ 5 d old), which were chosen randomly from one group of ~1000 individuals obtained from the rearing of this insect. These adults were placed, using a mouth aspirator, in a ventilated plastic cup (280 mL). We infested with 64 adults of *B. cockerelli* per experimental cage in order to simulate a strong and early attack of the pest. The release of *B. cockerelli* adults was made when tomato plants had three or four fully expanded leaves. For this, the plastic cup contained *B. cockerelli* adults was open and placed in the center of the experimental cage between the two rows of tomato plants.

On June 06, 2015, two weeks after *B. cockerelli* were released, just after second evaluation, adults of *E. varians* (<4 d old), selected at random from one group of 250 individuals, were released. With this age, and in the presence of males, *E. varians* females had been mated and trained for predation (Velázquez *et al.* 2014). *Engytatus varians* adults were released as described for *B. cockerelli*, when tomato plants had 5-6 fully expanded leaves. In addition, as a food supplement for predator, in each row of tomato plants a plastic cup (50 mL) with 40 mL of a 85 g/L sugar solution with a cotton wick was placed at a height of 20 cm, between the first two plants of the one row and between the last two plants of the another row. This solution of sugar was replaced every four days for a period of three weeks and retired on June 27, 2015, just after the fifth assessment.

2.3. Experimental conditions and tomato cultivation practices

The experiment was realized in a 8 x 25 m greenhouse covered with polyethylene plastic and anti-aphids polyethylene screening. Temperature and relative humidity were measured inside the greenhouse, using a Datalogger (Hobo[®], model U10, Bourne, MA), which was placed at 1.5 m in high into the central cage of the greenhouse. Temperature and humidity within the greenhouse fluctuated little during the time of the experiment (23 May to 15 August 2015). On average, the temperature ranged between 25.6 and 22.5 °C, with an absolute maximum and minimum of 40.2 and 13.8 respectively (Fig. 1A), while the average relative humidity ranged between 72 and 61.3%, with absolute values of 93.4 and 25.9 % maximum and minimum, respectively (Fig. 1B).

During the experiment, traditional practices of greenhouse tomato cultivation in Mexico were followed according to Benavides-Mendoza *et al.* (2010). In each experimental cage, tomato plants were trained to a high of 2.5 m using a polyethylene white string. Through pruning, secondary shoots were eliminated weekly as well as old leaves and damaged flowers.

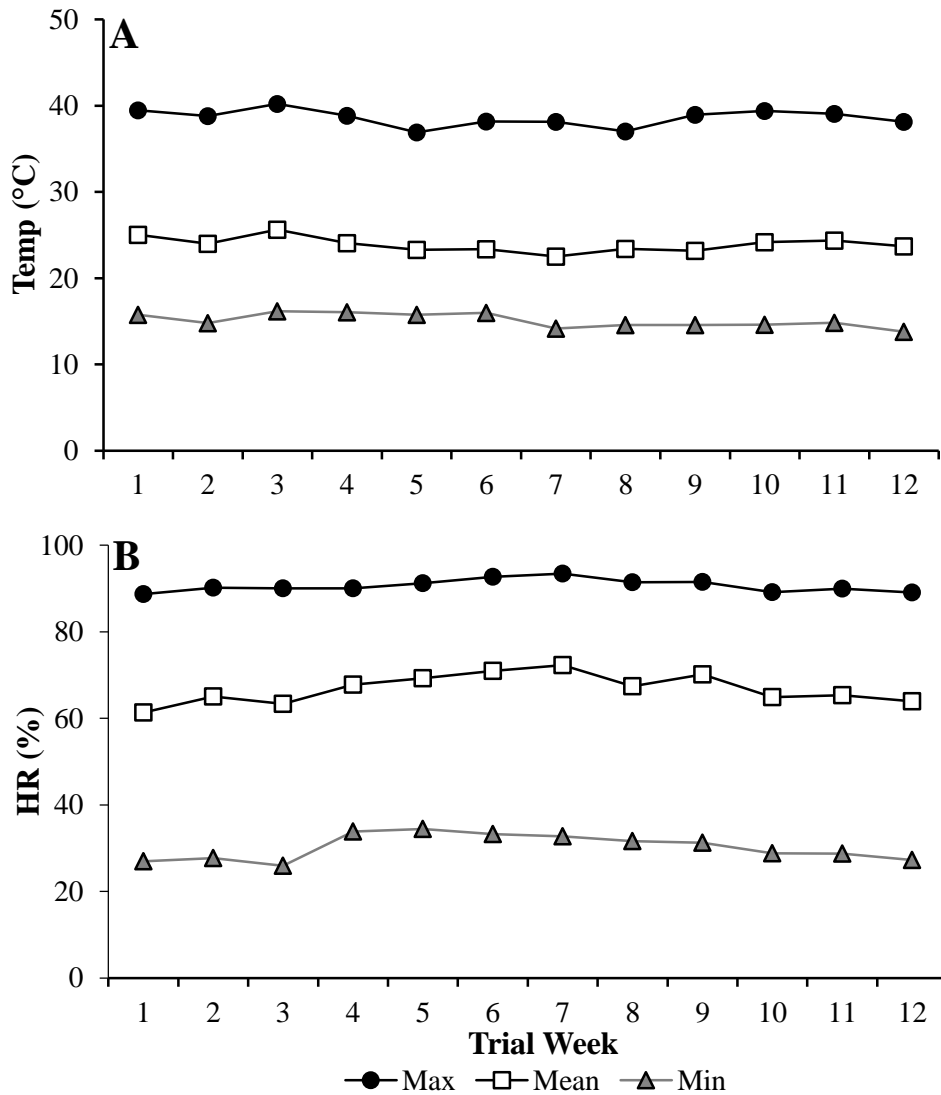


Figure 1. Temperature (A) and relative humidity (B) in the greenhouse during the experiment.

2.4. Evaluations

An initial evaluation was made at 7 days (d) post release of *B. cockerelli* adults at each experimental cages. Thereafter, an additional 12 evaluations were made 7 d intervals. The first and second evaluations were made only for *B. cockerelli*. At each sample time, six plants per experimental cage were randomly selected and one leaf of the middle strata per plant was carefully examined. The number of nymphs and adults of *B. cockerelli* observed on each leaf was recorded. From third evaluation to the end of the experiment, the sampling was made in the seven apical leaves of each tomato plant; from each all nymphs and adults of *E. varians*, as well as necrotic rings, were counted. After that, sampling of nymphs and adults of *B.*

cockerelli was made as described previously. To avoid contamination among treatments, evaluations were realized first in cages of the controls and then in 1 and 4 Ev/plant treatments.

2.5. Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the General Linear Models procedure, with the least significant difference (LSD) multiple range test ($P < 0.05$) to separate means. The accumulated number of insects (adults and nymphs of both *B. cockerelli* and *E. varians*) per day as well as that of the necrotic rings was calculated according to Ruppel (1983):

$$\text{Accumulated number of insects per day} = (X_{i+1} - X_i) [(Y_i + Y_{i+1}) \div 2]$$

where X_i and X_{i+1} , are adjacent points of time and Y_i and Y_{i+1} are the corresponding points of insect number. The accumulated number of insect per day was computed by sequentially summing the individual insect-days. After that, data were subjected to one-way ANOVA followed by a Tukey's test to separate means. All analyses were performed with the SAS software system (SAS/STAT version 8.1; SAS Institute, Cary, NC). All data were expressed as the mean \pm standard error (SE).

3. Results

3.1. *Bactericera cockerelli* population densities

Adult populations of *B. cockerelli* depended to the release rates of *E. varians* adults. In the control, generally, the number of *B. cockerelli* adults/leaf exponentially increased during all experiment period (Fig. 2A). From 5th evaluation week, significant differences ($F_{35,811} = 27.84$; $P < 0.0001$) were observed between the control (41.20 ± 7.42 adults/leaf) and 1 and 4 Ev/plant (12.20 ± 2.35 and 7.45 ± 1.80 adults/leaf, respectively) treatments. In the control, the highest values of *B. cockerelli* adults/leaf were recorded in the last three weeks of evaluation (89.31 ± 17.13 , 109.41 ± 20.38 , and 98 ± 19.20 adults/leaf for the 10th, 11th, and 12th weeks, respectively). During all experiment, in 1 Ev/plant treatment, the number of *B. cockerelli* adults/leaf was between 0.45 ± 0.14 and 20.41 ± 3.45 , while in 4 Ev/plant was

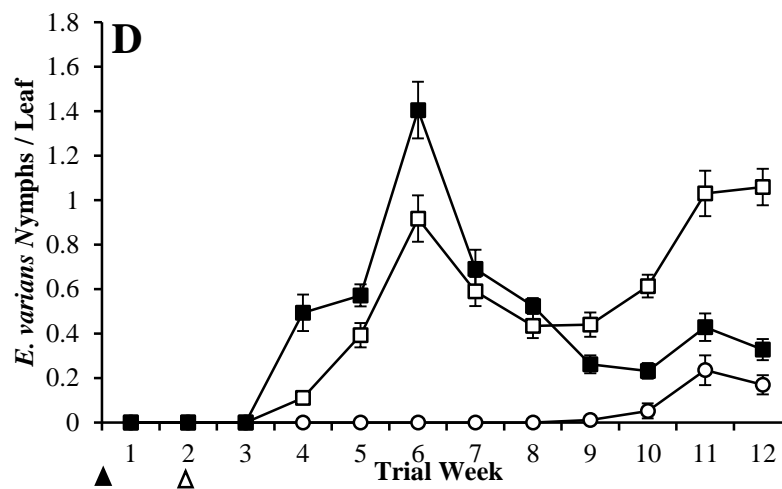
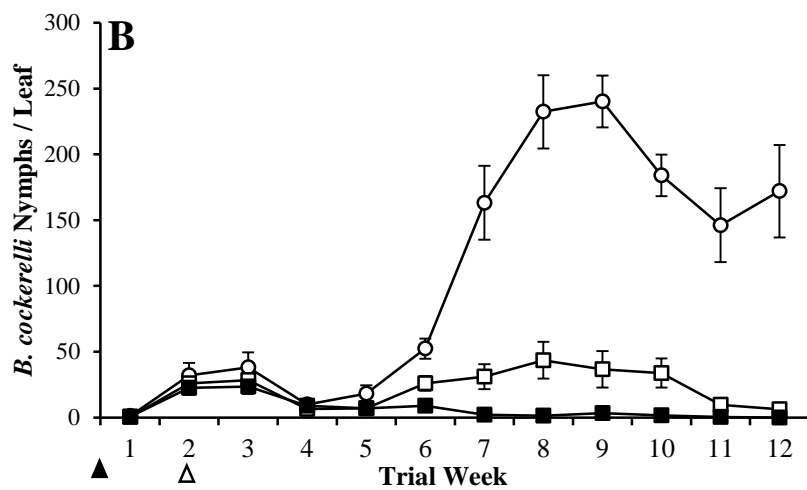
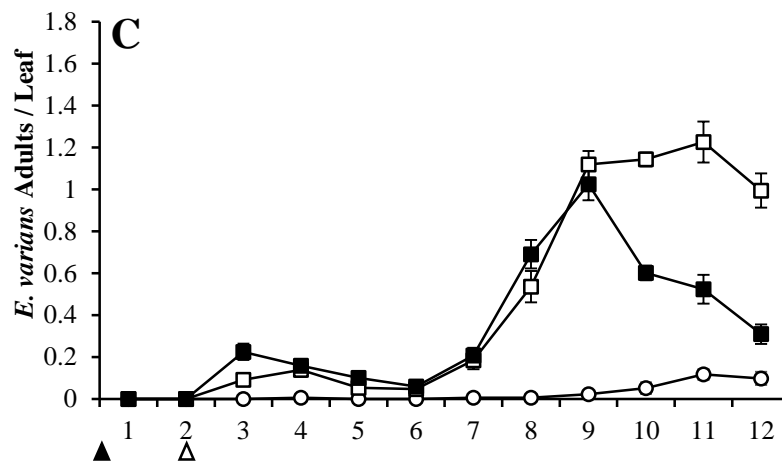
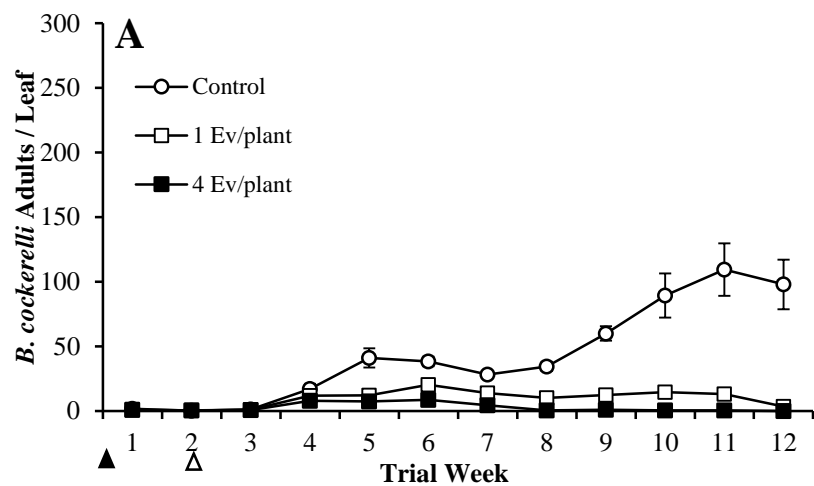


Figure 2. Populations densities (mean \pm SE) of adults (A) and nymphs (B) of *B. cockerelli*, and adults (C) and nymphs (D) of *E. varians* where were released 0, 1 and 4 Ev/plant, throughout the experiment. \blacktriangle *B. cockerelli* release, \triangle *E. varians* release.

between 0.08 ± 0.05 and 8.6 ± 0.22 . Significant differences were observed between both release rates of predator from 4th evaluation week. Significant differences ($F_{2,9} = 81.98$; $P < 0.0001$) were also observed between both release rates of predator and control respect to accumulated *B. cockerelli* adult per day (Table 1).

Table 1. Average (\pm SE) of nymphs and adults of *B. cockerelli*, nymphs and adults of *E. varians*, and necrotic rings accumulated per day for treatments receiving 0, 1 and 4 *E. varians* per plant.

	Release rate (individuals/plant)		
	Control	1 Ev/plant	4 Ev/plant
<i>B. cockerelli</i>			
Adults ^a	3355.19 \pm 291.14a	786.92 \pm 124.03b	234.5 \pm 36.56b
Nymphs ^b	8584.70 \pm 816.53a	1760.65 \pm 482.02b	561.16 \pm 46.60c
<i>E. varians</i>			
Adults ^c	1.89 \pm 0.35a	35.26 \pm 1.65b	26.23 \pm 1.49c
Nymphs ^d	2.49 \pm 0.84a	35.40 \pm 1.91b	33.39 \pm 1.48b
Necrotic Rings ^e	0 \pm 0a	1.15 \pm 0.81a	4.23 \pm 2.24a

Means in the same row followed by the same letter are not significant different (Tukey, $P < 0.05$).

Significant differences ($F_{35,811} = 36.57$; $P < 0.0001$) were observed respect to the number of *B. cockerelli* nymphs/leaf from 6th week between the three treatments (Fig. 2B). In the control, from the 4th to 9th week, the number of *B. cockerelli* nymphs/leaf exponentially increased and was between 18.04 ± 6.38 and 240.20 ± 19.61 . However, in the 10th, 11th, and 12th weeks, the number of nymphs decreased to 184.04 ± 15.89 , 146.17 ± 28.01 , and 172 ± 35.21 , respectively. From 5th week of evaluation to end of experiment, in 1 Ev/plant treatment, the number of *B. cockerelli* nymphs/leaf was between 6.95 ± 1.42 and 43.5 ± 14.03 , whereas it was ≤ 3 nymphs/leaf when the release rate was 4 Ev/plant, with exception to 5th and 6th weeks where 7 and 9 nymphs/leaf were recorded, respectively. Accumulated *B. cockerelli* nymph per day was significantly different ($F_{2,9} = 62.35$; $P < 0.0001$) among three treatments (Table 1).

3.2. *Engytatus varians* population densities

The presence of *E. varians* adults in cages that received 1 and 4 Ev/plant was observed from 3th week and, generally, the number of individuals increased exponentially (Fig. 2C). In both treatments, the number of *E. varians* adults/leaf was very similar from 3th to 9th week (between 0.09-1.11 and 0.22-1.02 for 1 and 4 Ev/plant, respectively). However, in the last three weeks of the experiment, in 1 Ev/plant treatment, the number of *E. varians* adult/leaf was conserved around 1, whereas in 4 Ev/plant treatment decreased around 0.50. From 3th week to end of experiment, significant differences were observed ($F_{35,811} = 93.26$; $P < 0.0001$) between treatments where predator release was done and the control, with exception to 5th and 6th weeks. Surprisingly, in the last four weeks of the experiment predator adults were observed in the control, but it was never higher than 0.1 adult/leaf. Accumulated *E. varians* adults per day was significantly different ($F_{2,9} = 181.06$; $P < 0.0001$) among three treatments (Table 1).

Engytatus varians nymphs were initially observed at 4th week with 0.11 ± 0.02 and 0.49 ± 0.08 nymphs/leaf for 1 and 4 Ev/plant, respectively (Fig. 2D). In both treatments, these values exponentially increased until 6th week with maximum picks of 0.91 ± 0.10 and 1.4 ± 0.12 nymphs/leaf for both treatments, respectively. Thereafter, in cages where 1 Ev/plant was released, the number of nymphs/leaf of this predator decreased until 0.43 ± 0.05 in 8th week but after it gradually increased to reach 1.05 ± 0.08 nymphs/leaf in the last week. On the another hand, when 4 Ev/plant were released, the number of nymphs/leaf increased until 1.4 ± 0.12 , however, predator nymphs decreased until 0.23 ± 0.03 nymphs/leaf in the 10th week and it was around 0.35 nymphs/ leaf in the last two week of the experiment. *Engytatus varians* nymphs were observed in the control, although the number was ≤ 0.23 nymphs/leaf and were observed only in the last four weeks. Significant differences ($F_{2,9} = 156.35$; $P < 0.0001$) were observed between both release rates of predator and control respect to accumulated *B. cockerelli* nymphs per day (Table 1).

3.3. Necrotic rings

Necrotic rings appeared in the 6th week of the experiment and increased from 0.01 ± 0.01 to 0.05 ± 0.04 and from 0.02 ± 0.01 to 0.21 ± 0.04 when 1 and 4 Ev/plant were released, respectively (Fig. 3). No presence of necrotic rings was observed in the control. No

significant differences ($F_{2,9} = 2.73$; $P = 0.118$) were observed between both release rates of predator and control respect to necrotic rings per day (Table 1).

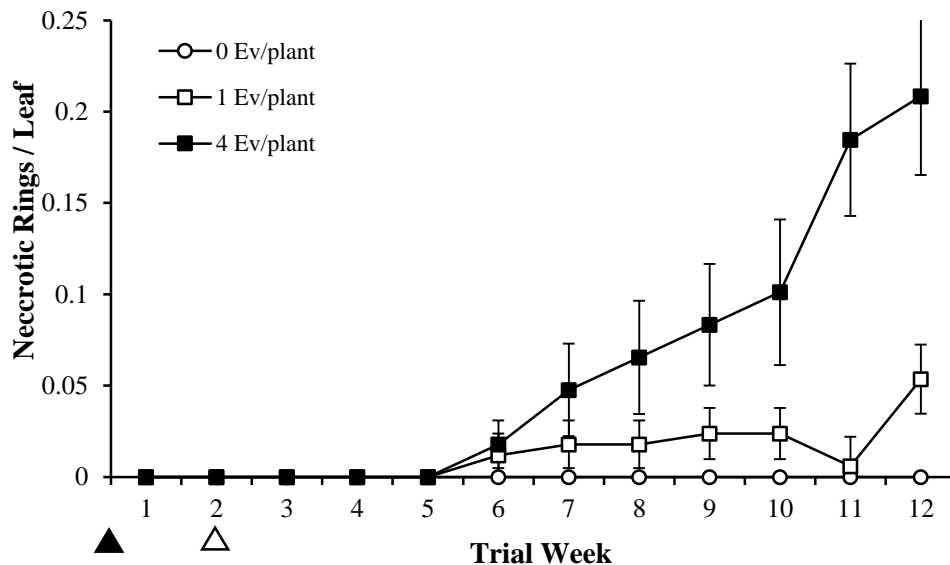


Figure 3. Necrotic rings/leaf (mean \pm SE) in different weeks in the treatments where were released 0, 1 and 4 adults *E. varians*/plant. \blacktriangle *B. cockerelli* infestation \triangle *E. varians* release.

4. Discussion

There are several studies in which the potential of predator mirids has been determined as agents for biological control (i.e., *Dicyphus tamaninii* Wagner; Castañé *et al.* 2009, *D. hesperus*; Gillespie *et al.* 2007, *Macrolophus pygmaeus* Rambur; De Backer *et al.* 2015, and *N. tenuis*; Belda *et al.* 2011). *Engytatus varians* is known as a predator of a number of vegetables pests including aphids, pseudococids, whiteflies and lepidopterans (Illingworth 1937, Castineiras 1995, Bueno *et al.* 2013); however, there is no information about its evaluation under greenhouse conditions. Based in our own results, this predator drastically reduced the populations of *B. cockerelli* with little differences observed between the two release rates, since reductions of both nymphs and adults of this pests were up \sim 80% and \sim 90% with only one release of 1 and 4 Ev/plant, respectively. Other mirids species has also showed potential to reduce populations of different insect pest, including that of the present study. For instance, when *D. hesperus* was released at rate of 1 adult/plant, populations of

both nymphs and adults of *B. cockerelli* (81-94%) and *B. tabaci* (78-89%) were reduced in a similar way in two experiments realized in summer and autumn-winter seasons (Calvo *et al.* 2016). *Nesidiocoris tenuis*, *M. pygmaeus*, and *Dicyphus maroccanus* Wagner, reduced the populations of the aphid *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) by ~98% when 2 adults/plant of predators were released in pepper crop (Pérez-Hedo and Urbaneja 2014); while *D. hesperus* reduced the population of the trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) by 70% when the release rate was 1 adult/plant (Shipp and Wang 2006). Also, when *N. tenuis* was released at rate of 1 adult/plant, populations of nymphs and adults of *Bemisia tabaci* Gennadius were reduced by 62 and 81%, respectively; while when release rate of predator was 4 adults/plant, reduction of both life stages of the pest was 90% (Calvo *et al.* 2009). Differences of the results reported by all these authors and ours, at least when *E. varians* was released at 1 adult/plant, can be due to the release rate of the insect pest used. We released, only once, 8 adults/plant of *B. cockerelli* (= 4 female/plant), while Calvo *et al.* (2016), simulating a gradual infestation of the pest, released weekly between 0.1 and 0.2 adults of *B. cockerelli*/plant during fourteen weeks up to have 2 adults/plant, whereas *B. tabaci* 1 and 2 adults/plant were released weekly up to have 20 adults/plant.

Under our experimental conditions, *E. varians* was successfully established on the tomato crop. The maximum values of nymphs/leaf (1.02 and 1.4 for 1 and 4 Ev/plant treatments, respectively) and adults/leaf (1.14 and 1.02 for 1 and 4 Ev/plant treatments, respectively) of this predator were practically the same in the two release rates evaluated, similar to that reported for nymphs/leaf (0.8 and 1.6 for 1 and 4 *N. tenuis* adults/plant treatments, respectively) and adults/leaf (0.9 and 0.8 for 1 and 4 *N. tenuis* adults/plant treatments, respectively) of *N. tenuis* (Calvo *et al.* 2009). On other studies, a mixture of 0.4 and 1.7 of nymphs and adults/leaf of *D. hesperus* was registered in a study realized in summer, and another realized in autumn-winter seasons, respectively (Calvo *et al.* 2016), whereas a mixture of between 1.5 and 2.7 of nymphs and adults/leaf of *N. tenuis*, *D. maroccanus* or *M. pygmaeus* were recorded when these predators were released in sweet peppers (Pérez-Hedo and Urbaneja 2014).

The *E. varians* establishment in the present study could be associated principally with the following three factors. First, a high availability of eggs and nymphs of *B. cockerelli* as consequence of the release of *B. cockerelli* adults two weeks before of the *E. varians* release,

which confirm that all life stages of the psyllid are an excellent food source for this predator (Velázquez 2014, Mena 2016, Pineda *et al.* 2016). Second, the presence of a supplement food (sugar solution at 8.5 %) during three weeks after predator adults were released. This establishment tactic has been used previously by Urbaneja-Bernat *et al.* (2015) who offered little more than two times of sugar solution (17.1 % (w/v) to *N. tenuis* during five weeks after its release, also in tomato crop under greenhouse conditions. Third, hairy plants offer better favorable conditions for development and enhance the fitness of mirids predators such as fecundity, fertility, and longevity, among others, than glabrous plants. To this respect, fecundity of *D. hesperus* or *M. pygmaeus* was higher in tomato, eggplant (*Solanum melongenan* L.), chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) and mullein (*Verbascum thapsus* L.) compared with that obtained in maize (*Zea mais* L.) (Perdikis y Lykouressis 2002, Sanchez *et al.* 2004). On another hand, the fertility and longevity of *M. caliginosus* females was also higher when developed on both tomato and geranium, *Pelargonium peltatum* L., than when did on pepper (Hamdan 2006). A high power of increase in fecundity and fertility is a very desirable attribute to overtake and suppress the pest population, especially if the natural enemy is to be used for inoculative releases (Packer and White 1977). Another important feature for a successful predator is to live for a long period on the prey: long-lived adults joined with a voracious feeding, is crucial in a successful suppression of pest populations (Hagen *et al.* 1976; Al-Zyoud *et al.* 2006), as has been observed in current study.

The usage of mirid predators is still considered controversial due to their potential for causing plant damages (Silva *et al.* 2016) when there is a lack of prey. To avoid this, several strategies have been developed to provide alternative foods to increase the probabilities of its establishment. Under greenhouse conditions, and in prey absence, *N. tenuis* (Calvo *et al.* 2012ab, Alonso 2015) and *D. hesperus* (Calvo *et al.* 2016) were well established on tomato crop when *E. kuehniella* eggs or *Artemia* sp. (Anostraca: Artemiidae) cysts were provided during 2 or 5 weeks after release. These alternatives food sources, however, are expensive with a cost of \$400 (Urbaneja-Bernat *et al.* 2015) and \$250 USD per kg (Alonso *et al.* 2015) for each, respectively; therefore, their use increasing the production costs in the crops. In Mexico, the only alternative food for *E. varians* is *S. cerealella* eggs, which are used actually for the rearing process of this predator in our laboratory. However, *S. cerealella* eggs are difficult to get them and they are also costly (approximately \$300 USD per kg). Therefore, it

is necessary to study other supplementary fictitious foods cheaper in order to improve the mass-rearing of this promising candidate for biological control.

The decreasing of both nymphs and adult populations of *E. varians* in treatment where more individuals were released could be associated with food scarcity. Populations of nymphs and adults of *E. varians* decreased drastically from 7th and 9th week after experiment was started, respectively, which coincide with the lowest population of nymphs of *B. cockerelli* (range 0-3.2 nymphs/leaf) present in cages than received 4 Ev/plant. Similarly, when *B. tabaci* nymphs were scarce, more population of *N. tenuis* adults were observed in the last five weeks of the experiment in cages where a lower number of adults of the predator was released (1 *N. tenuis*/plant) compared in cages where 4 *N. tenuis*/plant were done (Calvo *et al.* 2009). It is clear that available food was not sufficient to maintain the populations of nymphs and/or adults of *E. varians* and *N. tenuis*. Due to lack of the prey, we suppose that there were interactions of cannibalism in *E. varians* individuals, which was also suggested by Calvo *et al.* (2009). To our knowledge, there is not information available about cannibalism in predator mirids in field. However, we observed than both adults and bigger nymphs (fourth- and fifth- instar) of *E. varians* tried prey on smaller nymphs (first- and second-instar), but we are not sure this has occurred. Therefore, more specific research is needed to obtain better understanding about this important aspect. Our hypothesis about cannibalism can be supported due, under laboratory conditions, adults and fourth instar of *D. tamaninii* (Castañé *et al.* 2002) or *M. pygmaeus* (Hamdi *et al.* 2013) fed on first instar of their own species. Besides, these authors reported that cannibalism in these both predators increased according to the lack of the prey.

Engytatus varians is a zoophytophagous species because can to feed on its host plants as well as on insects that live on them (Martínez *et al.* 2014). However, when there is not prey availability, this predator damages the tomato plants (Pineda *et al.* 2016). Here, *E. varians* caused necrotic rings on tomato leaves from 6th week until end of the experiment in the two release rates evaluated. In this period, necrotic rings were coincident with the low availability of *B. cockerelli* nymphs (range 0.45 and 9 nymphs/leaf), at least in experimental cages receiving 4 Ev/plant treatment. Although floral abortions and punctures in fruits were not measured, both were present in the treatment that received the highest *E. varians* release rate, which indicate that this predator is facultatively fed on plant tissues. Similarly, necrotic

rings caused by *N. tenuis*, *D. tamaninii*, and *D. hesperus* on leaves, stems, and fruits of tomato in greenhouse were inversely proportional to the populations of whiteflies nymphs (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood or *B. tabaci*) (Alomar y Albajes 1996, Sanchez 2008, Calvo *et al.* 2009) and nymphs and adults of *F. occidentalis* (Shipp and Wang 2006).

Damages caused by predator mirids on leaves, stems, and fruits could directly impact on the yield of the tomato crop. However, when *N. tenuis* caused abortive fruits, the yield of tomato crop was not affected because the number of damaged fruits was compensated by weight gain in healthy fruits (Sanchez and Lacasa 2008). In addition, these authors reported that the number of punctures on the fruits caused by this predator was very low and it was not significantly different from the controls. On the another hand, it is important to consider the economic thresholds established for these insects in order to predict or prevent their damages to crops. Based in a prediction model, no yield reduction in tomato crop is expected from *N. tenuis* phytophagy when there are <0.65 individuals/leaf, independently of the abundance of its preys (*T. vaporariorum* or *B. tabaci* nymphs), nor for up to 5 individuals/leaf when whiteflies are more than 26 immatures per leaf (Sanchez 2009). Our results are consistent with prediction data of this author because no necrotic rings on tomato leaves were observed the first five weeks of the experiment, when there was <0.67 individuals (nymphs + adults) of *E. varians*/leaf. However, in the 6th week we recorded 0.96 and 1.4 individuals/leaf of predator in treatments of 1 and 4 Ev/plant, respectively, and it coincided with the presence of the first necrotic rings in both treatments. In addition, necrotic rings exponentially increased in the treatment of 4 Ev/plant, where there was up to 9 nymphs/leaf of *B. cockerelli* until the end of the experiment, whereas in the treatment of 1 Ev/plant the number necrotic rings was stable and there was between 25 and 44 nymphs/leaf of the psyllid from 6th to 10th week of the experiment.

In conclusion, this is the first report about evaluation of *E. varians* against *B. cockerelli*. This predator was successfully established under greenhouse conditions, drastically reduced the populations of both nymphs and adults of the pest and did not caused significant damage to tomato plants; therefore, it be considered as a potential biological control agent. Further studies should be realized to determine the effect that releases of *E. varians* may have in different seasons, under traditional management practices of greenhouse

tomato crop, as well as its compatibility with chemicals insecticides used to control populations of *B. cockerelli* in Mexico.

Acknowledgements

Daniel Alberto Pérez-Aguilar received a pre-master fellowship from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Mexico. This work was financially supported by the Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán and the Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, through a grant to Samuel Pineda.

5. References

- Abdullah, N. M. M. 2008. **Life history of the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) in controlled environment agriculture in Arizona.** *African Journal of Agricultural Research*. 3(1): 060-067.
- Al-Zyoud, F., P. Blaeser, C. Sengonca. 2006. **Longevity of the ladybird predator *Serangium parcesetosum* Sicard (Col., Coccinellidae) on natural and artificial nutritional sources.** *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* .15: 251-256.
- Alomar, O., R. Albajes. 1996. **Greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) predation and tomato fruit injury by the zoophytophagous predator *Dicyphus tamaninii* (Heteroptera: Miridae).** En Alomar, O., R. N. Wiedenmann. (Eds.) *Zoophytophagous Heteroptera: Implications for life history and integrated pest management*. Thomas Say Publications in Entomology, Entomological Society of America. Lanham, Maryland, USA. pp 155-177.
- Alonso, V. M. 2015. **Desarrollo biológico e instalación del mírido depredador *Nesidiocoris tenuis* en el cultivo del tomate con quistes desencapsulados de *Artemia* sp. como alimento alternativo.** (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

- Belda, J. E., F. J. Calvo, V. H. P. Bueno. 2011. **Controle Biológico de *Tuta absoluta* em cultivo de tomate com liberações do percevejo predador *Nesidiocoris tenuis* no pré-plantio em casas de vegetação na Espanha.** *Plasticultura*. Ano V. 20:8-20.
- Benavidez-Mendoza, A., V. Robledo-Torres, H. Ramírez, R. A. Sandoval. 2010. **Producción de tomate en el norte de México.** In: Memorias 6° Simposio Nacional de Horticultura. Del 8 al 10 de septiembre 2010. Saltillo, Coahuila.
- Butler, C. D., J. T. Trumble. 2012. **Identification and impact of natural enemies of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Southern California.** *Journal of Economic Entomology*. 105(5): 1509-1519.
- Bueno, V. H. P., J. C. van Lenteren, J. C. Lins Jr, A. M. Calixto, F. C. Montes, D. B. Silva, L. D. Santiago, L. M. Pérez. **New records of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) predation by Brazilian Hemipteran predatory bugs.** *Journal of Applied Entomology*. 137: 29-34.
- Calvo, F. J., A. Torres-Ruiz, J. C. Velázquez-González, E. Rodríguez-Leyva, J.R Lomelí-Flores. 2016. **Evaluation of *Dicyphus hesperus* for biological control of sweet potato whitefly and potato psyllid on greenhouse tomato.** *BioControl*. 61(4):415 – 424.
- Calvo, F. J., K. Bolckmans, J. E. Belda. 2012 a. **Release rate for a pre-plant application of *Nesidiocoris tenuis* for *Bemisia tabaci* control in tomato.** *BioControl*. 57(6): 809-817.
- Calvo, F. J., M. J. Lorente, P. A. Stansly, J. E. Belda. 2012 b. **Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisia tabaci* in greenhouse tomato.** *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 143(2): 111-119.
- Calvo, F. J., K. Bolckmans, P. A. Stansly, A. Urbaneja. 2009. **Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato.** *BioControl*. 54(2): 237-246.
- Calvo, J., A. Urbaneja. 2004. ***Nesidiocoris tenuis* un aliado para el control biológico de mosca blanca.** *Horticultura Internacional*. 44: 20-25.
- Camacho-Tapia, M., R. I. Rojas-Martínez, E. Zavaleta-Mejía, M. G. Hernández-Deheza, J. A. Carrillo-Salazar, A. Rebollar-Alviter, D. L. Ochoa-Martínez. 2011. **Aetiology of Chili pepper variegation from Yurécuaro, México.** *Journal of Plant Pathology*. 93: 331-335.

- Castañé, C., J. Riudavets, O. Alomar. 2009. **El depredador generalista *Dicyphus tamaninii* en el control de poblaciones mixtas de mosca blanca y de trips en pepino de invernadero.** *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*. 32: 29-37.
- Castañé, C., J. Iriarte, E. Lucas. 2002. **Comparison of prey consumption by *Dicyphus tamaninii* reared conventionally, and on a meat-based diet.** *BioControl*. 47(6): 657-666.
- Castineiras, A. 1995. **Natural enemies of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Cuba.** *Florida Entomologist*. 78: 538-540.
- Chávez, E. C., O. H. Bautista, J. L. Flores, L. A. Uribe, Y. M. O. Fuentes. 2015. **Insecticide-resistance ratios of three populations of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) in regions of northern Mexico.** *Florida Entomologist*. 98(3): 950-953.
- Cloyd, R. A., J. A. Bethke. 2011. **Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments.** *Pest Management Science*. 67(1): 3-9.
- Dávila Medina, M. D., E. C. Chávez, L. A. Aguirre Uribe, O. García Martínez, Y. M. Ochoa Fuentes, G. Gallegos Morales, J. Landeros Flores. 2012. **Susceptibilidad y mecanismos de resistencia a insecticidas en *Bactericera cockerelli* (Sulc.) en Coahuila, México.** *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(6): 1145-1155.
- De Backer, L., F.L Wäckers, F. Francis, F. J. Verheggen. 2015. **Predation of the Peach Aphid *Myzus persicae* by the mirid predator *Macrolophus pygmaeus* on sweet peppers: effect of prey and predator density.** *Insects*. 6(2): 514-523.
- FAOSTAT. (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2014. Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de Tomate. Available <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/S>. (Access May 2016)
- Garzón, T. J. A., J. A. Garzón-Ceballos, S. F. Velarde, A. J. Marín, O. G. Cárdenas. 2005. **Ensayos de transmisión del fitoplasma asociado al “Permanente del Tomate” por el psílido *Bactericera cockerelli* Sulc en México.** In: Memorias del Congreso Nacional de Entomología pp. 672-675.
- Gillespie, D.R., R. McGregor, J. A. Sanchez, S. L. VanLaerhoven, D. M. J. Quiring, B. D. Roitberg, R. G. Footitt, M. D. Schwartz, J. L. Shipp. 2007. **An endemic omnivorous**

- predator for control of greenhouse pests.** In: Vincent, C., M. Goettel, G. Lazarovits. (Eds.), *Biological Control: A Global Perspective*. CABI Publishing, UK, pp. 128–135.
- Hagen, K. S., S. Bombosch, J. A. McMurtry. 1976. **The biology and impact of predators.** In: Huffaker, C.B., P.S. Messenger (Eds) *Theory and practice of biological control*. Academic press, Inc. 93-142 pp.
- Hamdan, A. J. S. 2006. **Effect of host-plant species on survival, adult Longevity and fertility of predatory bug, *Macrolophus caliginosus* Wagner [Hemiptera: Miridae].** *Hebron University Research Journal*. 2(2): 1-15.
- Hamdi, F., J. Chadoeuf, B. Chermiti, O. Bonato. 2013. **Evidence of cannibalism in *Macrolophus pygmaeus*, a natural enemy of whiteflies.** *Journal of Insect Behavior*. 26(4): 614-621.
- Hansen, A. K., J. T. Trumble, R. Stouthamer, T. D. Paine. 2008. **A new huanglongbing species, “Candidatus *Liberibacter psyllauros*,” found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc).** *Applied and Environmental Microbiology*. 74(18): 5862-5865.
- Illingworth, J. F. 1937. **Observations on the predaceous habits of *Cyrtopeltis varians* (Dist.) (Hemip.).** *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society*. 9: 458-459.
- Liefting, L. W., Z. C. Perez-Egusquiza, G. R. G. Clover, J. A. D. Anderson. 2008. **A new 'Candidatus *Liberibacter*' species in *Solanum tuberosum* in New Zealand.** *Plant Disease*. 92(10): 1474-1474.
- Liu, D., J. T. Trumble, R. Stouthamer. 2006. **Genetic differentiation between eastern populations and recent introductions of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) into western North America.** *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 118(3): 177-183.
- Liu, D., J. T. Trumble. 2004. **Tomato psyllid behavioral responses to tomato plant lines and interactions of plant lines with insecticides.** *Journal of Economic Entomology*. 97(3): 1078-1085.
- Martínez, A. M., M. Baena, J. I. Figueroa, P. D. Estal, M. Medina, E. Guzmán-Lara, S. Pineda. 2014. **Primer registro de *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en México y su depredación sobre *Bactericera cockerelli* (Šulc) (Hemiptera: Triozidae): una revisión de su distribución y hábitos.** *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*. 30(3): 617-624.

- Mena, M. L. 2016. **Características biológicas y reproductivas de *Engytatus varians* (Distant) y *Dicyphus maroccanus* Wagner (Hemiptera: Miridae), depredadores zoofitófagos de plagas de solanáceas.** (Tesis de Maestría). Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Munyanza, J. E., V. G. Sengoda, J. M. Crosslin, J. A. Garzón-Tiznado, O. G. Cardenas-Valenzuela. 2009. **First report of “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” in pepper plants in Mexico.** *Plant Disease*. 93(10): 1076-1076.
- Munyanza, J. E., J. M. Crosslin, J. E. Upton. 2007. **Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with “zebra chip,” a new potato disease in southwestern United States and Mexico.** *Journal of Economic Entomology*. 100(3): 656-663.
- Packer, J. S., D. White. 1977. Proceedings of XV International Congress of Entomology. In Entomological Society of America. 1st. International Congress of Entomology. Washington, DC (USA). 19-27 Aug 1976.
- Perdikis, D. C., D. P. Lykouressis. 2002. **Life table and biological characteristics of *Macrolophus pygmaeus* when feeding on *Myzus persicae* and *Trialeurodes vaporariorum*.** *Entomologia experimentalis et applicate*. 102(3): 261-272.
- Pérez-Hedo, M., A. Urbaneja. 2014. **Prospects for predatory mirid bugs as biocontrol agents of aphids in sweet peppers.** *Journal of Pest Science*. 88(1): 65-73.
- Pineda, S., M. Medina, J. I. Figueroa, T. J. Henry, L. V. Mena, J. M. Chavarrieta, A. M. Martínez. 2016. **Life history, diagnosis, and biological aspects of *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae), a predator of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae).** *Biocontrol Science and Technology*. 26(8): 1073–1086.
- Ponce, C. P. 2013. **Tomate en Invernadero, panorama de producción en México y recomendaciones al escoger su estructura.** *Productores de Hortalizas*. August 2013
- Ruppel, R. F. 1983. **Cumulative insect-days as an index of crop protection.** *Journal of Economic Entomology*. 76(2): 375-377.
- Sanchez, J. A. 2009. **Density thresholds for *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) in tomato crops.** *Biological Control*. 51(3): 493-498.
- Sanchez, J. A. 2008. **Zoophytophagy in the plantbug *Nesidiocoris tenuis*.** *Agricultural and Forest Entomology*. 10(2): 75-80.

- Sanchez, J. A., A. Lacasa. 2008. **Impact of the zoophytophagous plant bug *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) on tomato yield.** *Journal of Economic Entomology*. 101(6): 1864-1870.
- Sanchez, J. A., D. R. Gillespie, R. R. McGregor. 2004. **Plant preference in relation to life history traits in the zoophytophagous predator *Dicyphus hesperus*.** *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 112(1): 7-19.
- Shipp, J. L., K. Wang. 2006. **Evaluation of *Dicyphus hesperus* (Heteroptera: Miridae) for biological control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse tomato.** *Journal of economic entomology*. 99(2): 414-420.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo “Modalidad riego + temporal”. Available <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. (Access May 2016)
- Silva, D. B., V. H. P. Bueno, F. J. Calvo, J. C. Van Lenteren. 2016. **Do nymphs and adults of three Neotropical zoophytophagous mirids damage leaves and fruits of tomato.** *Bulletin of Entomological Research*. pp. 1–8. DOI: 10.1017/S0007485316000778.
- Teulon, D. A. J., P. J. Workman, K. L. Thomas, M. C. Nielsen. 2009. ***Bactericera cockerelli*: incursion, dispersal and current distribution on vegetable crops in New Zealand.** *New Zealand Plant Protection*. 62: 136-144.
- Urbaneja-Bernat, P., O. Mollá, M. Alonso, K. Bolckmans, A. Urbaneja, A. Tena. 2015. **Sugars as complementary alternative food for the establishment of *Nesidiocoris tenuis* in greenhouse tomato.** *Journal of Applied Entomology*. 139(3): 161-167.
- Urbaneja-Bernat, P., M. Alonso, A. Tena, K. Bolckmans, A. Urbaneja. 2013. **Sugar as nutritional supplement for the zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis*.** *BioControl*. 58(1): 57-64.
- Velázquez, Y.B.R., S. I. Morales, S. Pineda, L. V. Mena, J. M. Chavarrieta, A.M. Martínez. 2014. **Depredación de la chinche *Engytatus* sp. (Hemiptera: Miridae) sobre huevos y ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemíptera: Triozidae).** *Entomologia Mexicana*. 13: 208-212.
- Walker, P. W., G. R. Allen, R. S. Tegg, L. R. White, C. R. Wilson. 2015. **The tomato potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Šulc, 1909) (Hemiptera: Triozidae): a review of the**

threat of the psyllid to Australian solanaceous crop industries and surveillance for incursions in potato crops. *Austral Entomology*. 54(3): 339-349.

CAPÍTULO III

Lethal and sublethal effects caused for some insecticides on *Engytatus varians*, a predator of *Tuta absoluta*

Abstract

The mirid *Engytatus varians* (Distant) is a promising biological control agent of the tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), the most destructive pest of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). We evaluated five insecticides commonly used against *T. absoluta* on tomato crops in Brazil, for their effects on *E. varians* in laboratory and semifield conditions. The residues of chlorfenapyr, thiamethoxam, abamectin, and imidacloprid on glass Petri dish caused >90% mortality on both nymphs and adults of the predator 72 h posttreatment, with exception to the last compound that caused 78% on nymphs. Teflubenzuron caused 24 and 66% mortality on adults and nymphs, respectively. The offspring of females derived from treated nymphs with teflubenzuron was significant lower than the control but not when females were treated as adult. Longevity of males derived from nymphs treated with teflubenzuron was significant reduced compared with the control, but not effects were observed on females. When males and females were treated as adults with teflubenzuron there were not effects on their longevity compared to control. In the greenhouse-aged tomato plants, the 2 hours-old residues of thiamethoxam, chlorfenapyr, and abamectin caused more than 70% of mortality of third-fourth instar of *E. varians* at 72 h posttreatment, while at 12 days-old, the mortality was lower than 30% for all three compounds. These data suggest that the use of these insecticides in combination with *E. varians* in integrated pest management programs should be carefully evaluated.

Key words: Tomato borer, mirid, pesticides, sublethal effects, predator.

1. Introduction

The tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), is a major pest in tomato crops in many countries, both in greenhouse and open field (Desneux et al. 2010; Guedes and Picanço 2012). Although it is originally from South America (Tropea Garcia et al. 2012), this pest is now present in several parts of Europe, Africa (Desneux et al. 2010, 2011; Kılıç 2010), Asia (India) (Sridhar et al. 2014; ICAR 2015), and Central America (Panama and Costa Rica) (EPPO 2014).

Larvae of this pest cause severe damage to the tomato plant, feeding of leaves, apical buds, stems, flowers, and fruits. (Urbaneja et al. 2012; Silva et al. 2013). After hatching, the larvae penetrate the leaves, consuming the mesophyll and leaving intact the epidermis, creating conspicuous mines on which they feed and develop, and it also feed on stems, forming galleries in the insertion of the leaflets, causing damage to future inflorescences (Aguado-Martinez et al. 2010). Tomato fruits can be damaged as soon as they are formed (Desneux et al. 2010). If control measures are not applied, *T. absoluta* can to cause losses between 80-100% on tomato crop (Desneux et al. 2010; Urbaneja et al. 2012).

In Brazil, the use of insecticides is the main strategy to control of *T. absoluta* and other pests in tomato, which demands a high number of applications in the whole crop cycle (Bueno et al. 2013; Guedes and Picanço 2012). There is a great diversity of insecticide classes commonly used in tomato crops in Brazil, such as carbamates, neonicotinoids, pyrethroids, avermectins, spinosyns, and insect growth regulators (Villas Bôas et al. 2009; AGROFIT 2015). However, *T. absoluta* has high capacity to develop resistance towards the majority of conventional compounds, and the control achieved by the insecticides might not be successful (Guedes and Picanço 2012). In addition, excessive use of chemical insecticides affects natural enemies, results in secondary pest outbreaks and leads to other environmental and human health damages (Margni et al. 2002, Abdollahi et al. 2004).

In order to avoid these problems, there is a recognized need to find other methods to control *T. absoluta*, such as biological control. In this context, Bueno et al. (2013) evaluated five heteropteran predators preying *T. absoluta* eggs on tomato seedlings and they reported that the highest predation rates were caused by three mirid bug species, including *Engytatus*

varians (Distant) (Hemiptera: Miridae). These authors observed that *E. varians* consumed on average 92 eggs in 24 h. According to the same authors, this predator is also capable of preying on *T. absoluta* larvae of inside the leaf. Moreover, Silva et al. (2016) reported the life history of *E. varians* on tomato plants preying eggs and first instar larvae of *T. absoluta*; this authors reported a nymphal development of 17 days, immature survival higher than 70%, fecundity of 106 nymphs/female and a longevity of ~24 and ~30 days for males and females, respectively, suggesting that this predator might be an interesting candidate to be released in tomato crops to control *T. absoluta*.

However, the compatibility of insecticides and natural enemies in integrated pest management is a critical point for the success of these programs. It is well known that the natural enemies, like predators, are more susceptible to pesticides, not only in mortality that some compounds can cause to these arthropods, but also in the side-effects on the physiology and behavior, which may have significant consequences on the different life parameters and affect the efficiency of natural enemies (Desneux et al. 2007).

There are no studies that have examined the impact of insecticides on *E. varians* yet; however; there are researchs about the lethal and sublethal effects that some compounds can cause on themirid bugs *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) and *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) (Arno y Gabarra 2011; Martinou et al. 2014). The aim of this study was to evaluate the lethal (direct mortality) and sublethal (adult longevity and offspring) effects of five conventional insecticides commonly used in tomato crops in Brazil on nymphs and adults of *E. varians*.

2. Materials and Methods

2.1. Insects and rearing

The colony of *E. varians* was initiated with ~200 adults collected from open field of untreated tobacco in Lavras (21°8.5960'S and 045°3.4660'W, 808 m of altitude) in the state of Minas Gerais, Brazil. Following collection, insects were transported to the Laboratory of Ecotoxicology of the Federal University of Lavras and identified on basis of visual morphological characters according to the key of mirid species of Ferreira and Henry (2011). Once in the laboratory, insects were transferred to one of three acrylic boxes (60 x 30 x 30 cm) containing a tobacco plant (cv. TNN) (30 cm in height with four to six fully expanded

leaves) per box as oviposition substrate and water source. Nymphs and adults of *E. varians* were fed with *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) eggs (Insecta Agentes Biológicos, Lavras, MG, Brazil), which were sprinkled on the tobacco leaves. Every seven days new tobacco plants were used to sustain the predator colony and the plants containing eggs were transferred to an insect free cage. The predator rearing was maintained in a climate controlled room at 25 ± 2 °C, $70 \pm 10\%$ relative humidity, and a photoperiod of 12:12 h (L:D).

2.2. Chemicals

Insecticides, their brand names, concentrations, and manufacturers used in this study are listed in Table 1. These compounds represent the main chemical groups used to control several pests on tomato crops in Brazil. Solutions of the insecticides in distilled water were prepared immediately prior to the assays according to recommendations of manufactures. Insecticides were only applied at their maximum field recommended concentrations (MFRC) against *T. absoluta*.

2.3 Lethal and sublethal effects: treatment of nymphs and adults in laboratory

Residual contact exposure with fresh residues was used to evaluate insecticide effects on nymphs and adults of *E. varians* using glass Petri dishes. The Petri dishes (10 cm in diameter \times 1.5 cm in height) were treated with the insecticides in a Potter precision spray tower (Burkard, Uxbridge, UK) calibrated to deliver 15 lb/pol² pressure with an application volume of 1.5 ± 0.5 μ l/cm² of each insecticide solution.

These bioassays were performed under the same conditions described above and were adapted from methodology described by Arnó and Gabarra (2011) and Fernandez et al. (2012) for the predators *M. pygmaeus*, *N. tenuis*, and *Orious laevigatus* Fieber with some modifications. Once the deposits were dry (1.5 h after treatment), ten third-fourth instar nymphs or ten adults (5 females + 5 males) (<3 d old) of *E. varians* were placed into each Petri dish. As water source and food for insects, a little tobacco leaf (approximately 3 cm diameter), with its petiole wrapped in a piece of moist cotton to prevent dehydration, and approximately 0.2 g of *E. kuehniella* eggs were placed on the bottom of the Petri dishes.

Table 1. Insecticides, active ingredients, concentrations, and manufacturers used for effects on *Engytatus varians* in this study

Active ingredient	Trade name (supplier)	Formulation	Chemical group	Mode of action	% a.i.	Rate ha ⁻¹
Chlorfenapyr	Pirate® (BASF)	Concentrated suspension	Pyrrrole	Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of the proton gradient	24	50 mL
Thiametoxam	Actara® (Syngenta)	Water Dispersible Granule	Neonicotinoid	Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) agonists	25	20 g
Abamectin	Vertimec® (Nortox)	Concentrated suspension	Avermectin	GABA - and glutamate-gated chloride channel agonist	1.8	100 mL
Imidacloprid	Imidacloprid Nortox® (Nortox)	Concentrated suspension	Neonicotinoid	Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) agonists	48	200 mL
Teflubenzuron	Nomolt® (BASF)	Concentrated suspension	Benzoylurea	Inhibitors of chitin biosynthesis	15	50 mL

Both tobacco leaf and *E. kuehniella* eggs were replaced every 48 h. The Petri dishes were covered with an organdy mesh screen held in place with a rubber band to permit air circulation and to prevent escape of the insects. Nymphs and adults were checked for mortality at intervals of 24 h for a period of 3 days after they were placed on treated Petri dishes. Insects were considered dead when they were gently touched with a brush fine bristle and no movement was observed. We used a design completely randomized with five treatments and eight replicates, each one consisting of ten third-fourth instars or ten adults of *E. varians*. The insecticides were classified into the toxicity categories as proposed by IOBC WG "Pesticides and beneficial organisms" for this kind of test: class 1: harmless (<30%); class 2: slightly harmful (30 to 79%); class 3: moderately harmful (80 to 99%), class 4: harmful (>99%) (Hassan 1994, Sterk et al. 1999).

After three days of treatment, surviving nymphs and adults were removed from treated Petri dishes and the sublethal effects of offspring (number of emerged nymphs/female) and adult longevity were assessed in treatments, where at least 30% of surviving nymphs or adults was obtained from the residual contact bioassay described above. For this, survival nymphs were transferred to Petri dishes free of insecticide that containing a tobacco leaf and supplied with *E. kuehniella* eggs as food. Development of these nymphs was followed until adult molted.

A tomato plant (~15 cm in height with two to three expanded leaves), grown in a plastic cup (50 mL) containing a mixture of compost and peat substrate (1: 1), was enclosed in a cylindrical plastic tube (9 cm in diameter × 24 cm in height) open at both ends. The top of cylinder was covered with a fine mesh screen to permit air circulation and to prevent escape of the insects. One pair of adults (<3 d old) derived from surviving nymphs (generation F1) was placed into each cylinder and provided with *E. kuehniella* eggs sprinkled on the tomato leaves. Each pair was transferred to a new cylinder with food and one new tomato plant every 48 h until their death. Previously, Pineda et al. (2016) reported that the duration of *E. varians* egg stage was 9.2 days (range 8 to 11 days); for this reason, to register the number of emerged nymphs/female for each treatment, tomato plants were checked daily from 7th to 14th day after oviposition. To record longevity, adults were checked each 24 h

until death. We used a completely randomized design with two treatments (insecticide teflubenzuron and control) and 10 replicates, each one consisting of a pair of *E. varians*.

On another hand, after surviving adults of *E. varians* were removed from the treated Petri dishes, they were immediately placed individually in pairs on a tomato plant as described above. The rest of the bioassay was similar to the procedure described to assess the sublethal effects on adults derived from surviving nymphs.

2.4 Semifield test of persistence

To determine the initial toxicity and persistence of insecticide residues on greenhouse conditions, the methodology used in this bioassay was based on the semi-field tests described by Van de Veire et al. (2002), and modified to conditions of our experiment. Tomato plants (~20 cm height with 3 fully expanded true leaves) were treated using a handheld sprayer until runoff (~6 mL) with the MFRC of chlorfenapyr, thiametoxam, and abamectin. In these bioassays, these insecticides were only considered because in the residual contact activity on glass Petri dishes they showed a moderate or high toxicity (classes 3 or 4) on both nymphs and adults of *E. varians*, according to IOBC guidelines. Control plants were sprayed with distilled water only. Four plants were used for each insecticide and control.

Treated plants were dried (1.5 h after treatment) in a ventilated greenhouse located on the campus of Federal University of Lavras. The temperature of this greenhouse was ~25°C, ~40 RH, and natural photoperiod of 12: 12 (L: D). Bioassays were initiated 2 h after treatment and then 12 d after treatment. For each insecticide and time point, a tomato plant and ten third-fourth instar of *E. varians* were placed into a frame box (40 × 40 × 70 cm). The predator nymphs were fed *ad libitum* with *E. kuehniella* eggs as described above.

We used a randomized complete block design with four treatments and four replicates. Mortality of nymphs was assessed at intervals of 24 h for a period of 3 days after they were placed on treated tomato plants. Insects were considered dead when they were gently touched with a fine bristle brush and no movement was observed.

To evaluate the toxicity of the pesticides in both time points (2 h- and 12-d old residues), the toxicity categories proposed by IOBC WG” Pesticides and beneficial organisms” for semi-field tests were used: class A = short lived (< 5 days), B = slightly persistent (5-15 days), C = moderately persistent (16-30 days), and D = persistent (> 30 days), according suggested by IOBC members (Sterk et al. 1999).

2.5. Data analysis

Mortality data caused by insecticides were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) and means were separated by the LSD multiple range test ($P < 0.05$). In cases where assumptions of analysis were violated even after transformation to $\arcsin\sqrt{x}$ a non-parametric Kruskal-Wallis test was applied. Number of nymphs/female and longevity data were analyzed by Student t -test, or where not normally distributed, by the non-parametric Mann-Whitney U test. All analyses were performed using Statgraphics software (Statgraphics Centurion 2009).

3. Results

3.1 Lethal effects on nymphs and adults in laboratory

Engytatus varians nymphs were very susceptible to fresh residues in glass Petri dishes to five insecticides bioassayed (Table 2). At 24 h post-treatment, mortality was between ~17 and 84% for all compounds and all of them were significantly different ($F_{5,42} = 56.50$, $P < 0.0001$) from that observed in the control. At 48 h post-treatment, the cumulative mortality caused by abamectin, imidacloprid, thiamethoxam, and chlorfenaphyr was $> 80\%$, whereas at 72 h post-treatment it was $> 90\%$. At 48 ($K_{5,42} = 37.51$, $P < 0.0001$) and 72 h post-treatment ($K_{5,42} = 37.17$, $P < 0.0001$), all insecticides were significantly different compared to control. At these point times, teflubenzuron caused significantly lower mortality (43.75 and 66.25% for 48 and 72 h post-treatment, respectively) compared to the remained treatments. Mortality in the control never exceeded 5%. According to IOBC criteria, chlorfenapyr was classified in class 4; imidacloprid, abamectin and thiamethoxam in class 3, and teflubenzuron in class 2.

The susceptibility of *E. varians* adults depended on the type of insecticide being used (Table 3). At 24 h post-treatment, thiamethoxam, imidacloprid, and chlorfenaphyr caused between 40 and 70% mortality and all of them were significantly different ($F_{5,42} = 58.51$, $P < 0.0001$) from that observed in abamectin, teflubenzuron, and control ($\leq 6\%$). At 48 and 72 h post-treatment, however, the cumulative mortality resulting for imidacloprid, abamectin, thiamethoxam, and chlorfenapyr was between 78 and 100%, with exception to

Table 2. Effects of five insecticides on third-fourth instar of *E. varians* after continuous exposure to fresh residue in glass Petri dishes.

Treatment	Third-fourth instar mortality (%) (time after application)			IOBC
	24 h	48 h	72 h	Classification*
Control	2.5 ± 1.63a	3.75 ± 1.82a	5.0 ± 1.88a	-
Teflubenzuron	17.5 ± 2.5b	43.75 ± 4.9b	66.25 ± 4.19b	2
Abamectin	21.25 ± 3.98b	82.5 ± 6.47c	92.5 ± 2.5c	3
Imidacloprid	51.25 ± 6.92c	81.25 ± 4.79c	93.75 ± 2.63c	3
Thiamethoxam	65.0 ± 3.27c	86.25 ± 4.60c	91.25 ± 2.95c	3
Chlorfenapyr	83.75 ± 4.60d	100.0 ± 0.0d	100.0 ± 0.0d	4

Means within columns followed by the same letter are not significantly different (ANOVA, LSD; $P > 0.05$).

Table 3. Effects of five insecticides on *E. varians* adults after continuous exposure to fresh residue in glass Petri dishes.

Treatment	Adult mortality (%) (time after application)			IOBC
	24 h	48 h	72 h	Classification*
Control	1.25 ± 1.25a	5.00 ± 2.67a	6.25 ± 1.82a	-
Teflubenzuron	6.25 ± 2.63a	22.50 ± 5.90b	24.28 ± 7.25b	1
Imidacloprid	41.21 ± 3.98b	58.75 ± 6.92c	78.25 ± 5.15c	2
Abamectin	5.00 ± 2.67a	80.00 ± 5.97d	92.50 ± 3.13cd	3
Thiamethoxam	40.00 ± 3.77b	82.50 ± 6.92d	95.00 ± 3.27d	3
Chlorfenapyr	70.00 ± 5.60c	98.00 ± 1.25e	100 ± 0.00d	4

Means within columns followed by the same letter are not significantly different (ANOVA, LSD; $P > 0.05$).

imidacloprid at 48 h post-treatment where an 59% of mortality was registered. At 48 and 72 h post-treatment, the mortality caused by teflubenzuron on *E. varians* adults was 22 and 24%, respectively, which were significantly different from the results produced at the remaining compounds and the controls ($F_{5,42} = 74.46$, $P < 0.0001$ and $F_{5,41} = 57.54$, $P < 0.0001$ for 48 and 72 h post-treatment, respectively).

According to mortality criteria established by the IOBC, chlorfenapyr was classified as the higher in toxicity (class 4), followed by thiamethoxam and abamectin (class 3), imidacloprid as slightly harmful (class 2) and teflubenzuron as harmless (class 1) (Table 3).

3.2. Sublethal effects on nymphs and adults

Females derived from nymphs treated with teflubenzuron produced significantly less offspring (39.5 ± 6.95 nymphs/female) than those from the control (70.7 ± 6.50) ($t = 3.27$, $P < 0.001$) (Table 4).

Teflubenzuron significantly ($t = 3.91$, $P < 0.001$) reduced the longevity between males (36.4 ± 3.82 and 18.8 ± 2.36 d for control and teflubenzuron, respectively) but not ($t = 1.41$, $P = 0.17$) between females (29.3 ± 2.73 and 23.3 ± 3.2 d for control and teflubenzuron) of *E. varians* derived from exposed nymphs to the compound. Similarly, no significant differences were observed intra sex for the control and the insecticide ($t = -1.51$, $P = 0.14$ and $t = 1.12$, $P = 0.27$ for control and teflubenzuron, respectively) (Table 4).

On another hand, no significant differences were observed in the number of nymphs/female ($U = -22.0$, $P = 0.10$) derived from surviving adults exposed to teflubenzuron (49.9 ± 8.25 nymphs/female) treatment and unexposed adults (66.1 ± 6.18 nymphs/female) (Table 4). Similarly, teflubenzuron not affected the longevity neither of males ($t = 0.64$, $P = 0.52$) and females ($t = 1.25$, $P = 0.22$) nor intra sex ($t = -0.27$, $P = 0.78$ and $t = -0.88$, $P = 0.38$) compared with their respective control (Table 4).

3.3. Semifield test of persistence

In the 2-h old residue, the nymphs of *E. varians* were very susceptible to residues of three insecticides bioassayed. Mortality that was caused by chlorfenapyr, abamectin, and thiamethoxam ranged from 42 to 75, 35 to 87, and 37 to 72%, respectively, and these results were significantly different from that caused by the controls ($\leq 10\%$), across all times after

treatment ($F_{3,12} = 7.79$, $P < 0.05$; $F_{3,12} = 18.58$, $P < 0.0001$; and $F_{3,11} = 50.57$, $P < 0.0001$ for 24, 48, and 72 h after treatment, respectively) (Fig 1A).

Table 4. Adult longevity and offspring from nymphs and adults of *E. varians* treated with insecticides

Treatments	Offspring (nymphs/female)	Adult longevity (days)	
		Males	Females
Treated nymphs assay			
Control	70.7 ± 6.50A	36.4 ± 3.82Aa	29.3 ± 2.73Aa
Teflubenzuron	39.5 ± 6.95B	18.8 ± 2.36Ba	23.3 ± 3.2Aa
Treated adults assay			
Control	66.1 ± 6.18A	34.1 ± 3.86 Aa	32.7 ± 3.33Aa
Teflubenzuron	49.9 ± 8.25A	30.9 ± 1.5 Aa	27.0 ± 3.08Aa

Means within columns (capital letter) and within lines (lower letters) followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$).

A decrease in the activity of the three insecticides bioassayed was observed when *E. varians* nymphs were exposed to 12-day old residues. The mortality of third-fourth instar ranged from 17 to 27, 20 to 27, and 7 to 22% for chlorfenaphyr, abamectin, and thiamethoxam, respectively. In all time points at which mortality was scored, significant differences were observed between the three insecticides and their respective control ($\leq 7\%$) ($F_{3,12} = 3.97$, $P < 0.05$; $F_{3,11} = 5.51$, $P < 0.05$; and $F_{3,11} = 6.09$, $P < 0.05$ for 24, 48, and 72 h post-treatment, respectively), with exception to thiamethoxam at 24 h (Fig. 1B). According to semi-field mortality criteria established by the IOBC, all evaluated compounds were classified in class B.

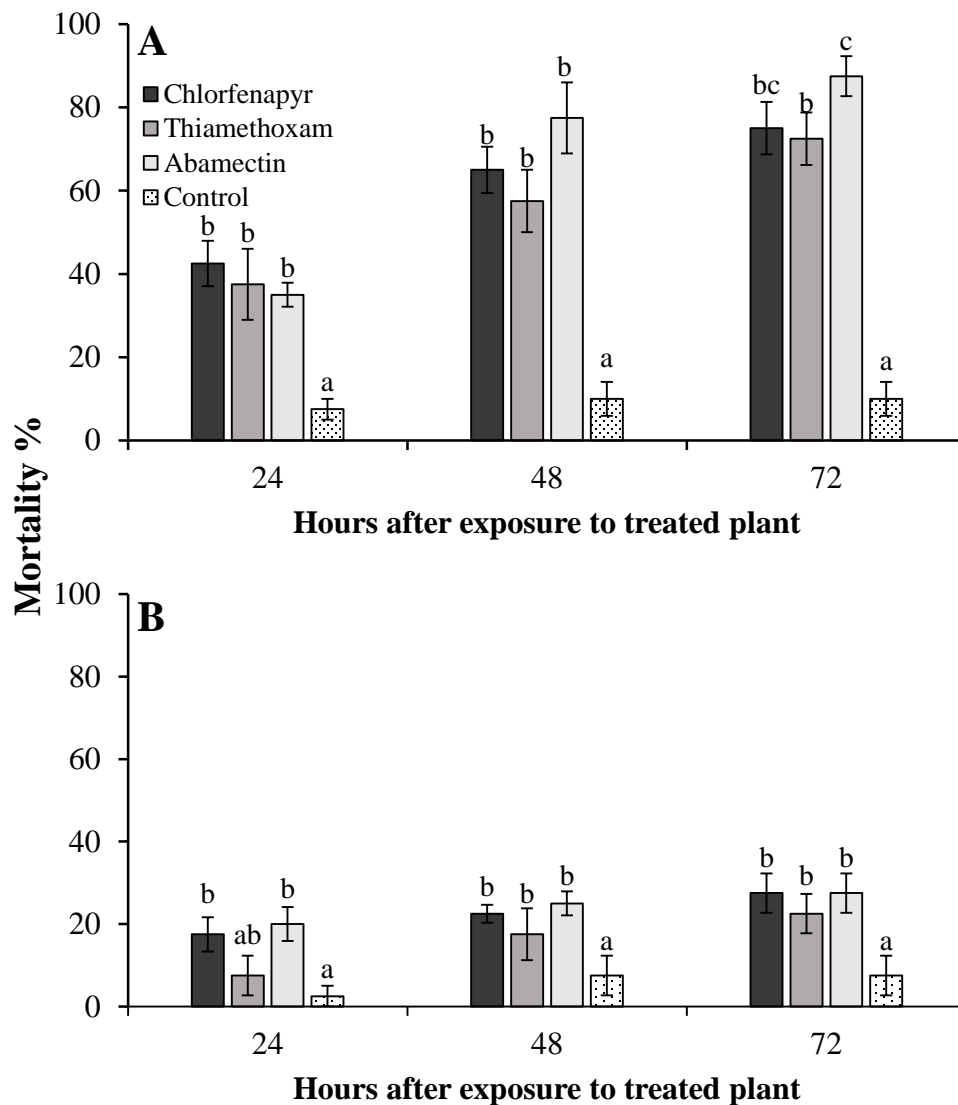


Figure 1. Mortality (mean \pm SE) caused by 2 h- (A) and 12-days old (B) residues of thiamethoxam, chlorfenapyr, and abamectin on third-fourth instar *Engytatus varians* when applied at their maximum field recommended concentration on tomato plants in greenhouse. Bars in each group labeled with different lower case letters are significantly different from each other (ANOVA, LSD; $P > 0.05$).

4. Discussion

The insecticides tested in this study showed different degrees of toxicity to the *E. varians* on laboratory conditions, and there were also differences between the developmental stages of this predator. Chlorfenapyr showed higher toxicity to third-fourth instar and adults when compared with the other insecticides; possibly because it is an insecticide that acts in the

synthesis of ATP in the mitochondria, resulting in cell death and causing quickly lethal effect on insects (Rust and Saran 2006). This compound also showed a mortality upper to 80% on predators *Orius tristicolor* (White), *Amphiareus constrictus* (Stal) and *Blaptostethus pallescens* Poppius (Hemiptera: Anthocoridae) (Pereira *et al.* 2014).

It was observed that the insecticides imidacloprid and thiamethoxam caused high mortality; however, imidacloprid was less toxic to the adult insects. Possibly this was due to the production of metabolites in molecular hydrolysis of thiamethoxam, which may have intensified the effect on this natural enemy (Simon-Delson *et al.* 2015). These two compounds belong to the chemical group of neonicotinoids and they have a broad spectrum of action and acts on the nervous system of insects, and often cause adverse effects on non-target organisms, in particular in Hemiptera predators (Horowitz and Ishaaya, 2004).

Other studies have reported the toxicity of neonicotinoids to predatory bugs. Imidacloprid was considered toxic to *Podisus maculiventris* (Say) (Hemiptera: Pentatomidae) (De Cock *et al.* 1996) and *O. laevigatus* (Delbeke *et al.* 1997). For their part, Studebaker and Kring (2003) found that imidacloprid was harmful, because the residues of this compound caused a mortality of 100% on both nymphs and adults of *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae) after 24 h in laboratory conditions. In the same context, Prabhaker *et al.* (2011) observed that thiamethoxan and imidacloprid were toxic to the predator *Geocoris punctipes* (Say) (Hemiptera: Geocoridae) and *O. insidiosus*.

Abamectin was classified as moderately harmful to nymphs and adults, causing mortality of more than 90% of the evaluated insects. This product, despite having rapid degradation, has low specificity; therefore, it can affect both the pests and natural enemies (Wislocki *et al.* 1989). At this respect, Kim *et al.* (2006) reported a mortality upper 90% of abamectin to nymphs and adults of the predator *Deraeocoris brevis* (Uhler) (Hemiptera: Miridae) either by topical or residual application. This compound also caused a mortality of 40 and 100% of second and first instar *O. insidiosus* nymphs, respectively (Rocha *et al.* 2006), and reduced hatching of nymphs and their survivorship (Moscardini *et al.* 2013).

Teflubenzuron caused the lowest mortality on *E. varians*; however, this compound reduced the progeny of females when they were treated as nymphs. According to Ishaaya and Horowitz (1998), insecticides inhibitors of chitin synthesis such as teflubenzuron, acts

mainly by ingestion, but some species can present toxicity by contact and adversely affect the fertility of insects. The low toxicity of this insecticide on adults observed in the present study corroborates the literature reports, confirming its effect on immatures stage of insects (Sun *et al.* 2015). Angeli *et al.* (2005) also reported the effect of this compound on the predator *O. laevigatus*, and the reduction in fecundity was higher when the predator was contaminated via ingestion. Brown *et al.* (2003) found low mortality of adult of *O. laevigatus* females when exposed to plants treated with teflubenzuron.

On the other hand, in semi-field bioassays the insecticides clorphenapyr, abamectin, and thiamethoxam caused high mortality on third-fourth instar of *E. varians* when they were exposed to their residues at the same day that the plants were treated. All three compounds evaluated under our conditions have translaminar action; therefore, the insects may have been contaminated with residues of pesticides by both ingestion and contact, which may have caused high mortality. However, when nymphs were exposed to residues of insecticides on plants 12 days after application, mortality was lower. This probably occurred due to the degradation of the compounds by the incidence of solar radiation inside the greenhouse (Yu 2008).

As conclusion, chlorfenapyr, thiamethoxam, abamectin, imidacloprid, and teflubenzuron should be carefully used in integrated pest management programs of *T. absoluta* where *E. varians* is present. However, an assessment of these compounds on field conditions is required to confirm their toxicity.

Acknowledgments

D. A. Pérez-Aguilar received a premaster fellowship from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Mexico. This work was financially supported, by the Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Universidade Federal de Lavras (UFLA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

5. References

- Abdollahi, M., A. Ranjbar, S. Shadnia, S. Nikfar, A. Rezaiee. 2004. **Pesticides and oxidative stress: a review.** *Medical Science Monitor.* 10(6):141-147.
- AGROFIT. Agrofit: Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Available in: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Accessed: 15 Oct 2015.
- Aguado Martínez, A. M., E. Núñez, A. Albalat. 2010. **La polilla del tomate: *Tuta absoluta*.** Dirección General de Alimentación. Centro de Protección Vegetal. Zaragoza, España. Información técnica 2/2010.
- Angeli, G., M. Baldessari, R. Maines, C. Duso. 2005. **Side-effects of pesticides on the predatory bug *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae) in the laboratory.** *Biocontrol Science and Technology*, 15 (7): 745-754.
- Arnó, J. y R. Gabarra. 2011. **Side effects of selected insecticides on the *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) predators *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae).** *Journal of Pest Science.* 48 (4): 513-520.
- Brown, A. S. S., M. S. J. Simmonds, W. M. Blaney. 2003. **Influence of a short exposure to teflubenzuron residues on the predator of thrips by *Iphiseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae) and *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae).** *Pest Management Science.* 59:1255-1259.
- Bueno, V. H. P., J.C. Lenteren, J. C. Lins, A. M. Calixto, F. C. Montes, D. B. Silva, L. M. Pérez. 2013. **New records of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) predation by Brazilian Hemipteran predatory bugs.** *Journal of Applied Entomology.* 137(2): 29-34.
- De Cock, A., P. De Clercq, L. Tirry, D. Degheele. 1996. **Toxicity of diafenthiuron and imidacloprid to the predatory bug *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae).** *Environmental Entomology.* 25(2): 476-480.
- Delbeke, F., P. Vercruyse, L. Tirry, P. De Clercq, D. Degheele. 1997. **Toxicity of diflubenzuron, pyriproxyfen, imidacloprid and diafenthiuron to the predatory bug *Orius laevigatus* (Het.: Anthocoridae).** *Entomophaga.* 42(3): 349-358.
- Desneux, N., A. Decourtye, J. M. Delpuech. 2007. **The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods.** *Annual Review of Entomology.* 52:81-106.

- Desneux, N., E. Wajnberg, K. A. Wyckhuys, G. Burgio, S. Arpaia, C. A. Narváez-Vasquez, J. Pizzol. 2010. **Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control.** *Journal of Pest Science*. 83(3): 197-215.
- Desneux, N., M. G. Luna, T. Guillemaud, A. Urbaneja. 2011. **The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production.** *Journal of Pest Science*, 84(4): 403-408.
- EPPO 2014. EPPO Reporting service Pest & Diseases. No 8, Paris 2014-08-01.
- Fernández, M., F. Amor, P. Bengochea, E. Velázquez, P. Medina, A. Fereres, E. Viñuela. 2012. **Effects of the insecticides methoxyfenozide and abamectin to adults of the whitefly natural enemies *Eretmocerus mundus* (Mercet) (Hymenoptera: Aphelinidae), *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) under laboratory conditions.** *IOBC-WPRS Bulletin*. 82: 1-7.
- Ferreira, P.S, F., T. J. Henry. 2011. **Synopsis and keys to the tribes, genera, and species of Miridae (Hemiptera: Heteroptera) of Minas Gerais, Brazil Part I: Bryocorinae.** *Zoo* 2920:1-41
- Guedes, R. N. C., M. C. Picanço. 2012 **The tomato borer *Tuta absoluta* in South America: pest status, management and insecticide resistance.** *EPPO Bulletin*, 42:211-216.
- Hassan, S. A. 1994. **Activities of the IOBC/WPRS Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms".** *IOBC/WPRS Bulletin*, 17:1-5.
- Horowitz, A. R., I. Ishaaya, 2004. **Biorational insecticides—mechanisms, selectivity and importance in pest management.** In: Horowitz, A. R., I. Ishaaya, (Eds) *Insect Pest Management*. Springer Berlin Heidelberg. p. 1-28.
- ICAR 2015. ***Tuta absoluta*: A New Invasive Pest Alert.** Indian Council for Agricultural Research. <http://www.icar.org.in/en/node/8600> (Acces July 2016)
- Ishaaya I., A. R. Horowitz. 1998. **Insecticides with novel modes of action: an overview.** In: Ishaaya I., D. Degheele (Eds) *Insecticides with novel modes of action, mechanism and application*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 1-24.
- Kılıç, T. 2010. **First record of *Tuta absoluta* in Turkey.** *Phytoparasitica*. 38(3): 243-244.

- Kim, D. S., D. J. Brooks, H. Riedl. 2006. **Lethal and sublethal effects of abamectin, spinosad, methoxyfenozide and acetamiprid on the predaceous plant bug *Deraeocoris brevis* in the laboratory.** *Biocontrol*. 51(4): 465-484.
- Margni, M., D. Rossier, P. Crettaz, O. Jolliet. 2002. **Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems.** *Agriculture ecosystems & environment*. 93(1):379-3.
- Martinou, A. F., N. Seraphides, M. C. Stavrinides. 2014. **Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*.** *Chemosphere*, 96:167-173.
- Moscardini, V. F., P. C. Gontijo, G. A. Carvalho, R. L. de Oliveira, R. L. J. B. Maia, F. F. Silva. 2013. **Toxicity and sublethal effects of seven insecticides to eggs of the flower bug *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae).** *Chemosphere*. 92(5): 490-496.
- Pineda, S., M. Medina, J. I. Figueroa, T. J. Henry, L. V. Mena, J. M. Chavarrieta, A. M. Martínez. 2016. **Life history, diagnosis, and biological aspects of *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae), a predator of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trioziidae).** *Biocontrol Science and Technology*. 26(8): 1073–1086.
- Pereira, R. R., M. C. Picanço, P. A. Santana, S. S. Moreira, R. N. Guedes, A. S. Corrêa. 2014. **Insecticide toxicity and walking response of three pirate bug predators of the tomato leaf miner *Tuta absoluta*.** *Agricultural and Forest Entomology*. 16(3): 293-301.
- Prabhaker, N., S. Castle, S. Naranjo, N. Toscano, J. Morse. 2011. **Compatibility of Two Systemic Neonicotinoids, Imidacloprid and Thiamethoxam, With Various Natural Enemies of Agricultural Pests.** *Journal of Economic Entomology*. 104(3): 773-781.
- Rocha, L. C. D, G. A. Carvalho, P. A. Moura, V. Cosme, F. Z. Vilela. 2006. **Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados na cultura do crisântemo para ovos e ninfas de *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae).** *Neotropical Entomology*, 35:83-92.
- Rust, M. K., K. K. Saran. 2006. **Toxicity, repellency, and transfer of chlorfenapyr against western subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae).** *Journal of Economic Entomology*. 99(3): 864-872.

- Silva, C. A., G. A. Carvalho, M. A. R. Alvarenga. 2013. **Pragas**. En: Alvarenga, M. A. R. (Ed) *Tomate Produção em campo, casa de vegetação e hidroponia*. Editora Universitária de Lavras. Lavras, Minas Gerais, Brasil. pp 369.
- Silva, D. B., V. H. Bueno, F. C. Montes, J. C. van Lenteren. 2016. **Population growth of three mirid predatory bugs feeding on eggs and larvae of *Tuta absoluta* on tomato**. *BioControl*. DOI: 10.1007/s10526-016-9736-1
- Simon-Delso, N., V. Amaral-Rogers, L. P. Belzunces, J. M. Bonmatin, M. Chagnon, C. Downs, L. Furlan, D. W. Gibbons, C. Giorio, V. Girolami, D. Goulson, D. P. Kreutzweiser, C. H. Krupke, M. Liess, E. Long, M. McField, P. Mineau, E. A. D. Mitchell, C. A. Morrissey, D. A. Noome, L. Pisa, J. Settele, J. D. Stark, A. Tapparo, H. Van Dyck, J. Van Praagh, J. P. Van der Sluijs, P. R. Whitehorn, M. Wiemers. 2015. **Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites**. *Environmental Science and Pollution Research*. 22(1): 5-34.
- Sridhar, V., A. K. Chakravarthy, R. Asokan. 2014. **New record of the invasive South American tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in India**. *Pest Management In Horticultural Ecosystems*. 20(2): 148-154.
- Sterk, G., S. Hassan, M. Baillod, F. Bakker, F. Bigler, S. Blümel, H. Bogenschütz, E. Boller, B. Bromand, J. Brun, J. Calis, J. Coremans-Pelsenner, C. Duso, A. Garrido, A. Grove, U. Heimbach, H. Hokkanen, J. Jacas, G. Lewis, L. Moreth, L. Polgar, L. Roversti, L. Samsøe-Peterson, B. Sauphanor, L. Schaub, A. Staubli, J. Tuset, A. Vainio, M. van de Veire, G. Viggiani, E. Viñuela, H. Vogt. 1999. **Results of the seventh joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-Working Group “Pesticides and Beneficial Organisms”**. *BioControl*. 44:99-117.
- Statgraphics Centurion, version XV. II. 2009. StatPoint Technologies. Inc., Warrenton, Virginia, ZDA.
- Studebaker, G. E., T. Kring. 2003. **Effects of insecticides on *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthracoridae), measured by field, greenhouse and Petri disc bioassays**. *Florida Entomologist*. 86(2): 178-185.
- Sun, R., C. Liu, H. Zhang, Q. Wang. 2015. **Benzoylurea chitin synthesis inhibitors**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63:6847-6865.

- Tropea Garzia, G., G. Siscaro, A. Biondi, L. Zappalà. 2012. ***Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage.** *EPPO bulletin*. 42(2): 205-210.
- Urbaneja, A., J. González-Cabrera, J. Arnó, R. Gabarra. 2012. **Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin.** *Pest Management Science*. 68:1215-1222.
- Van De Veire, M., G. Sterk, M. Van der Staaij, P. M. J. Ramakers, L. Tirry. 2002. **Sequential testing scheme for the assessment of the side-effects of plant protection products on the predatory bug *Orius laevigatus*.** *BioControl*. 47(1): 101-113.
- Villas Bôas, G. L., M. Castelo Branco, M. D. Medeiros. 2009. **Manejo integrado da traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*) em sistema de produção integrada de tomate indústria (PITI).** *Embrapa Hortaliças*. Circular Técnica (73): 16p.
- Wislocki, P. G., L. S. Grosso, R. A. Dybas. 1989. **Environmental aspects of abamectin use in crop protection.** In: Campbell, W. C. *Ivermectin and abamectin*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 363 p.
- Yu, S. J. ***The toxicology and biochemistry of insecticides***. 2008. CRC Press Taylor & Francis Group. 276 p.